

**MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU**

**UG2-PÄIVITETYN HAWKIN HEAD-UP DISPLAYN TOIMINTA**

Kandidaatintutkielma

Kadetti  
Markus Malmgren

Kadettikurssi 98  
Ilmasotalinja

Maaliskuu 2014

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi Kadettikurssi 98	Linja Ilmasotalinja
Tekijä Kadetti Markus Malmgren	
Tutkielman nimi <b>UG2-päivitetyn Hawkin Head-Up Displayn toiminta</b>	
Oppiaine johon työ liittyy Tekniikka	Säilytyspaikka Maanpuolustuskorkeakoulun kurssikirjasto
Aika Maaliskuu 2014	<b>Tekstisivuja 31</b> <b>Liitesivuja 2</b>
<p><b>TIIVISTELMÄ</b></p> <p>UG2-päivitys korvasi vanhan Hawkin mittareita nykyaikaisella Head-Up Displaylla. Tutkielmassa selvitetään kuinka UG2-päivitetyn Hawkin Head-Up Display toimii. Tämä selvitetään tutustumalla laitteen tekniseen toimintaan sekä selvittämällä mitä merkkejä ja arvoja HUD:illa esitetään eri tilanteissa. UG2-päivitys mahdollistaa jatkossa HUD:in merkkien päivittämisen helposti tietokoneen avulla, eikä laitteita tarvitse vaihtaa.</p> <p>Tutkimus on kvalitatiivinen, ja siinä tehdään deskriptiivinen tutkimus yhden laitteen toiminnasta. Tärkeimpinä lähteinä käytetään ilmavoimien omaa materiaalia koskien kyseistä päivitystä ja ohjaajan koulutukseen käytettävää Air Crew Manual (ACM) -ohjekirjaa. Ulkopuolisista lähteistä on selvitetty laitteen teknistä toimintaa ja arvojen sijoitteluun sovittuja sääntöjä ja normeja.</p> <p>Tutkielmassa selviää, että HUD on ensisijaisesti käytettävä näyttö, joka siirtää ohjaajan katseen ulos ohjaamosta. Tekniikka luo haasteita näyttölaitteen koolle, koska arvot heijastetaan ja tarkennetaan äärettömään, luoden ohjaajalle vain pienen kohdan, jossa arvot näkyvät. Merkkien sijainti noudattaa Basic-T -mallia, jolla analogisten mittareiden helppolukuisuus on siirretty HUD:ille. Tutkimuksen mukaan merkkien tulee myös sijaita lähellä toisiaan.</p> <p>Tutkielman johtopäätökset rakentuvat koneiden ja laitteiden yhteensopivuuden ympärille. HUD siirtää ohjaajan katseen ulos koneesta, joten se tuo lisää koulutusmahdollisuuksia. Poistamalla tietoja HUD:ilta lennon aikana, joutuisi ohjaaja tukeutumaan muihin arvoihin ja näköönsä, näin parantaen tilannetietoisuutta. Tämä parantaisi ohjaajan toimintaa kaikissa koneissa, varsinkin laitteiden vikatilanteissa. Lisäksi HUD:in merkit olisi sovitettava yhteen sähköisten varamittareiden, Hawkissa BFI:n kanssa, jotta siitä saataisiin ”mini-HUD”.</p>	
<p><b>AVAINSANAT</b></p> <p>UG2, UG2-päivitys, Hawk, HW, Head-Up Display, HUD, ohjaamot, lentotekniikka</p>	

# UG2-PÄIVITETYN HAWKIN HEAD-UP DISPLAYN TOIMINTA

## SISÄLLYS

<b>1</b>	<b>JOHDANTO.....</b>	<b>1</b>
1.1	TUTKIELMAN TAVOITE JA RAJAUS .....	2
1.2	AIEMMAT TUTKIMUKSET JA TUTKIMUSMENETELMÄT.....	3
<b>2</b>	<b>HEAD-UP DISPLAY LAITE HAWKISSA .....</b>	<b>5</b>
2.1	YLEISESTI.....	5
2.2	TEKNIikka .....	7
2.2.1	Tietokoneet .....	7
2.2.2	Katodisädeputki .....	11
2.2.3	Heijastaminen .....	14
<b>3</b>	<b>UG2-PÄIVITETYN HAWKIN HEAD-UP DISPLAY .....</b>	<b>17</b>
3.1	PRIMÄÄRIALUE.....	19
3.2	BAROSTAATTISET LENTOARVOT.....	25
3.3	INS/GPS JÄRJESTELMÄN TIEDOT .....	26
3.4	A/A ASEJÄRJESTELMÄ.....	27
<b>4</b>	<b>JOHTOPÄÄTÖKSET.....</b>	<b>30</b>

## LÄHTEET

## LIITTEET

## UG2-PÄIVITETYN HAWKIN HEAD-UP DISPLAYN TOIMINTA

### 1 JOHDANTO

Ilmavoimien Hawk-harjoitushävittäjiin tehtiin vuosina 2011–2013 UG2-päivitys. Tämä päivitys mahdollistaa koneiden käytön aina 2030-luvulle asti. Olennainen osa tätä päivitystä on uudistettu avioniikka. Analogisista lentoarvomittareista luovuttiin ja ohjaamoon asennettiin nykyaikainen lasiohjaamo. 26 Hawk-hävittäjää uudistettiin, näistä 18 on uusia Sveitsistä hankittuja Mk 66 -koneita, ja loput 8 ovat ilmavoimilla jo käytössä olevia Mk 51/51A malleja. Uusi avioniikka parantaa ohjaajan tilannetietoisuutta (SA, Situational Awareness) keskittämällä lennolla tarvittavat arvot ohjaajan näkökenttään. Poistamalla ja yhdistämällä vanhoja mittareita, mittareiden ristiintarkkailu paranee. [5]

Osana UG2-päivitystä on uusi heijastusnäyttölaite eli Head-Up Display (HUD). Se sijaitsee ohjaajan edessä ja näyttää olennaisimmat lentoarvot. HUD -laitteella ohjaaja pystyy seuraamaan jatkuvasti ulkona tapahtuvaa toimintaa, eikä hänen tarvitse siirtää katsettaan pois tuulilasilta katsoakseen mittareita. Lentotietokone saa ympäristöstä paljon erilaista tietoa ja eri tilanteissa näytölle heijastetaan eri tietoja. Kaikkea ei voi esittää näytöllä samanaikaisesti, vaan ohjaajan eteen heijastettavia tietoja on karsittava tilanteen mukaan. Näitä varten muodostuu erimallisia kuvioita, joilla kaikilla on oma spesifioitu merkityksensä. Eri lentotilojen ja aseistuksen mukaan näytölle heijastetaan erilaisia tähtäimiä ja merkkejä. [7, s.5] Lisäksi jokaiselle tiedolle on sovittu vakioitu paikka näytössä, mikä helpottaa arvojen ristiintarkkailua [1, s.5].

UG2-päivitetty Hawk helpottaa aikanaan ohjaajan siirtymistä HUD:illiseen F/A-18 Hornet -hävittäjään, koska lasiohjaamoympäristö ja HUD:in toimintaperiaate ovat ennestään tuttuja. Lisäksi Head-up Displayllä eri asejärjestelmien simulointi on mahdollista. Näin voidaan tehostaa ilmavoimien lentokoulutusta, koska torjuntahävittäjän harjoitushävittäjää kalliimpia lentotunteja voidaan säästää. Lisäksi tulevaisuudessa näytön ulkoasua on helpompi uudistaa.

Verrattuna analogisiin mittareihin, HUD:illa ei ole tarvetta vaihtaa varsinaisia laitteita, vaan ohjelmiston päivitys riittää.

Richard Newman mainitsee kirjassaan ”Head-Up Displays, Designing the way ahead” (Ashgate Publishing Company, USA 1995) US Navy:n tutkimuksen ”HUD cripples” ilmiöstä [11, s.200-201]. Sen tuloksena huomattiin että ne ketkä saivat aikaisemmin koulutusta HUD:illa, selvisivät paremmin lennettäessä sen vikaantuessa. Tämä tarkoittaa sitä, että vaikka HUD:illa esitetään kaikki tärkeimmät lennon aikana tarvittavat arvot, siirtää HUD ohjaajan katsetta enemmän ulos ohjaamosta, jolloin ympäristön havainnointiin jää enemmän aikaa. Tämä parantaa ohjaajan kykyä oppia tunnistamaan lentotilojen vaikutukset ulkoa paremmin. Newman toteaa ”HUD opettaa lentämään, eikä opetella lentämään HUD:in kanssa”.

## 1.1 Tutkielman tavoite ja rajaus

Tutkielmassa keskitytään siihen, kuinka head-up display toimii UG2-päivitetystä Hawkissa sekä mitä tietoja eri tilanteissa näytetään ohjaajalle.

Tutkimuskysymyksenä on:

- Kuinka UG2-päivitetty head-up display toimii ilmavoimien Hawk –hävittäjässä?

Alakysymyksinä ovat:

- Miten head-up display toimii teknisesti?
- Mitä tietoja Hawkin head-up displayllä on ja kuinka ne toimivat lentäessä?

Tutkielma ei ole ohjekirja siitä, kuinka HUD:ia tai muita Hawkin järjestelmiä käytetään. Tutkielmassa perehdytään ainoastaan HUD:in toimintaan sekä hieman sen käyttämiseen tarvittavan Up Front Control Panelin (UFCP) käyttöön. Tämän takia usean HUD:in käyttämiseen liittyvien laitteiden käyttöä ei käydä kokonaisuudessaan läpi. Kun tutkielmassa sivutaan muuta avioniikkaa, kuten UFCP:n tai MFD:n käyttöä, niin siitä kerrotaan, kuinka sillä vaikutetaan HUD:in tietoihin. Tutkielmassa ei myöskään perehdytä HUD:in ilmastamaan toimintaan.

Tutkielman ensimmäisessä osassa kerrotaan UG2-päivitetyn head-up displayn toiminnan perusteista sekä eri näyttömoodeista, jota siihen voidaan valita lennon aikana. Tällä tavalla selviää kuinka HUD teknisesti korvaa useita muita laitteita ja helpottaa ohjaajan työtä. Seuraavaksi kerrotaan, kuinka optiikka ja heijastaminen on toteutettu head-up displayllä. Lisäksi kerrotaan siitä, kuinka näyttölaitteen hallintapaneeli Up Front Control Panel toimii

yhteistyössä head-up displayn kanssa. Tutkielman toisessa osassa keskitytään HUD:ille tulevien symbolien ja merkkien selityksiin sekä toimintaan. Nykyään mittareilla on standardisoidut paikat ohjaamossa. Symbolit ovat auttamassa ohjaajaa, minkä takia niiden muotoilu ja sijainti ovat tärkeitä. Hawkin HUD:illa esitetään erilaista informaatiota riippuen lentotilasta ja ohjaajan valinnoista. Laskussa koneen kohtauskulma ja ILS liukupalkit ovat tärkeimpiä, taistelulentämisessä on taas olennaisinta nähdä tykin laukausten lentorata tai ohjuksen hakupään alue.

Tutkielman lukijalta oletetaan tuntemusta lennonteoriasta, lentokoneiden mittareista sekä eri järjestelmistä. Peruslentämiseen tarvittavien mittareiden ja pitot-staattisen -järjestelmän toiminnan tuntemisen lisäksi mittarilentämisen perusteet on tiedettävä. Lisäksi matematiikan, fysiikan ja kemian perustietämystä tarvitaan kaavojen sekä muun muassa katodisädeputken toiminnan ymmärtämiseen. Hawkin järjestelmien ja kytkinten tunteminen ei ole tarpeen.

## 1.2 Aiemmat tutkimukset ja tutkimusmenetelmät

Aiheeseen liittyvän kandidaatintutkielman on tehnyt Juho Tervahartiala, joka kirjoitti taktiikan tutkielman siitä, kuinka UG2-päivitetty ohjaamo parantaa lentäessä ohjaajan tilannetietoisuutta. Jussi Tähtinen kirjoitti aiheeseen liittyvän tekniikan kandidaatintutkielman, joka taas keskittyi siihen, mitä kaikkia järjestelmiä UG2-päivityksessä poistetaan ja korvataan uusilla, nykyaikaisilla mittareilla.

Tämän tutkimuksen tutkimusote on kvalitatiivinen, ensisijaisina lähteinä on aiheesta kertova kirjallisuus ja Ilmavoimien materiaali kyseisestä päivityksestä. Tutkielmassa tehdään deskriptiivinen tutkimus, eli kuvaillaan tarkasti yhden järjestelmän toimintaa. Suurin osa lähteistä on ilmavoimien omaa kirjallisuutta sekä henkilöstölle tehtyjä kirjoja ja ohjeita.

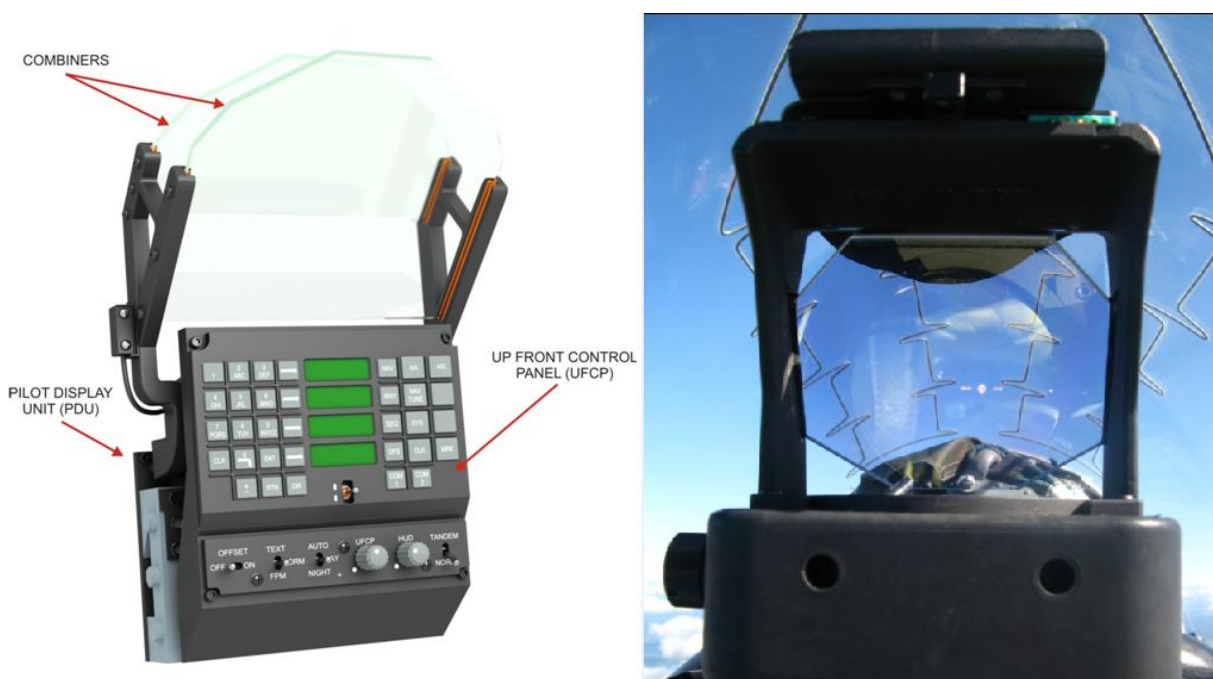
Yksi tärkeimpiä lähteitä on Richard L. Newmanin HUD:ista kertova kirja ”Head-Up Displays: Designing the way ahead”. Se kertoo yleisesti HUD:ien toiminnasta, sekä siinä on käytetty vertailukohteina 19 nykyaikaisen koneen HUD:ia. Yhtenä lähteenä on myös opiskelemani materiaali Bristolin ATPL Ground School -opintokokonaisuudesta. Se on teoriakoulutusohjelma, jonka läpäisy vaaditaan nykyaikaisen liikennelentäjän lupakirjaa varten. Tärkeimpänä osakokonaisuutena tätä tutkielmaa varten toimii mittariston (Instrumentation) opetuskokonaisuus. Siitä löytyy tarkkaa ja päivitettyä tietoa erilaisista koneen mittareista ja järjestelmistä, kuten hyrristä, kohtauskulma-antureista, ilmapainemittareista sekä koneen magneettista suuntaa aistivista laitteista. Hawkin HUD:in

toiminnan lähteenä käytetään Ilmavoimien Teknillisen koulun aiheesta tekemää Power Point -esitystä, jolla Hawk-mekaanikkoja ja muuta henkilöstöä koulutetaan koneen parissa työskentelyyn sekä koneen ohjekirjana toimivaa Air Crew Manualia (ACM).

## 2 HEAD-UP DISPLAY LAITE HAWKISSA

### 2.1 Yleisesti

Vanhassa Hawk-harjoitushävittäjässä oli vain yksinkertainen, lähes paikallaan oleva tähtäin (Kuva 1). UG2-päivityksen myötä avioniikkaa on uudistettu sekä head-up display on täyttynyt informaatiosta. HUD on korvannut vanhan ohjaamon mittareita ja osa niistä on modifioitu varamittareiksi. Nykyään varamittarina toimii uusi BFI (Backup Flight Instrument), jonka rinnalla entiset ensisijainen nopeus- (CSI, standby Combined Speed Indicator) ja korkeusmittari. Uudella HUD:lla esitetään koneen lentorata-, asento-, korkeus-, ja nopeustietoja; suunnistus- ja laskeutumisjärjestelmien tietoja, tuulen vektori, asejärjestelmien tähtäys- ja tilatietoja sekä avioniikan vikailmoituksia (BIT), kiihtyvyyssarvoja ja kohtauskulmatieto.



Kuva 1: UG2-päivitetty HUD [7, s.7] (vas) verrattuna vanhaan tähtäimeen (oik)

Ilmavoimien HW1-lentokoulutusohjelma kouluttaa ohjaajanalulle perusteet hävittäjällä toimimiseen [6, s.6]. Koulutus toteutetaan nykyaikaisella HUD:illa varustetulla Hawk-hävittäjällä. Ohjelmassa on 96 lentotuntia, joiden aikana ohjaaja harjaantuu HUD:in käyttämiseen eri lentolajeissa [6, s.11]. Tutkittaessa ohjaajan lentokoulutusta käytettäessä HUD:ia, on huomattu, että 100 lennettyä tuntia HUD:illa varustetulla koneella on raja, jonka lentäjä tarvitsee oppiakseen käyttämään sitä tehokkaasti [11, s.197].



UG2-päivitettyyn avioniikkaan kuuluu PDU (Pilot Display Unit) sekä sen etupuolella oleva HUD:in hallintapaneeli, Up Front Control Panel (UFCP). Sillä valitaan HUD:ille haluttuja tietoja. UFCP:llä hallitaan myös radiotaajuuksia sekä suunnistusjärjestelmän laitteita. Lisäksi UFCP:n optioikkunoiden (W1-W4) sisältö voidaan esittää HUD:lla ja sillä tavoin ne saadaan tallentumaan videolle [14, s.55]. UFCP:llä oleva HUD potentiometri säätää HUD:in kirkkautta ja siitä voidaan kytkeä laite pois päältä (katso Kuva 1) [8, s.9]. HUD:ille voidaan tuoda tietoa myös ulkoisen kovalevyn RMMD:n avulla (Removable Mass Memory Device). Sille voidaan tallentaa radiotaajuuksia ja maantieteellisiä pisteitä [8, s.31], joita voidaan käyttää lennon aikana suunnistamiseen ja paikantamiseen.

HUD:in näkymä riippuu tehtävätietokoneen (MC, Mission Computer) toimintamoodista. Näitä toimintamoodeja (MM, Master Mode) on neljä (4). Jokainen niistä sisältää myös alamoodeja. Kone käynnistyy NAV-moodiin. Sitä käytetään yleiseen lentämiseen. A/A-moodi on simuloituihin aselaukaisuihin ilmataistelussa ja A/G-moodi simuloituihin aselaukaisuihin ilmasta-maahan. Nämä kolme ovat valittavissa UFCP:ltä (katso Kuva 1). [8, s.8] Viimeisenä moodina on MMO, eli Master Mode Override. Tämän moodin valinta ohittaa kaikki muut sillä hetkellä käytössä olevat moodit. Tässä moodissa kovien aseiden käyttö on mahdollista. Toisin kuin NAV-, A/A- ja A/G- moodit, joiden valinta suoritetaan UFCP:n painikkeista, MMO:ta käytetään suoraan asevalintataulusta ja ohjuksen käyttölaitteesta. Näistä moodeista Hawkin tyyppilentokoulutuksessa käytetään NAV Master Mode:n alamoodeja. Ne tarjoavat informaatiota muun muassa navigointia ja laskua varten sekä järjestelmien tilaan ja toiminnallisuuteen liittyen. Sillä suoritetaan yleisen lentämisen eri vaiheita; lentoönlähtö, lähestyminen, lasku, reittisuunnistus ja etsintä. Lisäksi siihen voidaan syöttää suunnistusparametreja käytettäväksi lennolla.

NAV:in alamoodeja on kolme. Nämä ovat EGI, SEQ ja FAC VOR. [14, s.18-21] Näissä alamoodeissa HUD:illa näkyvät symbolit toimivat lähes samalla tavalla, näyttäen suuntaa ja aikaa valittuun paikkaan. HUD:illa lukee, mikä moodi on milloinkin valittuna. Järjestelmän vaatimat tiedot otetaan lennonvalmistelussa alustetusta RMMD:sta [8, s.30-31]. Tähän tallennetut radiotaajuudet ja maantieteelliset pisteet ovat kaikki ohjaajan käytettävissä UFCP:n kautta. EGI (Embedded GPS/Inertial navigation system) alamoodissa ohjaaja voi valita UFCP:llä halutun GPS-pisteen, johon HUD:in symboliikka näyttää suuntaa ja aikaa nykyisellä nopeudella. Toinen alamoodi on SEQ (Sequence). Siinä voi suunnistaa useasta eri pisteestä muodostettua sekvenssiä, eli reittiä, pitkin. Erona on se, että tässä järjestelmä vaihtaa automaattisesti seuraavan reittipisteen jokaisen ylityksen jälkeen. Tällä tavalla suunnistaessa ohjaajalle jää enemmän aikaa ympäristön tarkkailuun ja nopeuden hallintaan. Esimerkiksi

aikamittakaavassa pysyminen on helpompaa. Kolmas moodi on FAC VOR (Facility VOR). Tässä merkit ovat kohti valittua VOR- tai ILS-asemaa. Tämä moodi on päällä mittarilähestymisiä tehtäessä.

Koulutuksen edetessä HW2-ilmataistelukoulutukseen, siirtyy ohjaaja käyttämään myös A/A-, A/G- ja MMO- moodeja. Näissä moodeissa on ilmataistelua varten erilaisia tähtäinkuvioita, muun muassa ilmataistelu tykein tai ohjuksin. Tykillä ammuttaessa käyttöön tulee tykkiammunnan perustähtäin. Vastaavasti ohjuksia käytettäessä ohjuksen hakupään alue tulee näkyville. A/A- ja A/G- moodit ovat simuloituja aselaukaisuja varten, eikä asejärjestelmä ei ole virrallinen. Tällöin oikeiden aseiden laukaisu ei ole mahdollista. Ohjuksen hakupäätä pystyy kuitenkin käyttämään simuloitusti. MMO:n valinta ohittaa kaikki muut sillä hetkellä käytössä olevat moodit. Tässä moodissa kovien aseiden käyttö on mahdollista. Käytössä ovat kaikki samat tähtäinkuviot kuin simuloituissa harjoitusmoodeissa. Näistä ohjaaja pystyy UFCP:llä valitsemaan tarkoituksen mukaisimmat tähtäimet. [7, s.28]

## 2.2 Tekniikka

### 2.2.1 Tietokoneet

Mission Computer vastaa tiedon keräämisestä ja yhdistämisestä. Ilma-arvotietokone ADC (Air Data Computer) tuottaa HUD:ille suurimman osan sen näyttämästä informaatiosta. Air Data Computer (ADC) on erillinen osa, eikä kuulu MC:iin. ADC saa tietoa ilma-arvojärjestelmästä, johon kuuluu pitot-staattinen järjestelmä nopeus- ja korkeusmittareineen sekä kohtauskulma-anturit. Näistä laitteista ADC saa analogista lähdetietoa, josta se koodaa ilma-arvodataa. Näistä arvoista tietokone tuottaa paine- ja barokorjattua korkeutta, mach-lukua, mittari- ja tosi-ilmanopeutta, pystynopeutta, lentokoneen kohtauskulmaa sekä ulkolämpötilaa.

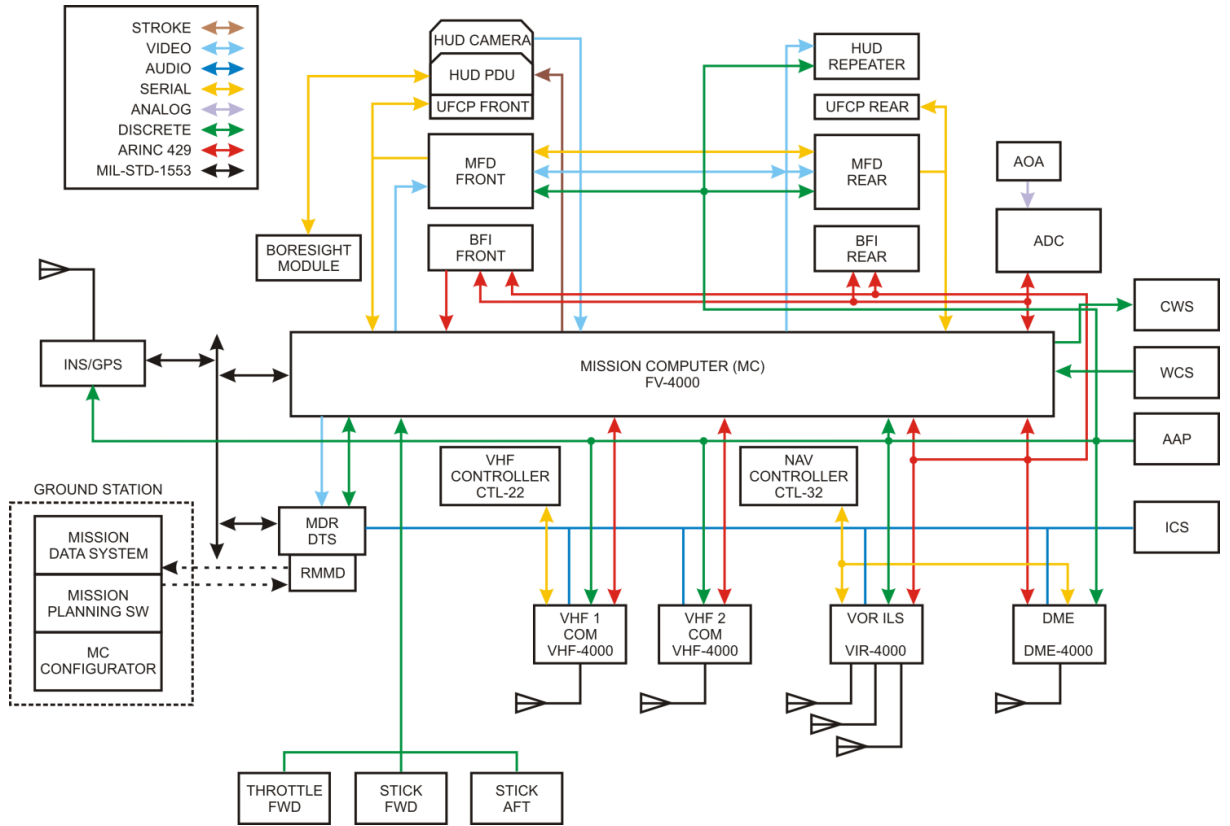
Näihin tietoihin MC yhdistää INS/GPS (Inertial Navigation System, Global Positioning System) -järjestelmän tietoa. Näin tietokone muodostaa koneen asennon, kulmanopeudet, kiihtyvyydet ja suunnistustiedot, joita tarvitaan koneen sijainnin määrittämiseen, sekä vallitsevan tuulen. [14, s.102-103]

Kuten kaikki nykyaikaiset lentokoneet, UG2-päivitetty Hawk saa asento- ja lentotietoja myös INS/GPS -järjestelmiltä. Niiden avulla kone pystyy määrittelemään oman asentonsa suhteessa

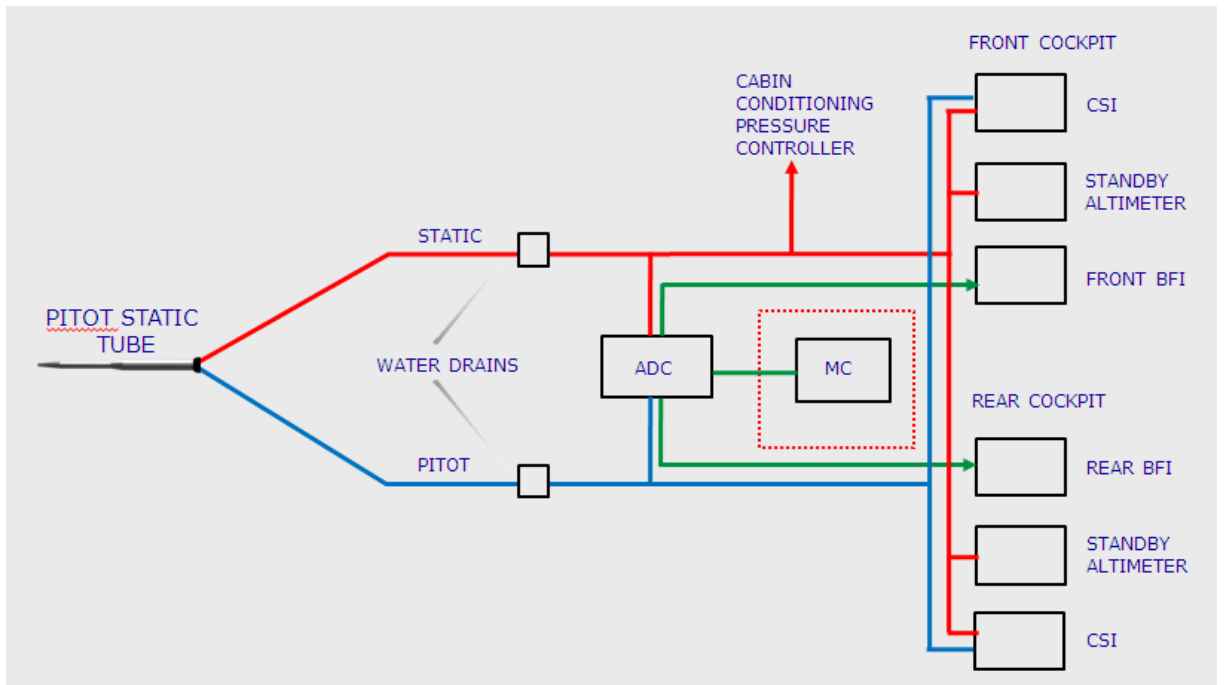
maapalloon ja navigointi tietokoneen avustamana onnistuu. Järjestelmä vastaanottaa GPS-tietoa koneen sijainnista. Tämän avulla se laskee ja toteuttaa tarvittavat muutokset, joita maapallon pyörimisliike aiheuttaa hyrräjärjestelmän perustasolle. Koneessa olevat hyrrät tunnistavat koneeseen kohdistuvat kulmanopeudet asennon muuttuessa. Yhdistettynä joko ennalta syötettyyn tai GPS:llä laskettuun paikkaan, pystyy tietokone laskemaan kiihtyvyyksien avulla koneen siirtymisen korkeus-, sivu- ja pystysuunnan lisäksi ajan suhteen maapallon ilmakehässä. [3]

Hawkissa INS/GPS-järjestelmä on korvattu uudella EGI-laitteella (Embedded GPS/Inertial navigation system). Tämä tuottaa inertia-, satelliittipaikannus- ja lentoasentotietoja lentokoneen navigointijärjestelmälle, asejärjestelmän tähtäinlaskentaan sekä lentoasento- ja lentoarvonäyttöjen muodostamista varten. Hawkissa EGI paikantaa ja alustaa itsensä maan pyörimisestä johtuvien kiihtyvyyksien perusteella ja GPS-referenssin avulla, mikäli satelliittien signaali on saatavilla. Koneen sisäinen GPS-laite laskee koneen liikettä ja asentoa, joiden perusteella se määrittelee koneen nokan maantieteellisen suunnan. [14, s.106,109]

ADC:stä lähtee tieto myös Backup Flight Intrumenteille. (Kuva 2) MC:n vikatilanteessa toimii ADC vieläkin, tuottaen tietoa varamittareille. HUD ja MFD eivät kuitenkaan toimi, koska ne ovat yhteydessä ainoastaan MC:iin. Staattinen ja dynaaminen paine välittyy varanopeus- ja -korkeusmittareille (Kuva 3). ADC:n toimiessa tuottaa se tätä tietoa eteenpäin etu- ja taka-BFI-mittareille



Kuva 2: System Architecture Schematic [7, s.3]



Kuva 3: Pitot-staattinen järjestelmä [9, s.45]

Tehtävätietokoneen grafiikkaprosessori tuottaa HUD-näytön symboliikan ja ohjaa symboleita eri avioniikkajärjestelmien tuottamien parametrien mukaisesti. HUD:ille heijastettavien symbolien sijaintia lasketaan eri kaavoilla.

Inertial Flight Path, eli inertiaalentorata, lasketaan seuraavan kahden kaavan avulla:

$$\gamma_i = \tan^{-1} \frac{V_z}{V_x}$$

$$\Phi_i = \tan^{-1} \frac{V_y}{V_x}$$

Näissä kaavoissa  $\gamma_i$  on lentoradan kulma (flight path angle) ja  $\Phi_i$  on sivuttainen lentorata eli sivuluisu (lateral flight path). Indeksimerkki  $i$  tarkoittaa inertiaa, jonka mukaan koneen liikettä lasketaan. Merkit  $V_{\text{alaindeksi}}$  ovat nopeuksia, jotka saadaan inertiajärjestelmästä toisen asteen ratkaisuina [3].  $V_x$  tarkoittaa pituussuuntaista,  $V_y$  sivuttaista ja  $V_z$  pystysuuntaista nopeutta. [11, s.43-44]

Lisäksi voidaan laskea Air-mass Flight Path, eli ilmamassalentorata, joka kertoo nimensä mukaisesti lentoradan suhteessa ilmamassaan.

$$\gamma_a = \tan^{-1} \frac{H}{VT}$$

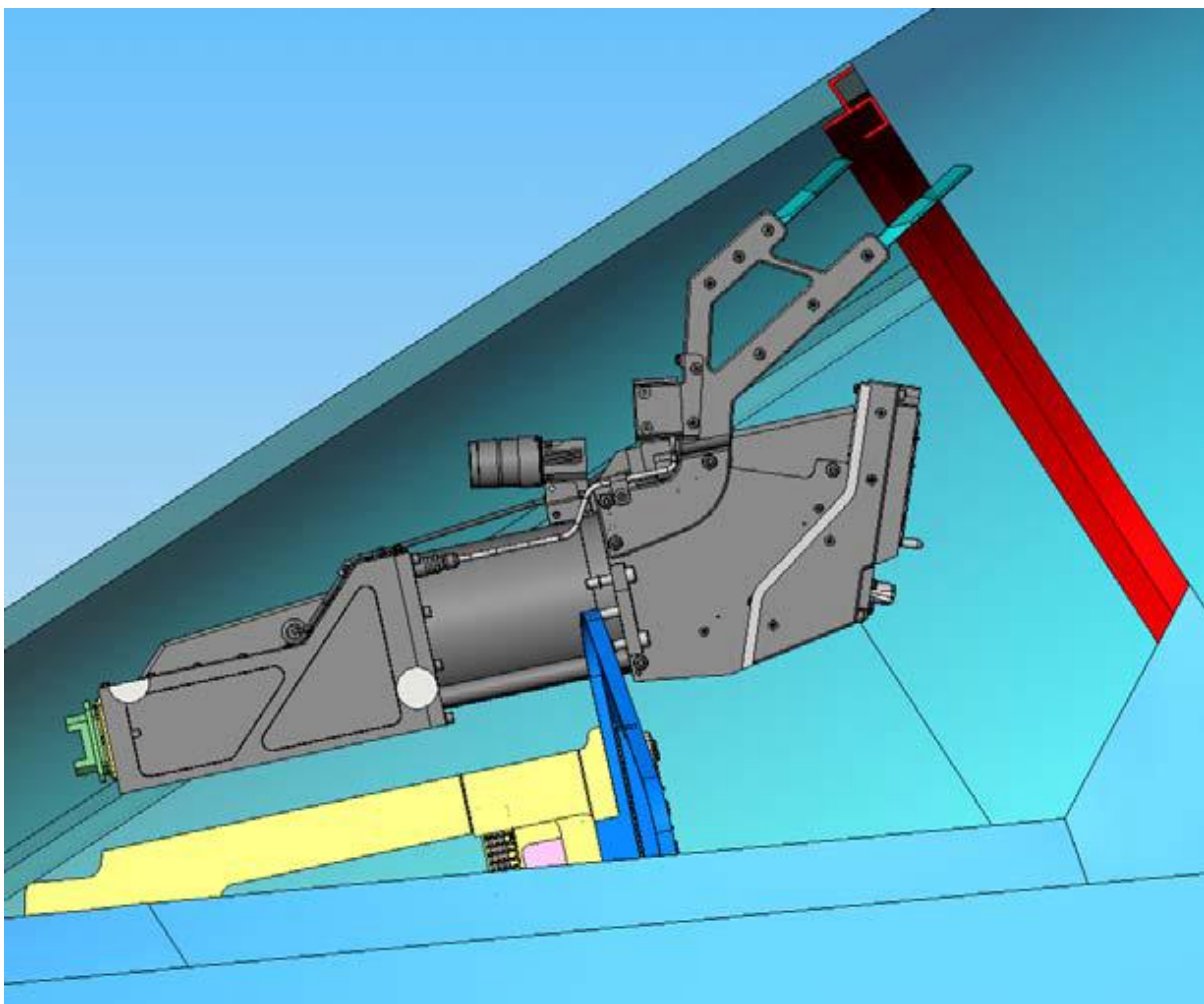
Silloin käytetään tosi-ilmanopeutta  $VT$  ja barometristä korkeutta  $H$ .  $\gamma_a$  tarkoittaa lentoradan kulmaa suhteessa ilmamassaan. Se on kuitenkin vain pystysuunnassa, eikä laske sivuluisua. [11, s.45]

Air-mass flight path voidaan laskea myös kohtauskulma-anturin avulla.

$$\gamma_a = \Theta - \alpha$$

Koneen asentoa mittaava kohtauskulma-anturi antaa  $\alpha$ :n arvon. Tämän arvo vähennetään koneen boresightin  $\Theta$ , eli pituusakselin kohdasta. Lopputulos on koneen ilmamassan läpi kulkeva lentorata  $\gamma_a$ . [11, s.45-47]

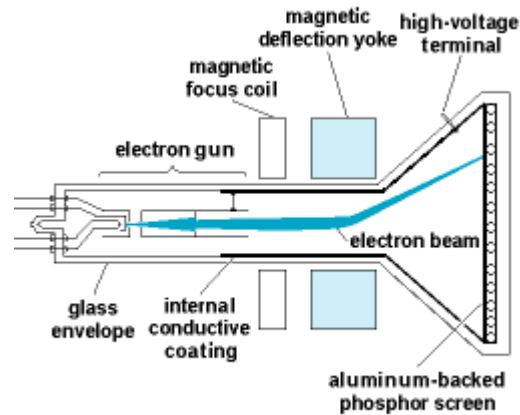
## 2.2.2 Katodisädeputki



Kuva 4: Hawkin katodisädeputki [14, s.54]

HUD:illa näkyvät merkit muodostuvat ohjaajan edessä olevassa katodisädeputkessa. Se sijaitsee ohjaajan edessä PDU:n takana (katso Kuva 4). Katodisädeputken perustoiminta on kohtuullisen yksinkertainen. Elektronisuihku kohdistetaan ja kiihdytetään, törmätessään kuvapinnan fosforiverkkoon se nostaa fosforiverkon atomien elektronien energiatasoa. Kun elektronien virittynyt tila purkautuu, elektronit palaavat perustilaansa, ja fotoni emittoituu. Tämä heijastetaan kokoojalevyille, joiden kautta ohjaaja näkee merkit. [15] [13]

Katodisädeputken ympärillä on vaippa, jonka sisälle muodostuu tyhjiö ja jonka kapeassa reunassa sijaitsee elektronitykki (electron gun, katso Kuva 5). Vaippa voi olla keraaminen, metallinen tai lasinen, mutta yleensä materiaaliksi on valittu lasi sen parhaiden mekaanisten, sähköisten ja optisten ominaisuuksien takia.



Kuva 5: Yksinkertaisen katodisädeputken osat [12, s.5]

Elektronitykki muodostaa ja lähettää elektronisuihkun kohti fosforiverkkoa. Elektronitykin toiminnassa voidaan ajatella olevan kolme erillistä osakokonaisuutta. Ensimmäinen näistä on elektronin emissio-osa. Tykin alkupäässä on katodi, johon johdetaan sähköä, kuumentaan sen 1100 Kelvinin, eli noin 826,85 °C lämpötilaan. Pysyessään tässä lämpötilassa se alkaa emittoida elektroneja. Elektroneja emittoituu eteenpäin kohti rei'itettyä ohjaushilaa, jolla on negatiivinen jännite verrattuna katodiin. Tätä jännite-eroa säätämällä voidaan säätää eteenpäin jatkavan säteen kirkkautta, joka säätää samalla myös näytön kirkkautta. Tämän jälkeen positiivisesti jännitetty hila vetää uudestaan puoleensa elektronisuihkua, kiihdyttäen sen kohti tarkennushilaa, joka tarkentaa sen säteeksi. Säteen edessä on usein myös pyöreä ohjauslevy, jossa on pieni reikä, rajoitin aukko. Se estää säteen uloimpien osien pääsyn eteenpäin, tarkentaen sen pieneksi säteeksi. [12]

Elektronitykin toinen osakokonaisuus on tarkennusjärjestelmä. Suihkua pitää tarkentaa, jotta fosforiverkolle osuessaan se on tarkka. Sen vaatima tarkkuus riippuu näytön resoluutiosta. Kuvaa 5 katsomalla huomaa, että fosforiverkon eri kohdat ovat eri etäisyyksien päässä. Tällöin tarkennusta pitää muuttaa koko ajan. Tarkennusjärjestelmiä on kahta perustyyppiä. Ensimmäinen näistä on elektrostaattinen tarkennus. Siinä vaipan ulkopuolella olevat elektrodit muodostavat säteen kulkureitille elektrostaattisen linssin. Jännitettä muuttamalla, linssillä saadaan aikaiseksi erilaisia tarkennuksia. Kahdesta tarkennusjärjestelmästä tämä on kustannuksiltaan edullisempi ja yksinkertaisempi käyttää useimmissa tapauksissa. Toinen perustyyppi on magneettinen tarkennus. Mikäli vaaditaan hyvää resoluutiota suurella elektronisäteen virralla, tällä saavutetaan parempi tulos. Vaipan ulkopuolelle sijoitetun tarkennuskelan jännitettä säätämällä säädetään tarkkuutta. Kela muodostaa magneettikentän, jonka vuoviivat ohjaavat ja tarkentavat elektronisuihkua. [12]

Elektronitykin kolmas osakokonaisuus on poikkeutusjärjestelmä. Ilman poikkeutusjärjestelmää elektronisuihku osuisi keskelle ruutua. Poikkeutusjärjestelmää hallitsemalla voidaan suihku suunnata eri puolille fosforiverkkoa, jolloin saadaan aikaiseksi haluttuja kuvioita. Kuten tarkennusjärjestelmissä, poikkeutusjärjestelmä voi olla joko elektrostaattinen tai magneettinen. Elektrostaattinen poikkeutus on hyvin nopea tapa siirtää suihkua pitkin fosforipintaa. Siinä vaipan ulkopuolella on elektrodipareja, symmetrisesti sijoitettuna suihkun keskilinjan molemmille puolille. Vastakkaisiin elektrodeihin syötetään vaiheeltaan päinvastaista signaalia, jolloin niiden väliin syntyy sähkökenttä. Kentän voimakkuus saa aikaan suihkun siirtymisen vaakasuunnassa. Mikäli signaalit muuttuvat ajan suhteen lineaarisesti, saadaan näytöllä aikaan viiva. [12]

Toinen pari poikkeutuselektrodeja on sijoitettu ensimmäisen jälkeen, jolloin ne muodostavat ortogonaalisen sähkökentän. Tällä tavalla suihkua voidaan poikkeuttaa sekä pysty- että vaakasuunnassa. Magneettinen poikkeutus toimii samalla tavoin kuin elektrostaattinen, magneetikenttään saapuvan elektronin rataa muutetaan, josta se jatkaa tangentin suuntaan kohti fosforiverkkoa. Elektrostaattista poikkeutusta hitaampi magneettinen poikkeutus vaatii jopa kymmeniä mikrosekunteja enemmän aikaa. Tämä johtuu poikkeutuksen aiheuttavien kelojen induktanssista, koska virran muutosnopeus on rajallinen. Magneettiset poikkeustavat pystyvät elektrostaattista suurempiin poikkeutuskulmiin vähemmällä vääristymällä elektronisäteen keskiosassa. Myös magneettisen poikkeutuksen vaatimat suuret jännitteet ovat valmiiksi saatavilla anodijännitteiden ollessa 20-30 kilovoltia. Elektrostaattisen poikkeutuksen vaatimat 3-4 kilovoltin jännitteet taasen ovat vaikeammin saavutettavissa hyvällä hyötysuhteella. Näistä syistä magneettisella poikkeutuksella varustetut katodisädeputket ovat yleisesti käytettyjä televisioissa, tutkissa ja tietokoneen näytöissä. [12]

Fosforiverkko muuttaa sähköisen energian näkyvään muotoon. Se muodostuu valoa heijastavasta materiaalista, joka pystyy emittoimaan valoa. Materiaali koostuu 1-100 mikrometrin partikkeleista. Monokromaattisessa katodiputkessa käytetään yhtä kerrosta homogeenista valoa heijastavaa materiaalia, kun taas monivärisessä on yleensä RGB-värisiä ruutuja (Red-Green-Blue). Materiaali on yleensä fosforia, johon on sekoitettu muita aineita, jotka ovat stabiileja, puhdasvärisiä ja niillä on hyvä valon emittointikyky. [12, s.4] Yksivärisyys estää pikselöitymisen, minkä takia merkit näkyvät tarkkana [13]. Hävittäjien HUD:eilla käytössä on yleensä vihreää valoa emittoiva fosforiverkko. Tämä on valittu sen pimeätoimintaominaisuuksien takia. Silmän sauvasolut aistivat pimeässä parhaiten vihreän valon spektriä, joka myös näkyy parhaiten heikossa valaistuksessa. Tämä tekee vihreästä



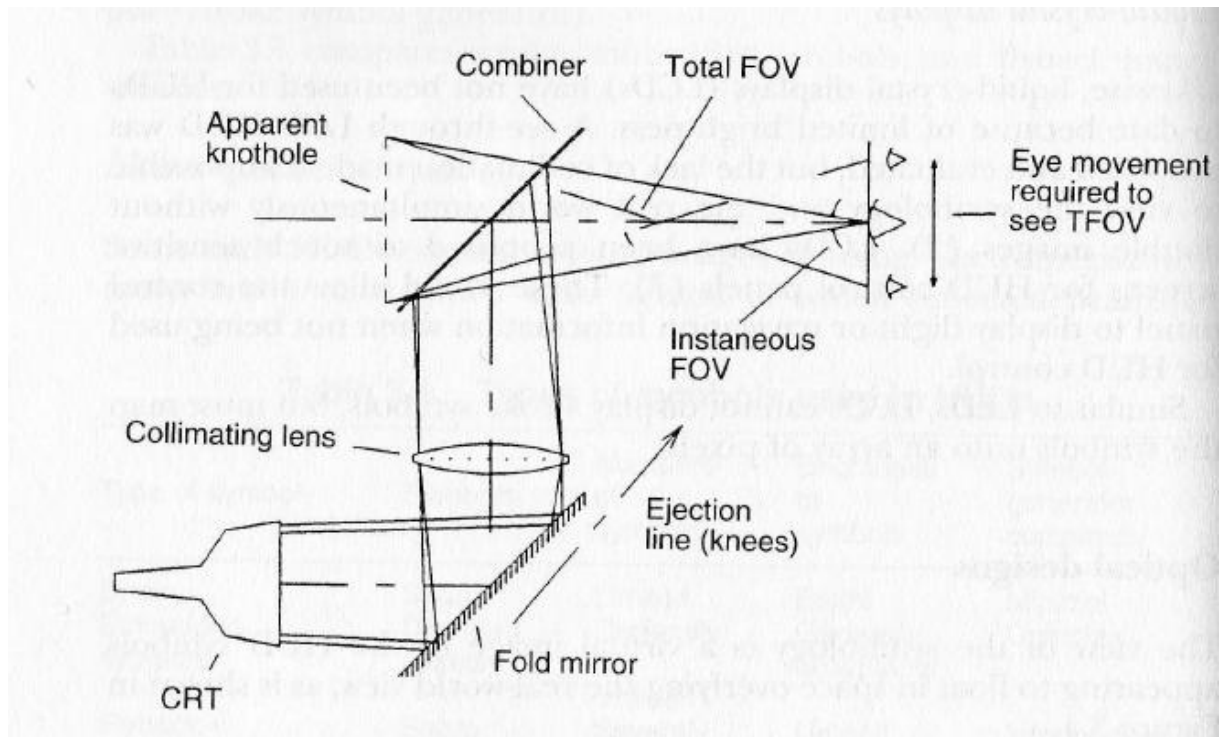
väristä erittäin hyvän käytettäväksi pimeällä, sillä se näkyy parhaiten sekä paljaalla silmällä että valonvahvistimen kanssa. [4]

Fosforiverkolle osuvan säteen pyyhkäisyn nopeus määrittää symbolin kirkkauden. Nopeampi pyyhkäisy muodostaa himmeämmän, hidas pyyhkäisy kirkkaamman valon. Symbolit piirtyvät 50 tai 60 kertaa sekunnissa. Jos päivitysnopeus on hitaampi kuin 50Hz, voi näkymä hyppiä tai välkkyä. Jos nopeus on suurempi kuin 60Hz, symbolit voivat näkyä liian himmeinä. Tämän takia HUD:ille voidaan syöttää vain rajallinen määrä tietoa kerrallaan. Symbol generatorin tuottamaa tietoa voidaan syöttää näytölle kahdella eri tavalla. Tapa riippuu säteen tavasta pyyhkäistä fosforiverkkoa. Molemmilla hallitaan poikkeutuskelojen avulla säteen liikettä symbolien x-, y- ja z-koordinaatteihin. X- ja y-koordinaatit määräävät pisteen sijainnin fosforiverkolla. Z määrä ajan, kuinka kauan säde pysyy siinä ennen kuin se jatkaa matkaa. Aika määrää pisteen kirkkauden. Symbol generator tarjoaa eri pisteille z-ajan, eli kuinka kauan säde pysähtyy siihen. Tällä tavalla tietyt merkit saadaan näkyviin. Stroke-tavassa säde ohjataan vain tarvittavien pisteiden kautta seuraavalle. Raster-tavassa säde pyyhkii fosforiverkon jokaista pistettä koko ajan. [11, s.31–32]

### 2.2.3 Heijastaminen

Hawkissa on käytössä projektiokuvaputki. Symbolit taitetaan useamman linssin avulla ja heijastetaan suoraan ylöspäin, jossa on kaksi kokoojalinssiä. Eri kulmissa tulevat valot heijastuvat lasilevyistä, luoden kaksi päällekkäin olevaa kuvaa, jotka ohjaaja näkee. Kaksi linssiä parantaa HUD:illa olevien symbolien tarkkuutta pystysuunnassa, jolloin vertikaalinen FOV (Field of View) paranee. Vertikaalinen FOV on kuitenkin suhteellisen kapea, sillä merkit katoavat näkyvistä liikuttaessa sivulle. Laajempi HUD olisi mahdollista saavuttaa vain lisäämällä heijastuslevyjä molemmille sivuille. [11, s.33-37]

Symbolit on tarkennettu äärettömään. Tällä tavalla heijastus näyttäisi olevan kaukana ulkona, eikä vain yksinkertainen, ikkunasta heijastuva valo. Ne piirtyvät terävinä vähentämään ohjaajan silmien räsitusta, kun taustalla näkyvä maisema on luonnollisen tarkka. Näin on mahdollista heijastaa ohjaajalle eri symboleja, jotka näyttäisivät olevan sidoksissa maantieteellisiin paikkoihin. [11, s.33-37] (Kuva 6)



Kuva 6: Heijastaminen [11, s.35]

Hawkin ohjaamossa on vain yksi optimaalinen kohta, jossa kuva näkyy sellaisena kuin on tarkoitus. Tämä on etsittävä päällä liikuttamalla istuinta ylös tai alas niin, että HUD:in horisonttiviiva ja todellinen horisontti yhtyvät, eikä linssien välinen rajapinta ”hammasta”. Lisäksi kompassikehän tulee näkyä leikkautumatta HUD:in yläreunassa. [10, s.52]

HUD-toistin, eli repeater, on takaohjaamoon sijoitettu monitori. Se näyttää symboliikan HUD-kameran kuvaaman näkymän päälle. Lasilevyjen edessä on videokamera, joka kuvaa etupenkillä olevan ohjaajan näkymää (katso Kuva 5). Tähän videokuvaan lisätään tietokoneen avulla HUD-symbolit, ja se näytetään takapenkin näytössä. Alemmalla säätimellä voidaan säätää näytön kirkkautta, ylemmälle ei ole määritelty tehtävää (katso Kuva 7). Tämä video HUD-merkkien kanssa tallennetaan, jotta sitä voidaan lennon jälkeen tarkastella uudestaan. 4”x 5” näyttö ei mahdollista täsmälleen etupenkillä olevan HUD:in kaltaista näkymää, mutta antaa takaohjaamossa olevalle ohjaajalle hyvän kuvan siitä, mitä etuohjaamosta nähdään. Takaohjaamossa istuvalle todellinen näkymä on havaittavissa HUD-toistimen ylitse, mutta etuistuimella istuvan näkökenttään kohdistettua HUD:n näyttöä arvoineen ei takaohjaamosta näe. [14, s.74,76] Näytöllä näkyvä tieto ei siis ole välttämättä sama kuin mitä etuohjaaja näkee, sillä siinä näkyvät arvot tulevat suoraan tietokoneelta. HUD:in katodisädeputken vikatilanteessa repeater näyttää oikein, jolloin lentoa voidaan turvallisesti jatkaa takaohjaamosta.



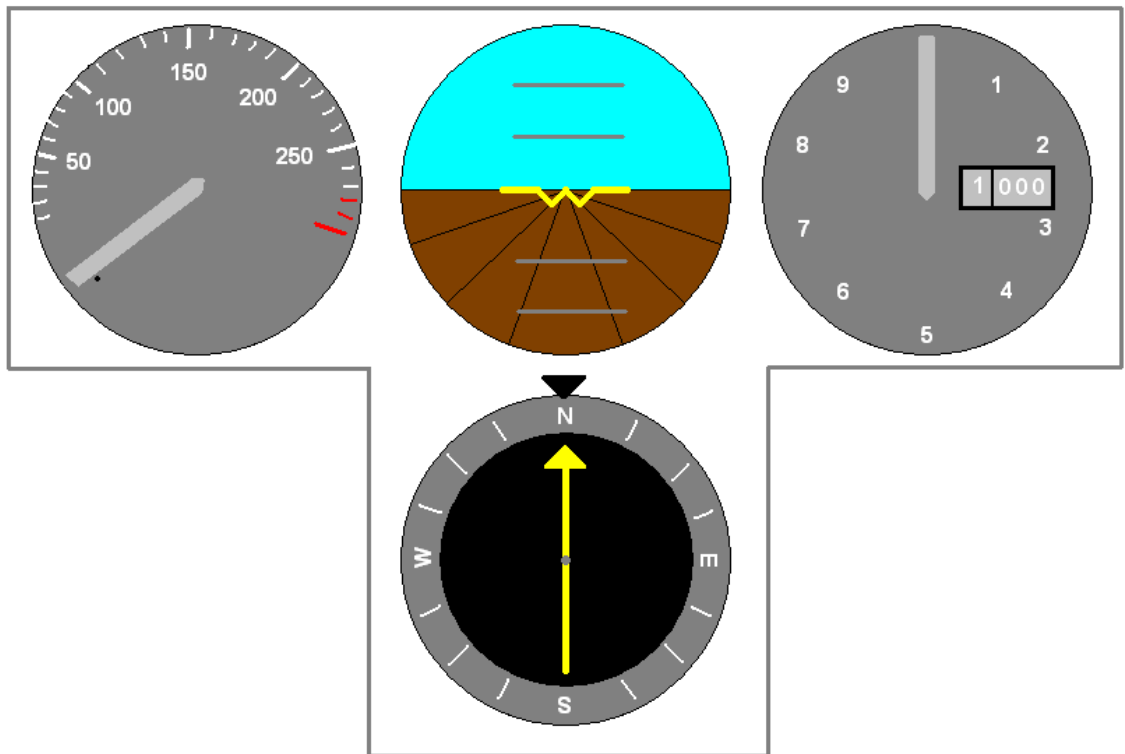
### 3 UG2-PÄIVITETYN HAWKIN HEAD-UP DISPLAY

Siirryttäessä analogisista mittareista digitaalisiin lukuihin, tulee eteen haasteita mittareiden toiminnassa. Analogisilla mittareilla saavutetaan etu selkeälukuisuudessa. Tämä on havaittavissa keinohorisontissa, johon voidaan helposti värjätä taivas ja maa, mutta HUD:illa värjääminen ei onnistu ilman näköesteiden luomista. Lisäksi analogisten mittareiden neulat kertovat nopeasti muutoksen suuruutta. Kaikki tämä helppolukuisuus on pystyttävä siirtämään HUD:ille. Head-up displaylle heijastuvia tietoja on myös karsittava riippuen eri lentotiloista ja tilanteista. Kaikki ylimääräinen tieto kuormittaa katodisädeputkea ja kyllästää ohjaajan näkymän niin, että tärkeimmät asiat voivat jäädä huomaamatta.

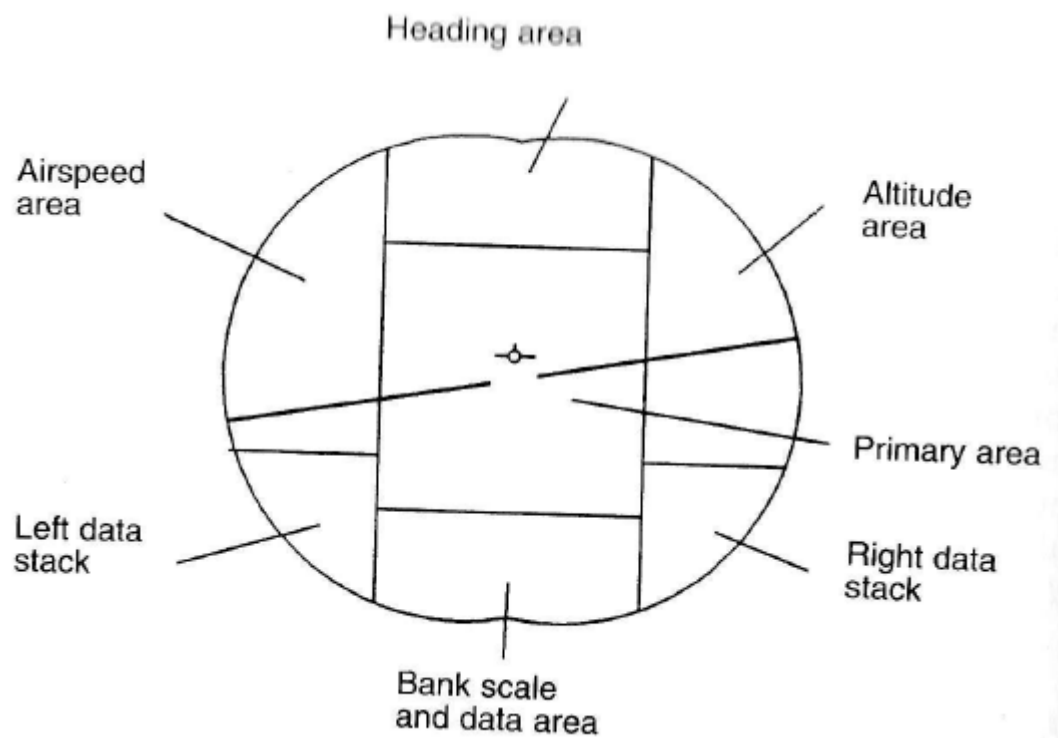
Lentokonesuunnittelussa mittareille on standardisoidut paikat, joita sovelletaan sijoitettaessa tietoja HUD:ille [11, s.70]. Tämä helpottaa ohjaajan toimintaa eri koneiden välillä sekä nopeuttaa arvojen katsomista, kun haluttu tieto on aina samassa paikassa [11, s.75]. Kuvassa 8 on esitelty vanhanaikaisissa head-down -mittareissa käytetty sijoitus, eli ”Basic-T” -malli. ”T”:n muodostaa keinohorisontti, jonka vasemmalla puolella on nopeus, oikealla puolella korkeusmittari ja alla suuntahyrrä. Keinohorisontin ollessa suoraan edessä ohjaajan on helppo hahmottaa koneen kallistuskulmia. Tämän takia se pyritään pitämään aina suoraan ohjaajan edessä. Muut mittarit on sijoitettu mahdollisimman lähelle helpottamaan ristiintarkkailua. [1, s.5]

Hawkin HUD mukailee tätä samaa suunnitteluperiaatetta. Tiedot jaetaan HUD:in seitsemälle alueelle, kuten Kuvassa 9. Kuitenkin nopeus- ja korkeusnäytön on tärkeää olla mahdollisimman lähellä HUD:in keskikohtaa. Niitä ei saisi sijoittaa yli 4° päähän keskilinjasta, koska muuten silmät joutuvat tekemään liikaa sivuttaista työtä tietoja lukiessa [11, s.73]. Silmän tarkan näkemisen alue on kuitenkin vain yksi aste (1°) [2]. Poiketen ”Basic T” -mallista, suuntanäyttö sijaitsee keskellä ylhäällä. Tämä helpottaa suunnan lukemista, koska maan näkyminen taustalla voi eri tilanteissa häiritä [11, s.100]. Lisäksi kallistuskulmien näyttöä ei suositella laitettavan ylös. Tähän on useita eri syitä. Alhaalla ollessaan kallistuskulmaa indikoiva nuoli osoittaa aina kohti maata. Ylhäällä ollessaan nuolen olisi liikuttava kallistettaessa kallistuksesta vastakkaiseen suuntaan, eikä kallistukseen. Muutoin se ei pysy kohtisuorassa horisonttiin. Lisäksi sen sijainti on kompromissi. Alareunan merkit voivat kadota maata vasten katsoessa. Suuntanäyttö HUD:illa on kallistuskulmia tärkeämpi

seurattava arvo, joten se kannattaa pitää ylhäällä näkyvissä. [11, s.107–108] Näin ollen kallistuskulmat ja mahdollinen sivuluisun näyttö ovat alhaalla.

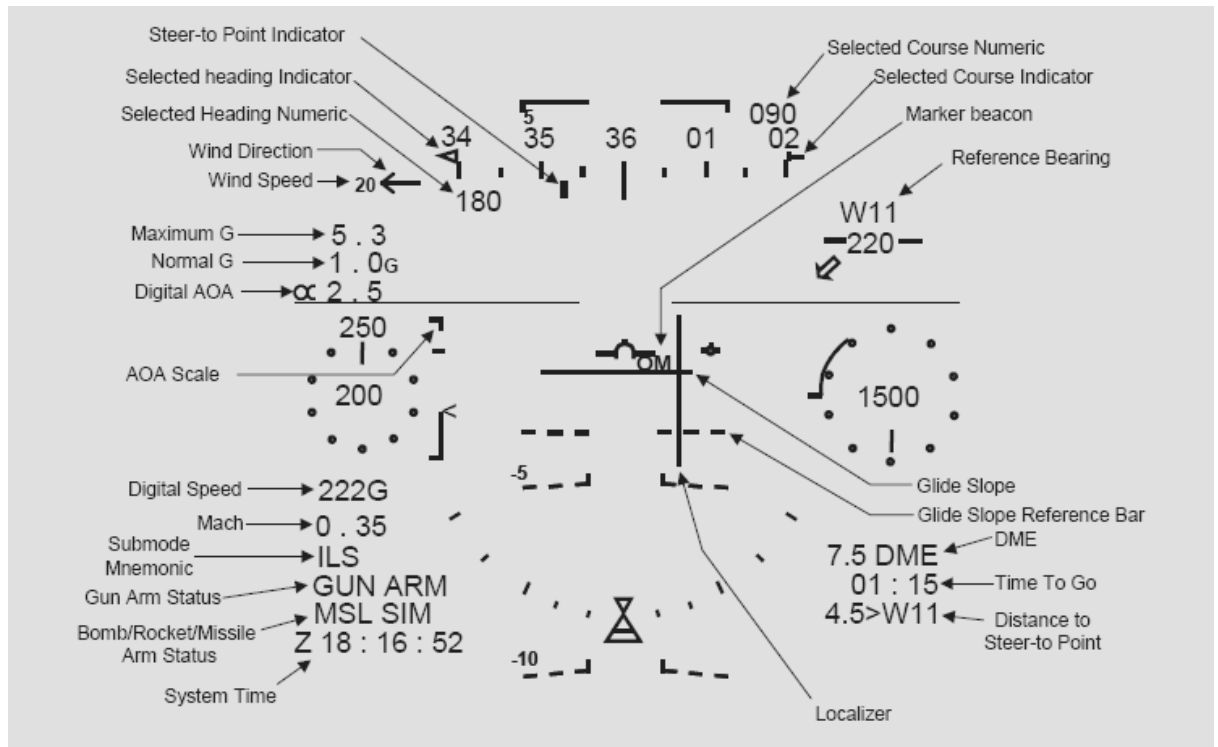


Kuva 8: Basic T



Kuva 9 [11, s.72]

Kuvassa 10 on esitetty merkeillä kyllästetty Hawkin HUD. Kuva ei ole oikeasta tilanteesta, vaan se on kyllästetty niillä merkeillä, joita sinne voi eri tilanteissa tulla. Siitä on kuitenkin hyvä tarkastella eri tietoja.



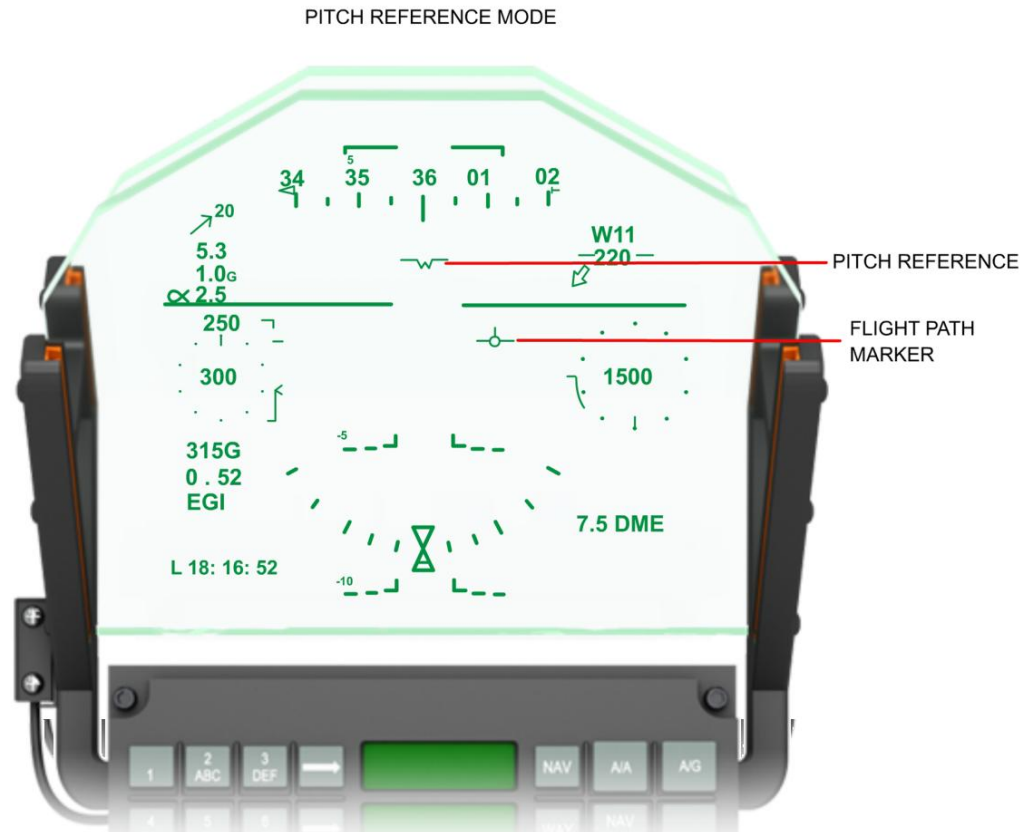
Kuva 10: Head-up displayn näkymä kyllästettynä merkeillä [14, s.167]

### 3.1 Primäärialue

Primäärialueella tarkoitetaan HUD:in keskellä olevaa aluetta, joka on välittömästi ohjaajan silmien edessä. Siinä esitetään koneen asento, suunnistusjärjestelmiltä saatavat tiedot, asejärjestelmän tähtäimet sekä koneen nopeusvektorit. Riippuen tilanteesta ja koneen asennosta, primäärialueella liikkuvat FPM, CDM sekä Climb Dive Ladderit (katso Kuva 10). Horisontti esitetään koko HUD:in läpi kulkevana viivana, joka on aina oikean horisontin kanssa samassa linjassa.

HUD näyttää ohjaajalle koneen asentoa kahdella eri tavalla. Ohjaaja valitsee haluamansa UFCP:ltä. Käynnistyksen jälkeen HUD näyttää Climb Dive Markerin (CDM) (Kuva 11). Sitä käytetään lennoilla ensisijaisesti. CDM näyttää koko ajan koneen nopeusvektorin suuntaa suhteessa climb dive laddereihin, eli nousu- ja liukukulmia näyttäviin vaakaviivoihin. CDM:n ollessa +5 asteen nousukulmalla, kone lentää 5 asteen nousua. CDM:llä nousu- ja liukukulmia on helpompi seurata merkin ollessa koko ajan niiden välissä, indikoiden tarkasti koneen nousu- tai liukukulmaa. CDM pystyy liikkumaan vertikaalisesti ylös tai alas HUD:ia pitkin,



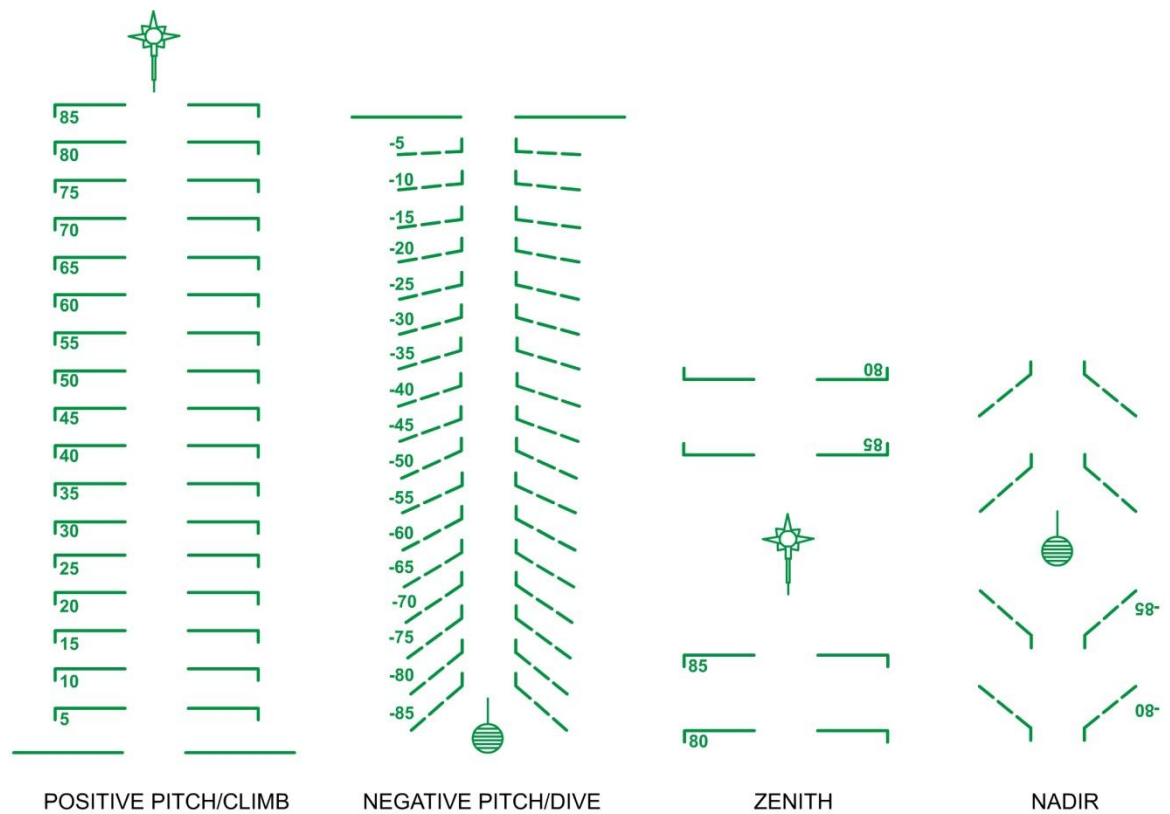


Kuva 12:WL / Pitch reference [7, s.10]

FPM tai CDM voivat myös mennä HUD:in näyttöalueen ulkopuolelle. Tällöin symbolin päälle tulee ruksi ja se on HUD:in reunalla siinä kohtaa, joka on lähimpänä sen oikeaa sijaintia. Molemmissa tapauksissa ruksi indikoi sitä, että merkki on alueen ulkopuolella eikä näin ollen näytä oikeaa kohtaa. [7, s.12]

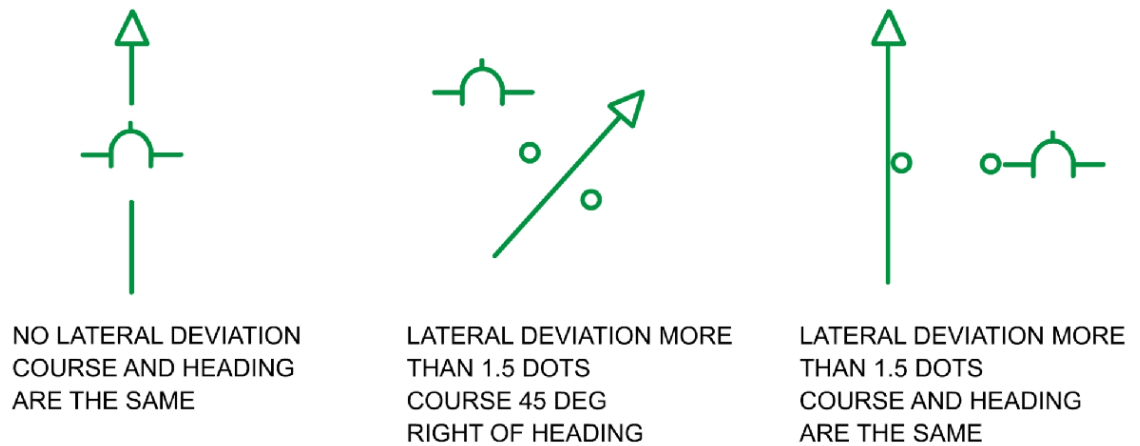
Climb dive ladderit pysyvät horisontin kanssa koko ajan yhdensuuntaisina koneen liikehtiessä. Ylöspäin mentäessä nousukulmaa näyttävät vaakaviivat, eli ladderit, ovat suoria. Niiden ulkoreunoissa on pienet väkäset kohti lähimpää horisonttia. Ylhäällä pystysuorassa kohdassa on tähden kaltainen zenith-symboli, jonka niin sanottu häntä osoittaa koko ajan lyhintä reittiä horisonttiin. Horisontin alapuolella olevat viivat ovat katkonaisia, joiden sisäreunassa on väkäset kohti lähintä horisonttia. Ne ovat kallistettuja keskustaa kohti. Kallistuksen määrä riippuu kulmasta: mitä jyrkempi syöksy, sitä suurempi kulma viivoilla on. Alhaalta löytyy pallon näköinen nadir-symboli, josta lähtevä viiva osoittaa myös lähimmän horisontin suuntaan. Ladderit ovat myös numeerisesti merkattuja  $5^\circ$  välein, kertoen tarkasti nousu- ja liukukulmia. Nousua ja liukua kuvaavat palkit loppuvat  $\pm 85^\circ$  kulmille. [7, s.12]





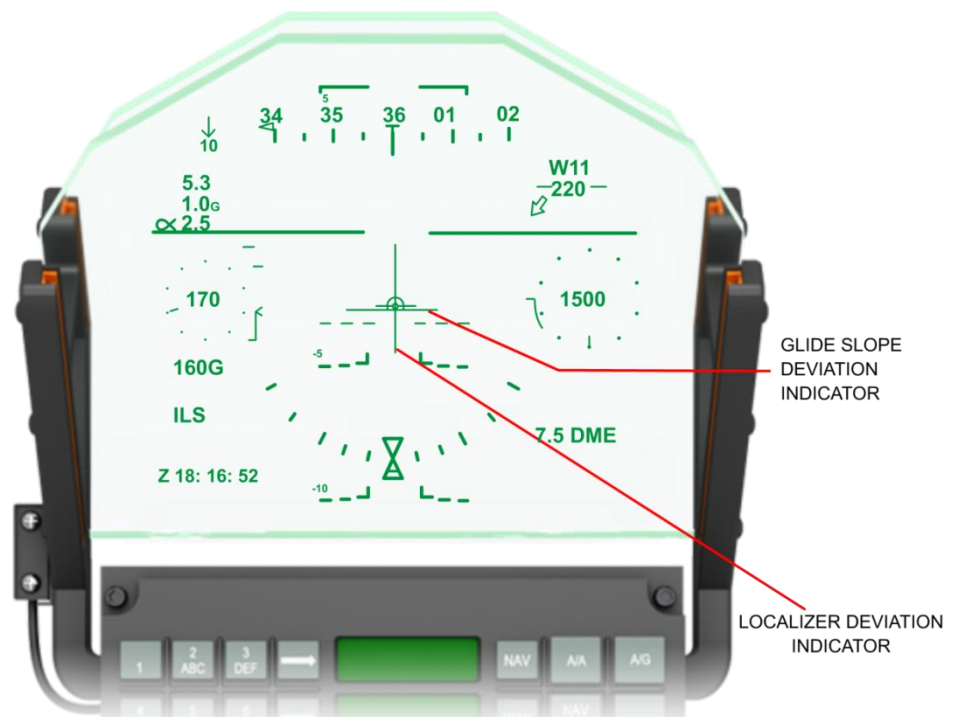
Kuva 13: Pitch Ladder/Climb Dive Ladder [7, s.13]

Keskelle HUD:ia heijastetaan lisäksi erilaisia suunnistuskuvioita, lähestymisen aikana tarvittavat ILS -liuku- ja suuntapalkit sekä taistelutilanteissa aseiden erilaiset tähtäimet. Lentäessä HUD:ille voidaan heijastaa erilaisia, aktiivisesti liikkuvia, kuvioita. Niiden käyttö riippuu täysin lentotilanteesta, sekä valitusta Master Mode:sta. NAV moodilla käytössä on nuoli (CDI, Course Deviation Indicator, Kuva 14), joka näyttää suuntaa valitulle pisteelle. Piste voi olla maantieteellinen tai radiomajakka. UFCP:llä voi valita radiaalın, jonka suhteen nuoli näyttää saapumissuuntaa pisteeseen. Tämä nuoli toimii samalla tavalla kuin suuntasäde VOR-lähestymisessä, yhden dotin, eli pisteen, ollessa  $5^\circ$  poikkeama linjasta (Kuva 14). Valitun pisteen voi halutessaan designoida MFD:ltä. Tällöin HUD:illa pisteen korkeuden ja sijainnin kohdalle tulee kärjellään oleva suunnikas Target Diamond (TD). TD:n ollessa HUD:in ulkopuolella, näkyviin tulee koneen nokan paikkaa näyttävä risti, boresight cross. Tämän vasemmalla puolella näkyy lukuina koneen nokan ja pisteen välinen kulmaero asteen tarkkuudella. Keskeltä ristiä lähtee viiva designoitua pistettä kohti. [7, s.25-26]



Kuva 14: CDI, Course Deviation Indicator [7, s.23]

FAC VOR-alamoodin ollessa päällä, ILS-lähestymislaitteiston ollessa kytkettynä sekä koneen vastaanottaessa ILS-liuku- ja suuntasädettä, ilmestyy HUD:in keskelle kaksi ortogonaalista palkkia (katso Kuva 15). Nämä liikkuvat näytössä, muodostaen lähestymistä tekevälle ohjaajalle selkeän kuvan siitä, missä kohtaa liukua kone on. Niiden toimintaperiaate on sama kuin analogisessa ristimittarissa. Lisäksi horisontin ja  $-5^\circ$  indikoivan ladderin väliin tulee katkoviiva, joka osoittaa  $-3^\circ$  liukua. Palkit toimivat suhteessa CDM:ään (tai FPM:ään mikäli valittuna FPM locked UFCP:ltä).



Kuva 15: HUD:in ILS -palkit [7, s.25]

Lennettäessä marker beaconien ylitse CDM (tai mikäli WL valittuna niin FPM) -symbolin oikeaan reunaan ilmestyy kyseistä majakkaa indikoiva teksti. OM uloimmalle, MM keskimmaiselle ja IM sisimmälle majakalle. Kirjaimet ovat näkyvissä niin kauan kuin majakalta tulee signaalia. [7, s.24]

Hawkin suunta-asteikosta näkyy kerrallaan noin  $40^\circ$ . Sen mittakaava on supistettu noin suhteessa 4:1 - 6:1, helpottaakseen suunnan seuraamista nopeassa liikehdinnässä [11, s.100]. Siinä on pystyviivat ja luvut jokaisen  $10^\circ$  välein. Luvuista on jätetty viimeiset nollat pois.  $5^\circ$  välein on pienempiä pystyviivoja. Asteikko liikkuu sulavasti sivuttain koneen kaartaessa. Keskellä oleva suurin pystyviiva osoittaa nokan suunnan. Jos asteikoksi on valittu tosisuunta (True), numeroasteikon yläpuolella on T kirjain, muussa tapauksessa se näyttää magneettista suuntaa [7, s14].

Tuulikorjattu kurssi kohti valittua pistettä on pieni, paksumpi viiva asteikon alapuolella. Lentomoodin valittu kurssi näkyy pienenä T-kirjaimena suunta-asteikon ja -viivojen välissä (Kuva 15). Lisäksi ohjaaja pystyy ennalta määrittämään suunnan, joka näkyy asteikolla pienenä kolmiona. Suunnan ollessa asteikon sisällä, kolmio seisoo kärjellään. Näkyvän asteikon ulkopuolella ollessaan nämä kolme merkkiä kaatuvat kyljelleen. [11, s.100]

Alareunasta keskeltä löytyvät pienet viivat helpottavat koneen kallistamista, ollen sijoitettuna tasaisin välein. Isommat viivat ovat 30 ja 60 astetta, pienemmät niissä väleissä ovat 10, 20 ja 45 astetta. Keskeltä alhaalta löytyy kaksi vastakkain olevaa kolmiota. Ylempi, pienempi kolmio liikkuu koneen kallistuessa, osoittaen aina kohtisuoraan maahan. Alempi kolmio pysyy aina paikallaan suhteessa koneeseen. Kolmion alempi osa on sivuluisun tarkkailuun. Se liikkuu aina luisun puolelle. (katso kuva 16) Tällä tavalla se toimii kuten kuula vanhemmissa koneissa. [9, s.14]



Kuva 16: Sivuluisu [7, s.14]

## 3.2 Barostaattiset lentoarvot

Barostaattiset lentoarvot HUD:illa käsittävät kaiken sen tiedon, mitä MC saa ADC:n kautta. Tätä tietoa kerätään pitot-staattisen järjestelmän sekä kohtauskulma-anturin kautta. Saatavia arvoja ovat ilmanopeus, pystynopeus ja korkeus, kohtauskulma sekä äänennopeusmoninkerta.

Primäärialueen vasemmalla puolella on nopeusnäyttö. Se näyttää aina indikoitua ilmanopeutta IAS (Indicated Airspeed). 10 pistettä muodostavat ympyrän kehän, jossa 1 piste vastaa 10 solmua. Yksi kierros on 100 solmua. Pisteiden sisäpuolella kehää kiertää pieni viiva, joka toimii analogisen mittarin neulan tavoin. Keskellä ympyrää on sen hetkinen nopeus lukuna. Kehää kiertävä viiva etenee tasaisesti, mutta keskellä oleva luku vaihtuu napakasti solmun välein. Tällöin kokonaisluku on helposti erotettavissa [11, s.92]. Nopeuden ollessa alle 40 solmua keskusta on tyhjä. [7, s.15-17]

Ohjaaja voi valita nopeuden, jota haluaa säilyttää. Lennettäessä määräaika-suunnistusta TOT:illa (Time-on-Target), tietokone laskee vaadittua nopeutta, jolla määräpisteelle saavutaan haluttuna ajankohtana. Molemmissa tapauksissa vaadittava nopeus tulee näkyville nopeuskehän yläpuolelle. Kun koneen nopeus on  $\pm 40$  solmua halutusta, merkintä katoaa ja kehän ulkoreunalle tulee pieni ”V” näkyviin (ei näy kuvassa 10). Sen kärki osoittaa kehän keskusta ja liikkuu halutun nopeuden kohdalle. Mikäli nopeus muuttuu, ”V” liikkuu uuden lasketun nopeuden kohdalle.

Välittömästi nopeuden oikealla puolella on kohtauskulma-palkki. Tämä on tärkeä merkki varsinkin laskua tehtäessä. Se tulee näkyville vain silloin, kun laskutelineet valitaan ulos ja poistuu, kun ne ovat sisällä. Siinä kasvava palkki indikoi kohtauskulmaa visuaalisesti. Asteikon alakohta on  $\alpha_2$ ,  $\alpha_5$  on vaakaviiva ja yläkohta on  $\alpha_6$ . Nopeusmittarin yläpuolelta löytyy hetkellinen kohtauskulma, sen alapuolella on äänennopeusmoninkerta, eli mach-luku, kahden desimaalin tarkkuudella. [7, s.15-17]

Primäärialueen oikealla puolella on samanlaisessa ympyrässä korkeusmittari. Siinä kahden pisteen väli on 100 jalkaa, kokonaisen ympyrän ollessa 1000 jalkaa. Neula käyttäytyy samoin kuin nopeusmittarissa. Sisällä oleva korkeus vaihtuu napakasti 10 jalan välein, jotta lukeminen on selkeämpää [11, s.92]. Keskellä oleva luku esitetään neljällä numerolla kun korkeus on alle 9999 jalkaa. 10 000 jalan yläpuolella kolme viimeistä numeroa muuttuvat kooltaan pienemmäksi, ollen 60 % alkuperäisestä. Korkeusmittarin yläpuolelle tulee näkyviin

valittu korkeus. Luku katoaa näkyvistä  $\pm 400$  jalan päässä valitusta, jolloin samalla tavalla toimiva ”V” tulee näkyviin. [11, s.96]

Baroasetusta muutettaessa kehän alapuolelle tulee hetkeksi näkyviin uusi paineasetus neljällä numerolla, jonka jälkeen kirjain B (Baro). Korkeusmittarissa kello 9 kohdasta lähtee variometrin vana vasta- tai myötäpäivään. Variometrikaarella ensimmäinen piste kuvaa 333 jalkaa minuutissa nousua tai laskua, seuraava 1000 jalkaa/min ja siitä seuraavat 1000 jalkaa lisää. Se muun muassa helpottaa nousu- ja liukunopeuden määrittelyä. [7, s.15-17]

### 3.3 INS/GPS-järjestelmän tiedot

INS/GPS järjestelmä tuottaa MC:lle tietoa, jotka tarvittaessa heijastetaan HUD:ille. Aiemmin esitettyjen FPM/CDM nopeusvektoreiden lisäksi HUD:in reunoille heijastetaan lennolla tarvittavia tietoja.

Hetkellisen kohtauskulman yläpuolelta löytyy sen hetkinen kuormituskerroin sekä lennolla saavutettu maksimi kuormituskerroin. Ylimpänä vasemmassa yläkulmassa on tuulen suunnan ja nopeuden indikaattori. Siinä on pieni nuoli, joka osoittaa tuulen suuntaa. Nuolen vieressä on tuulen nopeus solmuina. [7, s.15]

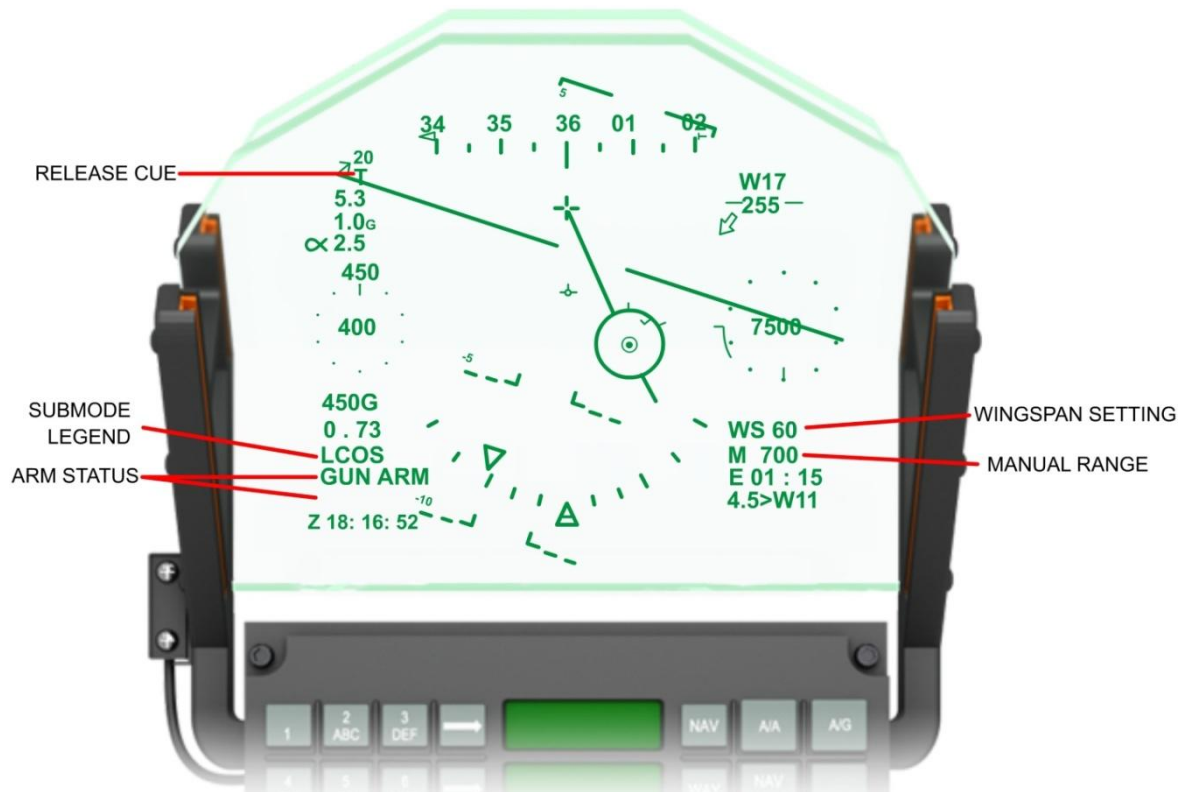
Korkeusmittarin yläpuolella, HUD:in oikeassa yläkulmassa näkyy suunta valitulle pisteelle, joka voi olla joko VOR-majakka tai GPS-sijainti. Kuvassa 10 valittu piste on W11, eli reittipiste 11. Mikäli valittuna on jokin VOR-majakka, tekstinä olisi VOR. Sen alla oleva luku tarkoittaa magneettista suuntaa ja nuoli osoittaa suhteellista suuntaa sen hetkisestä sijainnista valitulle pisteelle. [7, s.15-17]

Vasemmasta alareunasta löytyy ylimääräistä, informatiivista tietoa, jota ohjaaja voi lennollaan tarvita. Ylimpänä on ohjaajan valitsema nopeus, tämä voi olla G eli maa-, I eli indikoitu- tai T niin kuin tosi-ilmanopeus. Maanopeus näkyy jo muutaman solmun nopeudessa. Sen alapuolella on äänennopeusmoninkerta, eli mach-luku kahden desimaalin tarkkuudella. Tämän alla on aktiivisena olevan moodin alamoodin nimi, joka voi olla muun muassa suunnistus-, mittarilähestymis- tai tähtäinjärjestelmä. Kaksi alemmaa kertovat aseistuksen tilasta. Alimpana on kellonaika, jonka voi valita olevan joko paikallista aikaa, näytössä kirjain L, tai UTC, näytössä kirjain Z. (katso Kuva 10).

Oikealla alhaalla on valittuna olevan alamoodin järjestelmän tietoja. Kuvassa 10 valittuna on mittarilähestyminen, joten ylimpänä näkyvä DME-etäisyys on vastaanotetun VOR- tai ILS-majakkan etäisyys. Tätä voi vaihtaa riippuen tilanteesta ja ohjaajan halusta. Lisäksi asejärjestelmiä käytettäessä näiden tilalla on muita, aseistukseen liittyviä arvoja. Alimmat kaksi ovat aina tietokoneen laskema lentoaika valitulle pisteelle nykyisellä nopeudella, sekä alimpana on etäisyys Waypointille numero 11, eli 4,5 NM.

### 3.4 A/A asejärjestelmä

Ilmataistelussa näkyviin tulee, ohjaajan valinnasta riippuen, erilaisia tähtäinmalleja. Simuloiduissa ilmataistelutilanteissa A/A ja A/G sekä käytettäessä oikeita aseita MMO-tilassa, vaihtuu WL-symboli Boresight Cross:iin. Tämä risti on kohta, johon aseiden piippu tai ohjuksen hakupäät osoittavat. Se on 3 astetta HUD:in keskikohdan yläpuolella.

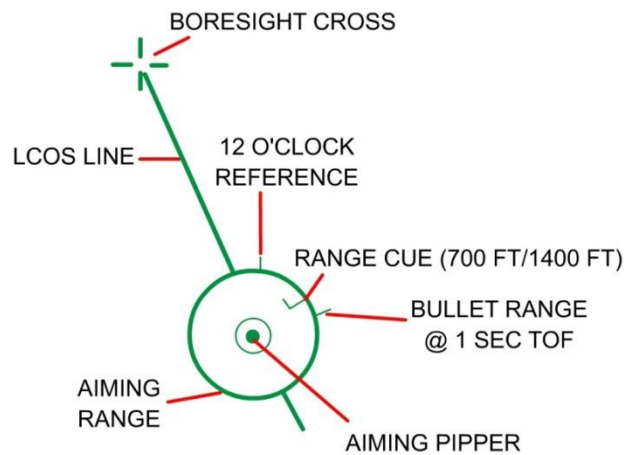


Kuva 17: HUD Air-to-Air Master Mode [7, s.27]

Samalla näyttöön tulee esille valittu vihollisen siipivälin asetukset, joka näkyy kirjainten WS (wingspan) jälkeen. Koko on jaloissa, ja valittavina ovat 30, 40, 60 tai 90 jalkaa. Tämän pystyy valitsemaan UFCP:sta. Kaasukahvaa kääntämällä pystyy valitsemaan joko 700 tai 1400 jalan etäisyyden viholliskoneeseen. Valittu etäisyys näkyy kirjaimen M jälkeen. Kahvassa on kolme asentoa, vastapäivään, keskellä ja myötäpäivään. Kahvan ollessa keskellä tai kierrettynä täysin vastapäivään, on etäisyys 700 jalkaa, myötäpäivään kierrettynä 1400

jalkaa. Vasemmalla alhaalla lukee aseiden tilat, sekä mikä tähtäin on käytössä. (katso Kuva 17) [7, s.26]

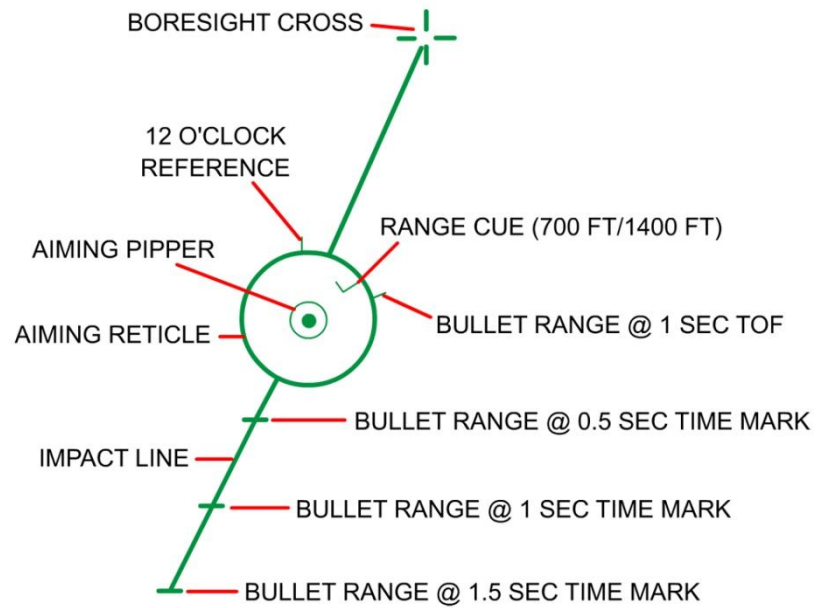
Tykillä ammuttaessa on mahdollista käyttää kahta eri tähtäintä, joko LCOS tai CCIL. Lead Computing Optical Sight (LCOS) tähtäinmalli näyttää mihin kohtaan tykin ammukset osuvat valitulla etäisyydellä. Tähtäin ottaa huomioon koneen liikehännän, ja tähtäimen osumakohta liikkuu sen mukaan. Piipun linjasta tähtäimeen kulkeva viiva indikoi ammusten lentorataa ja putoamista maan vetovoiman vaikutuksesta. [7, s.26] (katso Kuva 18)



Kuva 18: LCOS, Lead Computing Optical Sight [7, s.30]

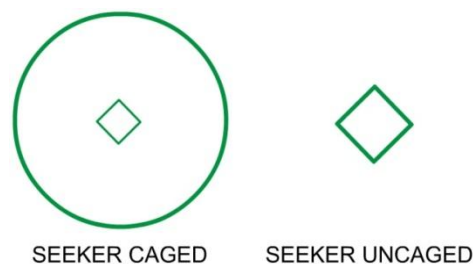
Riippuen säädetyistä viholliskoneen siipien kärkivälistä sekä etäisyydestä, tähtäimen ympärillä olevan ympyrän koko muuttuu. Näin ollen valitun kokoinen lentokone, valitun etäisyyden päässä on juuri ympyrän kokoinen, joka näin helpottaa etäisyyden arviointia.

Continuously Computed Impact Line (CCIL) on toinen mahdollisista tähtäimistä, joita tykillä ammuttaessa käytetään. Toisin kuin LCOS-tähtäimessä, tietokone laskee koko ajan laukausten lentorataa. Tähtäimen ympyrän koko määräytyy samalla tavalla kuin toisessakin tähtäimessä, se riippuu täysin valitusta etäisyydestä sekä viholliskoneen siipien kärkivälistä. Tässä tähtäimessä tietokone laskee lisäksi tähtäimen taakse jatkuvasti muuttuvaa ”impact line” -viivaa, joka muuttuu riippuen koneen liikehännästä. Siihen muodostuu kolme poikkiviivaa indikoimaan laukausten osumakohtia 0.5, 1 sekä 1.5 sekuntia tähtäimen keskellä olevan osuman jälkeen. Kaikkeen tähän vaikuttaa valittu etäisyys. [7, s.31] (katso Kuva 19)



Kuva 19: CCIL, Continuously Computed Impact Line [7, s.31]

A/A- tai MMO-moodissa ohjusta ammuttaessa näkyviin saadaan ohjuksen tähtäin (Kuva 20). MSL-alamoodi valitaan käyttöön UFCP:ltä. Tähtäin on keskellä HUD:ia oleva 55 mradin kokoinen ympyrä. Ympyrä näyttää alueen, josta ohjuksen hakupää pystyy etsimään maalia. HUD:illa näkyvä timantti kertoo hakupään tilasta. Hakupään ollessa lukittuna (caged) ympyrän sisällä oleva timantti on sivuiltaan 5 mrad. Kääntämällä kaasukahva keskiasentoon, hakupää vapautuu (uncaged), jolloin ohjuksen hakupää alkaa etsiä maalia. Tällöin ympyrä katoaa ja timantti kasvaa kooltaan niin, että jokainen sivu on 12 mrad pitkä. [7, s.28]



Kuva 20: Ohjuksen tähtäimet [7, s.30]



## 4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä tutkielmassa selvitettiin kuinka UG2-päivitetty head-up display toimii ilmavoimien Hawk-hävittäjässä. Tähän pyrittiin vastaamaan tutkimalla HUD:ia teknisenä laitteena sekä selvittämällä mitä tietoja ja merkkejä siinä näkyy lennon aikana. UG2-päivityksen tunteminen on ajankohtaista, koska se saatiin päätökseen vuonna 2013, eikä siitä ole tehty vielä laajempaa tutkimusta.

Tässä tutkielmassa tärkeimpänä lähteenä on käytetty ilmavoimien omaa materiaalia kyseisestä päivityksestä ja Air Crew Manualia sen merkkien toiminnasta. Ulkopuolisista lähteistä on selvitetty yleisesti eri osien toimintaa ja merkkien toimintaan liittyviä ohjeita ja sääntöjä, joita koneen HUD noudattaa.

HUD on ensisijaisesti käytettävä näyttö. Lentotietokone (MC) analysoi koneen mittaamat lentoarvot ja syöttää niiden avulla tietoja katodisädeputkelle. Se muodostaa erilaisia kuvioita, jotka heijastetaan erilaisten kokoojalinssien avulla ohjaajan näkyville. CDM:n ja FPM:n sijainnin HUD:illa pystyy määrittämään laskemalla inertialentorata seuraavien kaavojen avulla, jossa  $\gamma_i$  on pystysuuntainen lentorata ja  $\Phi_i$  sivuttaissuuntainen lentorata.

$$\gamma_i = \tan^{-1} \frac{V_z}{V_x}$$

$$\Phi_i = \tan^{-1} \frac{V_y}{V_x}$$

Katodisädeputki laitteena muodostaa haasteita näytön suunnittelulle. Ohjaajalle hyödyllinen laaja näkymä ei onnistu Hawkissa käytettävällä tekniikalla, vaan näkymä on kapeahko ja näkyy vain yhdestä kohdasta. Lisäksi se on yksivärinen kahdesta syystä. Monivärisyys vaatisi monivärisen fosforiverkon ja laitteen koosta johtuen, yksittäisten väriä tuottavien kohtien olisi oltava erittäin pieniä, ettei pikselöitymistä tapahtuisi. Monokromatiikka takaa luonnollisen näkymän silmälle. Vihreä väri näkyy parhaiten heikossa valaistuksessa, joten pimeässä vihreä näkyy parhaiten sekä paljaalla silmällä että valonvahvistimen kanssa.

HUD:illa olevien arvojen sijoitteluun on käytetty apuna vanhanaikaista Basic T -mallia. Siinä käytetään kaikille lentoarvoille omaa spesifioitua paikkaa näytöllä. Keskellä on primäärialue, vasemmalla nopeus- ja oikealla korkeustiedot. Tämä yhdenkaltaisuus helpottaa siirtymistä eri koneyksilöiden sekä konetyyppien välillä. Tämä myös helpottaa Hawkin HUD:in päivittämistä tulevina vuosina, jolloin se saadaan vastaamaan paremmin Hornetin HUD:ia, koska päivitykset voidaan toteuttaa pelkästään tietokoneen avulla.

HUD:ia ei tule pitää ainoastaan yhtenä lentoarvomittarina, jota opitaan käyttämään, vaan sitä voidaan käyttää tehokkaana apuvälineenä ohjaajan tilannetietoisuuden ja koneen asennon havainnoinnin opetteluun. Oppimista helpottaisi se, että lentämistä harjoiteltaisiin ilman HUD:in eri osia. Poistamalla FPM/CDM, ilmanopeus tai kohtauskulmalukema, saisi ohjaajaoppilaan ristiintarkkailua parannettua, koska tärkeiden arvojen puuttuessa on tukeuduttava muihin arvoihin. Lähestymisen aikana CDM:n ja ilmanopeuden poistaminen pakottaisi katsomaan kohtauskulmaa sekä variometriä, kun taas kohtauskulman puuttuessa on tukeuduttava enemmän ilmanopeuteen sekä havainnoimaan nokan asentoa paremmin.

Tässä tutkielmassa HUD:in symbolit ovat sen hetkisen päivityksen mukaisia. Tulevat päivitykset pyrkivät tekemään niistä samanlaisia Hornetin HUD:in merkkien kanssa. Samalla kun Hawk HUD jatkuvasti päivittyy, niin pitäisi koneen back-up instrumentteja myös päivittää. Eri konetyyppien HUD:eilla tärkein on merkkien sijainnin standardisointi. Niiden sijoittelu, merkit, värit ja symbolit vaikuttavat ohjaajan tilannetietoisuuden säilyttämiseen ensisijaisten mittareiden vikatilanteissa. Mikäli mahdollista, HUD:in merkkien päivityksessä tulevat muutokset on tuotava myös varamittareille. Vanhanaikaiset analogiset nopeus- ja korkeusmittarit toimivat mekaanisesti suoraan pitot-staattisen järjestelmän kautta, eikä niihin kannata puuttua. Tärkein lisäpäivityksen kohde olisi koneen asentoa näyttävä laite, Hawkissa BFI. Samasta syystä, kuin eri konetyyppien HUD:it yhtenäistetään ja käytetään Basic-T -mallia, olisi varamittarilla esitettävät tietojen oltava samassa muodossa. Paras siirtyminen olisi, jos laitteesta arvoineen tehtäisiin mini-HUD.

## LÄHTEET

- [1] Baty D.L., Watkins M.L., *An Advanced Cockpit Instrumentation System: The Coordinated Cockpit Display*, NASA Technical Memorandum 78559, JULY 1979  
[http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19790018965\\_1979018965.pdf](http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19790018965_1979018965.pdf)
- [2] BioMag Laboratory, HUS Medical Imaging Center, Helsinki University Central Hospital,  
<http://www.biomag.hus.fi/braincourse/L5.html>, viitattu 9.11.2013
- [3] Bristol Groundschool JAA ATPL course: *022 Flight Instruments*, Issue 5, 2012
- [4] Bristol Groundschool JAA ATPL course: *040 Human Factors*, Issue 5, 2012
- [5] Ilmavoimat, *Ilmavoimien Hawkit päivitettiin 2010-luvulle*, Julkaistu 14.11.2011
- [6] Ilmavoimien esikunta, Operatiivinen osasto, *HW1 Lentokoulutusohjelma*, Julkaistu: 10 / 2012
- [7] Ilmavoimien Materiaalilaitos, *Hawk MLU Aircrew Manual ACM Chap 12 Mission System Integration Displays and Controls*
- [8] Ilmavoimien Materiaalilaitos, *FINAF MLU TB Chap 12 Mission System*
- [9] Ilmavoimien Materiaalilaitos, *FINAF MLU TB Chap 13 Flight Information Displays and Instruments*
- [10] Liinamaa, Juha, *Hawk MLU oppitunnit ketjutettuna*, Lentosotakoulu, HW-jaosjohtaja
- [11] Newman, Richard: *Head-Up Displays, Designing the way ahead*, Ashgate Publishing Company, USA 1995
- [12] Paavola, K. 177165, Mäentausta, J. 176537, *ELE-4250 Elektroniikan miniatyrisointi, Näyttötekniikat*, Tampereen teknillinen yliopisto, [http://www.ele.tut.fi/teaching/ele-4250/inkjet\\_perusteita.pdf](http://www.ele.tut.fi/teaching/ele-4250/inkjet_perusteita.pdf)
- [13] PC Guide, The, <http://www.pcguides.com/ref/crt/crtMask-c.html>, viitattu 7.11.2013
- [14] Pynnönen, R., *Hawk MLU järjestelmäkurssi*, Patria
- [15] Wikipedia, [http://en.wikipedia.org/wiki/Cathode\\_ray\\_tube](http://en.wikipedia.org/wiki/Cathode_ray_tube), viitattu 7.11.2013

## LIITELUETTELO

LIITE 1      Käsitteet ja lyhenteet

## Käsitteet ja lyhenteet:

A/A	Air-to-Air Master Mode, ilmataistelumoodi HUD:illa
A/G	Air-to-Ground Master Mode, ilmasta-maahan moodi HUD:illa
ADC	Air Data Computer, lentoarvotietokone
AOA	Angle of Attack, kohtauskulma, $\alpha$ , alpha
ATPL	Air Transport Pilot License, liikennelentäjän lupakirja
BFI	Backup Flight Instrument (s) (voi tarkoittaa joko kaikkia varamittareita tai BFI-laitetta)
BIT	Built-in-Test, tietokoneen itse suorittama järjestelmätesti
CCIL	Continuously Computed Impact Line, muuttuva tähtäinlinja
CDM	Climb Dive Marker, pituussuunnan nopeusvektori HUD:illa
CSI	(backup) Combined Speed Indicator, varanopeusmittari
DME	Distance Measuring Equipment
EGI	Embedded GPS / Inertial navigation system, yhdistetty GPS ja inertipaikannusjärjestelmä sekä reittipistesuunnistuksen alamoodi
FAC VOR	Facility VOR, majakkapohjaisen suunnistuksen alamoodi
FOV	Field of View
FPM	Flight Path Marker, nopeusvektori HUD:illa
GUN ARM	Tykki viritetty
HN	F/A-18 Hornet
HUD	Head-up display, heijastusnäyttölaite
HW	BAe Hawk harjoitushävittäjä
HW1	Hawk koneella annettava lentokoulutus
HW2	Taktinen jatkolentokoulutus Hawkilla
I	Indikoitu ilmanopeus, IAS, Indicated Airspeed
ILS	Instrument Landing System, mittarilaskeutumisjärjestelmä
IM	Inner Marker, laskeutumisjärjestelmän maassa oleva kiinteä majakka
INS/GPS	Inertial Navigation System / Global Positioning System, satelliittivusteinen paikannusjärjestelmä
LCOS	Lead Computing Optical Sight, tähtäin HUD:illa
MC	Mission Computer, lentotietokone
MFD	Multi-Function Display, monivärinen monitoiminäyttö
MM	Maste Mode, HUD:in toimintamoodi / Middle Marker, laskeutumisjärjestelmän maassa oleva kiinteä majakka

MMO	Master Mode Override, kovapanosammuntamoodi
MSL SIM	Simuloitu ohjus valittu
NAV	Navigointi moodi
OM	Outer Marker, laskeutumisjärjestelmän maassa oleva kiinteä majakka
PDU	Pilot Display Unit, käsittää HUD:in sekä UFCP:n
RMMD	Removable Mass Memory Device, ulkoinen kovalevy
SA	Situational Awareness, tilannetietoisuus
SEQ	Sequence, sekvenssi-suunnistus alamoodi
T	Tosisuunta, True, tai tosi-ilmanopeus, True Airspeed
TOT	Time on Target
UFCP	Up Front Control Panel
UG2	Upgrade 2, Hawk hävittäjiin suoritettu modernisointi, jossa uusittiin mm. avioniikka. Se toteutettiin 8 Mk51/51A koneeseen sekä 18 Mk66 koneeseen
W11	Reittipiste 11
W1-W4	UFCP:n 4 valintaikkunaa
WL	Waterline, koneen pituusakselin suuntaa näyttävä merkki
VOR	VHF Omni-directional Range, suunnistusmajakka
WS	Wingspan, siipien kärkiväli
X . XX	Esim 0.35, X . XX Machin luku, äänennopeusmoninkerta
XXXG	Esim 222G, XXX solmun maanopeus, (groundspeed)
Z	Zulu-aika, UTC