

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

IFF-OMATUNNISTUSJÄRJESTELMÄ OSANA ILMATORJUNNAN  
ILMATILANNEKUVAN LUOMISPROSESSIA

Pro Gradu

Kadetti  
Valtteri Kuusisto

Kadettikurssi 90  
Ilmatorjuntalinja

Maaliskuu 2007

## MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi Kadettikurssi 90	Linja Maavoimat	
Tekijä Kadetti Valtteri Kuusisto		
Tutkielman nimi IFF-OMATUNNISTUSJÄRJESTELMÄ OSANA ILMATORJUNNAN ILMATILANNEKUVAN LUOMISPROSESSIA		
Oppiaine, johon työ liittyy Tekniikka	Säilytyspaikka Kurssikirjasto	
Aika Maaliskuu 2007	Tekstisivuja 53	Liitesivuja x
<b>TIIVISTELMÄ</b> IFF-omatunnistusjärjestelmä kertoo onko taivaalla lentävä kohde oma vai vihollinen. Työssä käydään läpi IFF-omatunnistusjärjestelmän ominaisuuksia, käytettävyyttä ja järjestelmän osuutta nykyaikaisessa taistelukentässä. IFF-omatunnistusjärjestelmiä on jo osassa ilmatorjunnan järjestelmiä ja niitä on tulossa lisää ilmatorjunnan järjestelmiin. Työssä pohditaan IFF-omatunnistusjärjestelmän osuutta ilmatorjunnan ilmatilannekuvan muodostamisprosessissa ja selvitetään sen hyviä ja huonoja puolia. Käsittelyn alla on myös IFF-omatunnistusjärjestelmän käytettävyys sota-aikana. Järjestelmän roolia käsitellään myös tulevaisuuden johtamisympäristössä, joka on tulossa käyttöön lähitulevaisuudessa. Työn alussa käydään läpi radiosignaalin etenemistavat ja luodaan perusta IFF-omatunnistusjärjestelmien toimintaperiaatteelle. Myös elektronisen sodankäynnin vaikutuksia IFF-järjestelmän toimintavarmuuteen käsitellään.		
<b>AVAINSANAT</b> Digitaalinen taistelukenttä, omatunnistusjärjestelmä, elektroninen sodankäynti		

# Sisällysluettelo

<b>1. Johdanto</b>	<b>1</b>
1.1 Tutkimuksen taustaa	1
1.2 Tutkimuksen ajankohtaisuus	2
1.3 Tutkimuskysymykset	2
1.4 Tutkimusmenetelmät	3
1.5 Määritelmät	3
<b>2. Historia Identification Friend or Foe</b>	<b>4</b>
2.1 Elektronisen tunnistamisen alku	5
2.2 Ensimmäinen aktiivinen IFF-järjestelmä	6
<b>3. Tekniikka</b>	<b>7</b>
3.1 Radioaallot	7
3.2 Radiotekniikka	11
3.3 Sähkömagneettisen spektrin erityispiirteitä	14
3.4 Sähkömagneettinen säteily	15
3.5 Antennin ominaisuudet	20
3.6 IFF:n moodit	20
3.7 AN/TPX-56	21
3.8 ItO 90 omatunnuslaite	22
3.9 Johtopäätökset	24
<b>4. Käytettävyys ja toimintavarmuus</b>	<b>25</b>
4.1 ItO 2005	25
4.2 ItO 90	26
4.3 ItO 2005M	27
4.4 Häirittävyys	27
4.4.1 ELSON tukitoiminta	28
4.4.2 Puolustushaarakohtaisia vivahteita	29
4.5 Johtopäätökset	36
<b>5. Ilmatilannekuvan muodostuminen ilmatorjuntajoukoille</b>	<b>37</b>
5.1 Yleistä	37
5.1.1 Ilmatorjunnan viestiyhteydet	38
5.1.2 Ilmatorjunnan ilmavalvonta- ja tulenkäytön johtamisjärjestelmä	39
5.2 Tukikohta-alue	40
5.3 Prikaatin alue	40
5.4 Harjoitustilanne	41
<b>6. Hyötykäyttö ilmatorjunnan järjestelmien kanssa</b>	<b>43</b>
6.1 Tuliasemapäätte 06	43

6.2 Maalinosoitustutka	87
6.3 ITTH	46
6.4 Tulevaisuuden johtamisympäristö	47
6.5 Yhdysvaltalainen A2C2-ilmapuolustuksen johtamisympäristö	48
7. IFF:n tulevaisuus	49
8. Johtopäätökset	51
LÄHTEET	58

# IFF-OMATUNNISTUSJÄRJESTELMÄ OSANA ILMATORJUNNAN ILMATILANNEKUVAN LUOMISPROSESSIA

## 1. Johdanto

### 1.1 Tutkimuksen taustaa

Nykyajan taistelukentällä on tärkeää saada varoitus saapuvasta uhasta riittävän nopeasti ja varmasti. Ilmatorjunnan näkökulmasta asia on erityisen tärkeä, koska riittävän luotettavasti saatu ennakkovaroitus saapuvasta vihollisen kohteesta luo edellytykset ilmatorjunnan järjestelmien tehokkaalle käytölle. IFF-omatunnistusjärjestelmiä on tällä hetkellä käytössä ympäri maailmaa niin siviili- kuin sotilaskäytössä. Tässä Pro Gradu-työssä on tarkoitus selvittää miten hyvin järjestelmästä saatava tieto voidaan saada ilmatorjuntajärjestelmien käyttöön ja miten IFF-omatunnistusjärjestelmä sijoittuu toiminnallisesti tulevaisuuden digitaalisessa taistelukentässä. Ilmavoimien koneissa on jo vastaavanlaisia tunnistusjärjestelmiä, joiden avulla koneiden liikkeitä voidaan seurata taivaalla ja koneet pystytään tunnistamaan. Työssä selvitetään onko mahdollista saada omatunnistusjärjestelmän tieto suoraan ilmatorjunnan johonkin järjestelmään siten, että tieto on nopeasti ja varmasti ilmatorjunnan käytettävissä vai tuleeeko tieto jotakin muuta reittiä ilmatorjunnan käytettäväksi. Edellä kuvattu tilanne on mahdollista tukikohtaympäristössä, mutta selvittävää onkin voiko tietoa saada suoraan maastossa oleville ilmatorjuntajoukoille. Ilmatorjunnalla on IFF-järjestelmä ilmatorjuntaohjus 2005-järjestelmässä, ilmatorjuntaohjus 90-järjestelmässä ja tulevaisuudessa myös maalinosoitustutka 87:ssä ja ilmatorjuntaohjus 2005M:ssä. Näistä järjestelmistä saatavien omakonetietojen lisäksi on tarkoitus selvittää siis mahdollisuudet ilmavoimien IFF-tunnistetietojen välittämisestä ilmatorjuntajärjestelmille. Ongelmaksi muodostuu järjestelmän kannalta se, että sotatilassa IFF-omatunnistusjärjestelmää ei suurella todennäköisyydellä pidetä aktiivisena. Tästä syystä omakonetiedot jäävät huonommalle tarkkuudelle. Työn yhtenä tarkoituksena on vastata järjestelmän luotettavuuteen kriisitilanteessa. Toisena tärkeänä tehtävänä työn tulisi palvella maavoimien henkilöstöä, sillä kyseisestä järjestelmästä tiedetään joukoissa hyvin vähän. Työssä kuvataan

järjestelmän historiaa, sen tekniikka, ja käytettävyyttä ilmatorjunnan järjestelmien kanssa. IFF-omatunnistusjärjestelmä toimii sähkömagneettisen spektrin alueella, joten se on alttiina vihollisen sekä omalle tahattomalle häirinnälle. Työssä käydään läpi yleisiä elektronisen sodankäynnin vaikutusmahdollisuuksia omatunnistusjärjestelmää vastaan.

## 1.2 Tutkimuksen ajankohtaisuus

Ilmatorjuntajärjestelmiä kehitetään tällä hetkellä koko ajan ja korvaavia järjestelmiä vanheneville järjestelmille etsitään. Tulenkäytön johtamiseen on tulossa uusia välineitä ja niitä testataan koko ajan. ITTH, eli ilmapuolustuksen tulenkäytön johtamisen tilanne ja hallinta on nousemassa kovaa vauhtia pystyyn, joka samalla mahdollistaa ilmatorjunnan tulenkäytön johtamisen uudella ja modernimmalla tavalla. Ilmatorjunnan kannalta yksi tärkeimmistä tiedoista on omakonetiedot. Tällä tärkeällä tiedolla vältetään omien koneiden ampuminen jo muutenkin pienestä konemäärästä. Osasta Suomen Horneteista löytyy IFF-omatunnistusjärjestelmiä, joiden avulla koneen tiedot saadaan ilmasta maahan. Myös ilmatorjuntajärjestelmissä näitä IFF-järjestelmiä löytyy ja tässä työssä on tarkoitus keskittyä näihin ilmatorjunnan järjestelmiin. Kuinka hyvin IFF-tieto saadaan ilmatorjunnan järjestelmiin ja kuinka varmaa tieto on. Mikä on IFF:n luotettavuus kriisitilanteessa vai turvaudutaanko sotatilassa vanhoihin menetelmiin omakonetietojen saamiseksi? Nykyaikainen digitaalinen taistelukenttä kehittyy myös huimaa vauhtia ja tulevaisuuden näkymiin kuuluu myös se, että kaikki taistelukentällä olevat kohteet pystyttäisiin tunnistamaan vastaavanlaisilla IFF-omatunnistusjärjestelmillä. Aiheesta ei ole myöskään tehty aiempia tutkimuksia. Ajankohtaisesta järjestelmästä on siis selvästi kyse. Tutkimuksen ajankohtaisuutta lisää myös se, että joukoissa IFF-omatunnistusjärjestelmästä tiedetään hyvin vähän.

## 1.3 Tutkimuskysymykset

Tutkimuksen pääkysymys on: ” Mikä on IFF-omatunnistusjärjestelmän osuus ilmatorjunnan ilmatilannekuvan muodostumisessa?”

Apukysymyksiä ovat: ” Mikä on IFF-omatunnistusjärjestelmän luotettavuus kriisitilanteessa”, ” Kykenevätkö nykyiset viestijärjestelmät siirtämään IFF:n tiedot

yksiköstä toiseen?” ja ”Miten IFF-omatunnistusjärjestelmän tieto palvelee prikaatin alueella toimivia ilmatorjuntajoukkoja?”

Tutkimuksessa on tarkoitus selvittää IFF-omatunnistusjärjestelmän tuomat edut ja haitat ilmatorjunnan paikallisen ilmatilannekuvan muodostamisessa. Tämä vaatii myös nykyisiin ilmatorjunnan viestijärjestelmiin muutoksia, sillä useat laitteista eivät ”ymmärrä” salattuja koodeja, joita viestiyhteydet pitävät jatkossa sisällään.

#### **1.4 Tutkimusmenetelmät**

Tutkimusmenetelmänä työssä käytetään kirjallisuustutkimusta. Tutkimuskysymyksiin pyritään löytämään perusteluja myös luodun esimerkkitalanteen pohjalta ja jo käytössä olevan amerikkalaisen johtamisjärjestelmän perusteella. Matemaattista analyysiä työssä ei käytetä, sillä kirjallisuustutkimus luo riittävät perusteet tutkimuskysymyksiin vastaamiseen.

#### **1.5 Määritelmät**

##### Omatunnistusjärjestelmä

Tunnistaminen kahden kohteen välillä voidaan toteuttaa aktiivisesti siten, että kumpikin osapuoli kommunikoi keskenään. Kommunikointiin voidaan käyttää joko laseretäisyysmittaria tai erillistä radiotaajuista laitteistoa. Ilmassa oleva lentokone tunnistaa kyselypulssin, eli sitä mittaavan ase- tai tulenjohtojärjestelmän, omaksi, eikä sen näin ollen tarvitse aloittaa vastatoimenpiteitä. Kyselyyn lentokone vastaa salatulla yhteydellä oman tunnisteensa ja sijaintinsa, mikäli paikkatieto on tiedossa. Tiedon saapuessa maahan voidaan koneen ilmoittamaa paikkatietoa verrata tutkatietoon ja näin ollen todeta kone omaksi. Toisaalta, jos paikkatieto ei ole oikea, voi taivaalla olla oman koneen lisäksi vihollisen kone tai vastaavasti pelkästään vihollisen kone, mikäli vastausta ei saada lainkaan. Ongelmaksi muodostuvat tilanteet, joissa vastaussignaalia ei saada takaisin maahan. Syynä voi olla se, että kone on vihollisen tai se, että oman koneen laitteisto on vioittunut. Omastunnistusjärjestelmä ei osaa siis vastata mitään muuta, kuin sen, että onko kone oma vai tunnistamaton. Ongelmatilanteissa on tärkeää, että vallitsevasta ilmatilannekuvasta on riittävän hyvä tieto, jotta ampumiskäskeä voidaan antaa ampuville ilmatorjuntayksiköille. Ilmatilannekuvan ollessa hyvä voidaan

ampumakäsäky antaa eteenpäin, sillä pelkän omatunnistejärjestelmän tiedon puuttuminen ei estä antamasta ampumiskäsäkyä eteenpäin.

Järjestelmissä on aina ongelmia ja niin on omatunnistusjärjestelmissäkin. Järjestelmiltä vaaditaan korkeaa luotettavuutta ja niiden käytössä on pelkona omien joukkojen paljastuminen vihollisen tiedustelulle. Paljastumisen estämiseksi kyselylähetteenä voidaan käyttää lasersignaalia tai millimetriaaltoaluetta. Pienellä alueella toimittaessa on myös mahdollista, että usean eri IFF-järjestelmän vasteet sotkevat toisensa, minkä seurauksena niitä valaiseva järjestelmä ei kykene tunnistamaan niitä omiksi. Näitä tilanteita varten IFF-järjestelmissä on CSMA-tyyppinen järjestelmä, joka yhteentörmäyksen havaittuaan odottaa summittaisen ajan, jonka jälkeen se lähettää tunnisteiden uudelleen[1,2,3].

## **2. Historia Identification Friend or Foe (IFF)**

Yliäänikoneiden ja ohjautuvien ohjusten tunnistaminen on nykypäivänä mahdotonta visuaalisesti. Siksi on kehitetty järjestelmä, joka tunnistaa lentävän kohteen nopeimpien tietokoneiden nopeudella. Vastaavanlainen järjestelmä on käytössä sekä siviili että sotilaskäytössä. IFF-järjestelmän johtava valmistaja on Littonin tehdas.

Nykypäivän moderni IFF-järjestelmä on kaksikanavainen. Toinen käytössä oleva taajuus 1030 megahertsiä on tunnistamista varten ja vastaavasti toinen taajuus 1090 megahertsiä toimii vastausta varten. Maasta käsin lähetetään tunnistuskysely ja kyselyn saavuttaessa lentävän kohteen lähtee paluuviestinä kohteen tunnistustiedot. Kokonaisuudessa järjestelmä on jakautunut neljään eri osaan. Kaksi niistä on käytössä sekä siviili- että sotilasjärjestelmissä ja kaksi pelkästään sotilaskäyttöön tarkoitettuna.

FAA:n sääntöjen mukaan kaikissa yli 10 kilometrissä lentävissä koneissa, Yhdysvaltojen valvomassa ilmatilassa, on oltava IFF-järjestelmä, jotta koneet voidaan tunnistaa. Järjestelmästä on käytössä nimenomaan paikkatiedon ilmoittava järjestelmä, jonka takia kaksi osaa on käytössä nimenomaan siviili ja sotilaskäytössä.

Läpi aikojen on ollut tärkeää saada tunnistettua omat kohteet vihollisen kohteista. Tämä on tietenkin kaikista tärkeintä sotilasmaailmassa, jossa vuosisatojen ajan merkit, tunnukset, liput ja uniformut ovat toimineet tunnistusvälineinä, kun on haluttu



erottaa omat ja viholliset toisistaan. Nykyään tämä ei ole enää mahdollista, koska visuaalinen tunnistaminen ei ole enää riittävän nopeaa, jotta kohteet saadaan suojattua vihollisen asevaikutukselta. Kohteiden tullessa näkyviin ei ole enää mahdollista suojautua vaan vihollisen asejärjestelmä saa aikaan halutun vaikutuksen kohteessaan. Lisäksi ilman toimivaa tunnistamismenetelmää on mahdotonta nykypäivän taisteluissa erottaa vihollisen koneita omista koneista. Osa kohteista on muutenkin mahdotonta tunnistaa visuaalisesti, koska ihmisen silmä ei yksinkertaisesti voi erottaa taivaalta saapuvaa ohjusta ennen kuin se osuu kohteeseensa. Siksi on ollut tärkeää kehittää järjestelmä, jonka avulla voidaan tunnistaa lentävät kohteet jo hyvissä ajoin ennen niiden saapumista joukkojen tai suojattavien kohteiden toiminta-alueita.

Entisaikoina oli ihmissilmällä tapahtunut tunnistaminen vielä tärkeässä roolissa ja moni 1930 luvun nuori varmasti muistaa opetelleensa vihollisen ja omien lentokonetyyppejä, jotta tarvittava tunnistustieto saatiin joukoille. Jo näinä aikoina huomattiin se puute, että öisin koneita oli mahdotonta tunnistaa pelkällä ihmissilmällä ja jokin toinen tunnistusmenetelmä oli pakko keksiä.

Ensimmäiset tyypit tutkista toimivat aluksi vain hälyttämistä varten. Tämä tuntui aluksi riittävän ratkaisuksi ongelmaan, että koneet eivät päässeet yllättämään sotilaskohteita, mutta nopeasti huomattiin, että myös muita tunnistetietoja oli helposti lisättävissä tutkiin. Etäisyystieto saatiin lähettämällä voimakas pulssi taivaalle, joka heijastui takaisin ja pulssin lentoajasta kyettiin laskemaan koneen etäisyys. Tässä vaiheessa ei tosin saatu tietää koneen tyyppiä tai sitä, että kenen koneesta oli kyse. Tämä puute aiheutti Pearl Harborissa sen, että USA:n tutka ei tunnistanut lähestyviä koneita vihollisen koneiksi vaan ne sotkettiin omiin koneisiin jotka olivat tulossa samasta suunnasta mantereelta[3,6,7,8,15].

## **2.1 Elektronisen tunnistamisen alku**

Toisen maailmansodan aikana englantilaiset oppivat tunnistamaan saksalaisten koneiden lähettämät signaalit. Britit saivat kaapattua saksalaisten epäsäännöllisin väliajoin lähettämät signaalit maasta käsin, joka paljasti saksalaisten tulevat hyökkäykset. Saksalaiset käyttivät tiettyä polarisaatiota lähettääkseen omille tutkilleen paikkatietonsa ja juuri nämä signaalit englantilaiset oppivat tunnistamaan sillä seurauksella, että saksalaisten ilmahyökkäykset eivät enää tulleet yllätyksinä.

Saksalaiset vastaavasti kuvittelivat signaaliensa pysyvän salassa, koska he näkivät omissa tutkissaan vain tietynlaisen voimakkaan piikin, jonka avulla omat koneet tunnistettiin. Saksalaisten epäonnekseen he eivät tiedäneet sitä, että englantilaiset oppivat tunnistamaan nämä signaalipiikit. Tämä oli yksinkertaisuudessaan ensimmäisiä elektronisia tunnistusmenetelmiä, jossa lähetettiin tunnistuspyyntö ja johon koneet vastasivat tietyllä koodilla.

Alunperäinen syy IFF-omatunnistusrjestelmän kehittämiseksi oli vihollisen koneiden tunnistaminen taistelukentällä. Tästä syystä on tärkeää, ettei vastustaja voi käyttää järjestelmää siten, että se esiintyy omana koneena viholliselleen, vaikka järjestelmä joutuisikin vihollisen käsiin. Littonin valmistama sotilasversio sisältääkin uusimmat ja kehittyneimmät salaamisjärjestelmät, joilla estetään omasuojan luvaton käyttö.

Salattu moodi on sotilaskäytössä. Tässä moodissa on todella pitkä sana, joka kertoo vastaanottimelle, että se on vastaanottamassa salatun viestin. Salattu viesti saadaan lähetetyksi erillisellä laitteella, jolla on käytössään lukuisia matemaattisia algoritmeja, joka laittaa viestin salattuun muotoon. Vastaanottavassa päässä on vastaavasti laite, joka toimii päinvastoin kuin lähettävässä päässä oleva laite. Se käyttää päinvastaisia algoritmeja, jotta se saa koodin purettua. Jokaisessa lähetetyssä viestissä on lisäksi tieto vastaustavasta, jolla tunnistustiedot lähetetään takaisin. Mikäli vastaanottava pää ei pysty avaamaan koodia, se ei voi vastata oikealla tavalla ja tällöin tämä kohde tulkitaan maassa vihollisen kohteeksi, koska se ei ole vastannut oikealla tavalla.

Mikäli laite joutuu vihollisen käsiin voidaan sen luvaton käyttö edelleen estää. Estäminen tapahtuu avainkoodeilla, jotka pitää lisätä joka laitteeseen erikseen. Arvaamalla ei järjestelmää voi saada toimintakuntoon, koska aina yksi tunnistustieto sisältää satunnaisen sarjan koodeja tietyin vastauksin, joiden pitää olla oikeita, jotta kohde tunnistetaan omaksi[2,5].

## **2.2 Ensimmäinen aktiivinen IFF-järjestelmä**

Englantilaiset ja amerikkalaiset aloittivat kumpikin kehittää toimivaa tunnistusjärjestelmää. Saksalaisten järjestelmä levisi nopeasti muiden tietouteen ja samalla muiden käyttöön. Tämä järjestelmä ei ollut aktiivinen vaan passiivinen, koska maasta lähetetty signaali oli vain kohteesta palannut kaiku.

Ensimmäinen aktiivinen järjestelmä tuli käyttöön liittoutuneiden toimesta. Radiosignaali lähetettiin koneisiin, joista lähetettiin vastaussignaali takaisin maahan. Tämä periaate toimii nykyään kaikissa moderneissakin IFF-järjestelmissä.

Aluksi käyttöön tulleet järjestelmät olivat rajoittuneita, koska koneissa olleet järjestelmät vaativat sen, että vastaanottaessaan signaaleita piti vastaanottimen olla tiettyssä moodissa, jonka jälkeen vastaussignaalia lähetettäessä moodi piti taas vaihtaa, että se pystyttiin vastaanottamaan maassa. Kehitystyön jälkeen koneisiin saatiin erikseen lähetettävät laitteet, jonka ansiosta mitään manuaalista vaihtamista ei enää tarvittu. Lisäksi vastaussignaalien voimakkuus kehittyi huomattavasti ja niiden tunnistusetaisyys kasvoi myös merkittävästi.

Vanhemmat järjestelmät eivät aina ole toimineet kuten niiden on oletettu toimivan. Esimerkiksi E-3 AWACS IFF-järjestelmä saattoi sotkea koodit, joka teki tunnistamisen hitaaksi ja vaikeaksi. Vuoteen 1997 mennessä järjestelmä oli kehittynyt siten, että se oli varmempi tunnistamisessaan ja parempi tekemään päätöksiä koneiden sijainneista, jotka olivat seurannassa. Tämä taas helpottaa ylempien johtoportaiden työskentelyä, koska heille tuleva tieto on varmuudella oikeaa ja se saadaan riittävän nopeasti[7].

### **3. Tekniikka**

#### **3.1 Radioaallot**

Liikuttaessa spektrin alapäässä, kun taajuus on pieni ja aallonpituus hyvin suuri, puhutaan radioaalloista. Radioaallot ovat jaettu seuraaviin taajuusalueisiin:

ELF- (30HZ-3kHz) ja VLF-alueet (3-30kHz)

ELF- ja VLF-alueita käytetään lähinnä radionavigointiin sekä meriviestiliikenteeseen signaalien luotettavan etenemisen ja pienen yhteysvälivaimennuksen vuoksi. Suuren aallonpituuden (10000-1000km) vuoksi vaadittavat antennirakenteet ovat hyvin suuria. Aaltojen polarisaatio on yleensä vertikaalinen ja ne etenevät maanpinnan ja ionosfäärin D- ja E-alueiden välisessä noin 50-90 kilometriä korkeassa aaltojohdossa. Etenemisvaimennus tällä alueella on hyvin pieni. Nämä matalataajuiset aallot etenevät jonkin verran myös meriveteen, minkä vuoksi suurvallat käyttävät VLF-aluetta maa-asemien ja sukellusveneiden väliseen

kommunikointiin. Meriveden hyvän johtavuuden vuoksi VLF-alueella korkeammat taajuudet vaimenevat hyvin voimakkaasti eivätkä aallot kykene tunkeutumaan pinnan alle. LF alueella merivesi käyttäytyy kuin johde, mutta VLF-alueella kuin häviöllinen dielektrinen väliaine.

#### LF (30-300kHz)

LF-alueella käytetään radionavigointiin sekä meriviestiliikenteeseen. LF-aallot etenevät maanpinta-aaltona, heijastumalla ionosfääristä tai suoraan näköyhteyksireittiä pitkin mahdollistaen pitkiä yhteyksiä.

#### MF (300 kHz-3 MHz)

MF-alueella käytetään radionavigoinnissa, liikkuvissa ja kiinteissä viestiliikennejärjestelmissä sekä horisontin taakse katsovissa tutkajärjestelmissä. Lisäksi aluetta käytetään yleisradiolähetys- ja radioamatööritarpeisiin. MF-aallot etenevät päiväsaikaan maanpinta-aaltona. Yöllä ionosfäärin D-kerros ei vaimenna ionosfäärissä kulkevia aaltoja, minkä vuoksi MF-aallot heijastuvat E-kerroksesta aiheuttaen häiriöitä kaukana olevissa järjestelmissä. Yöllä toteutettavissa olevat yhteysvälit ovat pidempiä, mutta yhteydet ovat samalla häiriöllisempiä.

#### HF (3-30 MHz)

Maanpinta-aalto vaimenee nopeasti HF-taajuuksilla, minkä vuoksi ionosfääristä tapahtuva heijastuminen on primäärinen etenemismuoto. Pinta-aallon maksimikantaman ja ionosfääriheijastuksen minimietäisyyden väliin noin 30-60 kilometrin etäisyydelle lähettimestä saattaa jäädä kuollut alue, johon ei saada radioyhteyttä. HF-alueella käytetään muun muassa pitkän kantaman maa-, meri- ja lentoliikenteen viestiliikennetarpeisiin, radioamatöörikäyttöön, radioastronomiaan sekä yleisradiolähetyskäyttöön. Pitkän kantaman vuoksi HF-alueella on runsaasti sotilas- ja diplomaattiviestiliikennettä. HF-alue on hyvin ruuhkainen, osin sen vuoksi, että kaukanakin toisistaan sijaitsevat lähetykset häiritsevät toisiaan. HF-alueella hyödynnetään myös horisontin taakse katsovissa yksi- ja monipaikka- ja takaisinsirontatutkissa, joiden kantama on 900-3200 kilometriä.

F2-kerroksessa tapahtuva heijastus on ensisijainen mekanismi yöaikaan. Päiväsaikaan heijastus tapahtuu lisäksi F1- ja E-kerroksista. Paras yhteydellä käytettävä taajuus riippuu monista tekijöistä, kuten vuorokauden ja vuoden ajasta, yhteysvälin pituudesta, haluttavasta heijastuskorkeudesta sekä auringon aktiivisuudesta. Tyypillisesti korkeammat taajuudet ovat parhaita päivällä ja matalimmat yöaikaan.

### VHF (30-300 MHz)

Merkittävin etenemismekanismi VHF-alueella on näköyhteysreitti, mutta VHF-aallot voivat myös heijastua ionosfäärin E-kerroksesta tai siroutua meteorien jättämistä ionisaatiovanoista aiheuttaen järjestelmien keskinäisiä häiriöitä. Kasvillisuus ja maanpinnan peitteisyys lisäävät vaimennusta merkittävästi VHF-alueen yläpäässä, minkä vuoksi maanpäälliseen pitkän matkan viestiliikenteeseen ja yleisradiolähetyksiin käytetään pääasiassa VHF-alueen alapäätä. VHF-aluetta käytetään pääsääntöisesti kiinteän ja liikkuvan tietoliikenteen tarpeisiin. Lisäksi kaistaa hyödynnetään radioastronomiassa, radionavigoinnissa sekä tutkakäytössä. Venäläisillä ja ranskalaisilla on VHF-alueella toimivia pitkän kantaman ennakkovaroitustutkia, joiden kantama voi olla 1000 kilometrin luokkaa. Ilmaliikenteessä käytetään ylempää VHF-kaistaa viestiliikenteeseen, radionavigointiin ja laskeutumisjärjestelmiin.

### UHF (300 MHz-3 GHz)

UHF-alueella radioaalto etenee lähes pelkästään näköyhteysreittiä pitkin ja yhteydet rajautuvat lähettimen ja vastaanottimen antennien korkeuksista riippuvaan radiohorisonttiin. Esteet näköyhteysreitillä vaimentavat signaalia voimakkaasti. UHF-alue on lähes täynnä, eli lähestulkoon kaikki taajuudet on allokoitu ja käytössä eri sovelluksissa. Aluetta käytetään kiinteiden ja siirrettävien radiolinkkien tarpeisiin. VHF- ja UHF-alueella toimivat tutkat ovat yleensä ennakkovaroitustutkia. 1-3 GHz välinen alue on käytössä valvontatutkissa, koska sillä on saavutettavissa tähän tarkoitukseen optimaalinen kompromissi lähetystehon, antennin koon sekä saavutettavan erottelukyvyn kesken. Vaikka VHF-alueella voidaankin saavuttaa pidempiä yhteysvälejä ja havaitsemisetaisyyksiä kuin korkeammilla taajuuksilla, joudutaan järjestelmät rakentamaan suurikokoisiksi pitkän aallonpituuden vuoksi. Tämän vuoksi suuri osa nykyisistä liikkuvista tutkista on siirtynyt SHF-alueelle.

Häiveteknologian käyttö lentokoneissa ja laivoissa on tosin johtanut kiinnostuksen heräämiseen uudelleen VHF- ja UHF-alueen tutkiin.

## Mikroaallot

SHF- ja EHF-alueiden yhteydessä puhutaan yleensä mikroaalloista. EHF-alue ulottuu 300 GHz:iin, jossa aallonpituus on 1 millimetri. Tästä eteenpäin nimeämisen tukena käytetään lähes poikkeuksetta aallonpituutta, sillä yli terahertsin luokkaa olevat taajuudet olisivat turhan hankalia mieltää. Samoin energian siirtomekanismin yleisin nimitys vaihtuu aalloista säteilyyn, vaikka kyse on samasta ilmiöstä.

### SHF (3-30 GHz)

SHF-aluetta käytetään kiinteiden televerkkojen radiolinkeissä, radionavigointijärjestelmissä sekä satelliittilinkeissä. Tulevaisuudessa aluetta tullaan käyttämään myös lyhyen kantaman langattomissa tietokonesovelluksissa, kuten HIPERLAN:ssa. Radioaallon eteneminen perustuu puhtaasti näköyhteysreittiin, missä ilmakehän ja sääilmiöiden aiheuttama vaimennus on otettava huomioon. SHF-alueella aallonpituus on niin pieni, että maanpintaa ei voida katsoa tasaiseksi heijastavaksi pinnaksi. Tällöin radioaalto ei heijastu, vaan siroaa osuessaan pinnan epätasaisuuksiin ja heijastuskertoimen arvo on alle yhden. Tämän vuoksi maanpinnan heijastuksista johtuvat interferenssiongelmat ovat vähäisempiä kuin UHF- ja VHF-alueilla. On tosin huomattava, että toimittaessa veden yllä heijastukset ovat merkittävä interferenssiongelmien lähde. Useimmat hyvää erottelukykä tarvitsevat pienet tutkat, kuten lentokoneiden valvonta- ja monitoimitutkat, ilmatorjunnan seurantatutkat, maastonvalvontatutkat, vastatykistötutkat sekä säätutkat toimivat SHF-alueella.

### EHF (30-300 GHz)

EHF-alueella aallonpituus on millimetrituokkaa, minkä vuoksi alueesta käytetään myös nimitystä millimetriaaltoalue. Hyvin lyhyen aallonpituuden vuoksi tutkajärjestelmien komponentit, erityisesti antennit, ovat pienikokoisia, minkä vuoksi millimetriaaltotutkia käytetään hyväksi ohjuksissa ja maaliin hakeutuvissa ammuksissa. EHF-taajuuksilla ilmakehän vaimennus on suuri, mikä pakottaa järjestelmät toimimaan ilmakehän vaimennusikkunoissa, esimerkiksi 94 GHz:n

alueella. Nykyisillä lähetinkomponenteilla saavutettavissa oleva teho laskee taajuuden noustessa, EHF-alueella tehon lasku on verrannollinen taajuuden neliöön. Pienehkö käytettävissä oleva teho ja suuri etenemisvaimennus rajaa millimetriaaltotutkien kantaman lyhyeksi. Millimetriaaltoalueelta alkaen ilmakehän vaimennus kasvaa suureksi, minkä vuoksi millimetri- ja infrapuna-alueiden välissä ei juurikaan ole teknisiä sovelluksia. Ilmakehässä on millimetriaaltoalueella neljä kapeaa ikkunaa 8600, 3200, 2100 ja 1400 mikrometrin aallonpituuksilla, jotka mahdollistavat lyhyen kantaman tiedonsiirto- tai sensorijärjestelmien käyttämisen näillä taajuuksilla[1].

### 3.2 Radiotekniikka

Radiotaajuisten säteilyn etenemistavat

Pienitaajuisten säteilyn, kuten radio- ja mikroaallojen eteneminen on monimutkainen prosessi, joka riippuu radioaallon taajuudesta, polarisaatiosta, maan pinnan, troposfäärin ja ionosfäärin ominaisuuksista sekä aallon kulmasta niihin nähden yms. lähettimestä ja aallon kohtaamasta väliaineesta riippuvasta seikasta. Seuraavassa esitetään radioaallojen etenemismekanismeja taajuuden mukaan nousevassa järjestyksessä.

Maanpinta-aallot

Aalto etenee maanpinnan läheisyyteen sitoutuneena maanpinta-aaltona, mikäli antennikorkeudet ovat pieniä aallonpituuteen nähden. Käytännössä tämä tarkoittaa alle 10 MHz yhteyksiä. Difraktio taivuttaa radioaaltoa sitä enemmän, mitä pidempi aallonpituus on. Siten aallon vaimennus kasvaa voimakkaasti taajuuden noustessa, minkä vuoksi maanpinta-aalloilla on merkittävä rooli vain noin 1500 kHz asti eivätkä aallot juurikaan etene yli 20 MHz taajuuksilla. Maanpinta-aalto on pitkällä yhteyksillä dominoiva noin 150 kHz asti, minkä jälkeen ionosfääristä heijastunut aaltokomponentti on voimakkaampi. Maanpinta-aalto on aina vertikaalisesti polarisoitunut, sillä horisontaalisesti polarisoitunut aalto ei kykene etenemään johtavan maan yllä. Aalto saattaa tunkeutua metrien syvyyteen maanpinnan sisään. Tunkeutumissyvyys riippuu maan johtavuudesta ja radioaallon aallonpituudesta. Maanpinta-aallolla voidaan saavuttaa tuhansien kilometrien yhteyksiä, varsinkin

sähköä suhteellisen hyvin johtavan merenpinnan päällä. Yhteyksiä vaivaa kuitenkin suuri luontaisen ja ihmisen aikaansaaman kohinan taso.

### Heijastuminen ionosfääristä

Ionosfääristä tapahtuvan heijastumisen avulla voidaan saavuttaa koko maapallon kattavia yhteyksiä. Ionosfääriin tuleva aalto taipuu Snellin lain mukaisesti ja kulkee kaareutuvaa rataa. Aalto saattaa kulkea ionosfäärissä maanpinnan suuntaisesti pitkiäkin matkoja ennen kuin lopulta heijastuu takaisin maanpinnalle. Aallon tulokulma ja ionosfäärin tilasta riippuva rajataajuus määrittävät suurimman käytettävissä olevan heijastuvan taajuuden. Tätä ylemmät taajuudet eivät heijastu, vaan etenevät ionosfääriin läpi tai absorboituvat siihen. Kun aallon taajuus laskee, aalto heijastuu matalammalta, jolloin heijastusvaimennus kasvaa. Pienin heijastuskorkeus ja sen vaimennus asettaa käytettävissä olevan taajuuden alarajan.

### Ionosfäärisironta

Edellä kuvattu heijastusmekanismi edellyttää, että ionosfäärin taitekerroin muuttuu tasaisesti, jolloin radioaalto kaartuu takaisin maanpintaa kohti. Ionosfäärissä olevat epähomogeenisuudet, esimerkiksi nopeat muutokset plasman elektronitiheydessä, aiheuttavat sirontaa, jossa osa tulevasta radioaallosta siroaa laajaan avaruuskulmaan. Ionosfäärisirontayhteyksien ongelmaksi muodostuu taajuusselektiivinen häipyminen.

### Heijastuminen troposfääristä

Heijastuminen troposfääristä johtuu ilman taitekertoimen muuttumisesta korkeuden funktiona muuttuvan lämpötilan ja paineen vuoksi. Mekanismi on epäluotettava eikä sitä käytetä yhteyksien muodostamiseen. Sen sijaan se saattaa aiheuttaa yllättäviä häiriöitä muiden mekanismien avulla muodostetuille yhteyksille.

### Troposfäärisironta

Radioaalto siroaa osuessaan ilmakehän epähomogeenisuuksiin. Epähomogeenisuuksia ovat nopeat muutokset ilman taitekertoimessa sekä erilaiset ilmakehässä olevat partikkelit. Mekanismi on merkittävä noin 300 MHz – 5GHz



välisellä alueella. Matalammilla taajuuksilla ongelmaksi muodostuu riittävän kookkaiden antennien rakentaminen ja ylemmillä taajuuksilla puolestaan kasvava vaimennus. Suuren yhteysvälivaimennuksen vuoksi tarvitaan suuria antennivahvistuksia, joten antennien on oltava aallonpituuteensa nähden suurikokoisia. Käytännössä useimmat järjestelmät toimivat 1,7 – 4,5 GHz alueella ja antennivahvistus on 35dB luokkaa, eli antennin keilanleveys on noin 3 astetta. Sirona tapahtuu yleensä maksimissaan noin 10km korkeudelta, mikä rajaa suurimman troposfäärisironnalla muodostettavissa olevan yhteysvälin noin 650 kilometriin. Vastaanotetussa signaalissa on hyvin syviä häipymiä, mitä kompensoidaan antennidiversiteetillä, eli vastaanottamalla signaalia 2-4 paikasta.

### Näköyhteysreitti

Eteneminen näköyhteysreittiä vastaa likimäärin vapaan tilan etenemistä, mutta radioaalto ei etene täysin suoraan, vaan taipuu jonkin verran maanpinnan suuntaisesti. Ilmiö johtuu maan ilmakehän taitekertoimen muuttumisesta ilmanpaineen, lämpötilan ja kosteuden muutoksen myötä korkeuden funktiona. Kaartumisen vuoksi radiohorisontti on geometristä horisonttia kauempana. Tämä otetaan yleensä laskuissa huomioon kertomalla maapallon säde luvulla  $K=4/3$ , jolloin radioaallon voidaan ajatella etenevän suoraviivaisesti  $K \cdot R_E$ -säteisen maapallon yllä.

Eteneminen näköyhteysreittiä pitkin on tärkein etenemismekanismi UHF-alueelta alkaen. Tällöin vain niin sanotun ensimmäisen Fresnellin vyöhykkeen sisäpuolella olevat esteet aiheuttavat vaimennusta. Ensimmäinen Fresnellin vyöhyke kuvaa ellipsiä, jolla lähettimestä edenneet aallot ovat edenneet puolen aallonpituuden verran enemmän kuin suoraan vastaanottimelle saapuvat säteet vahvistavat suoraan lähettimeltä tulevaa aaltoa. Ellipsin ulkopuolelta tulevat heijastukset saattavat vahvistaa tai vaimentaa suoraa aaltoa riippuen säteiden kulkemasta matkasta; toisella vyöhykkeellä 1.5 aallonpituutta ja niin edelleen. Parittomat vyöhykkeet lisäävät tehoa ja parilliset vähentävät. Tärkein Fresnellin vyöhykkeistä on ensimmäinen, koska suurin osa kokonaisenergiasta on tämän vyöhykkeen sisäpuolella. On siis tärkeää, että antennien välissä ei olisi näköesteitä, sillä tämä tarkoittaa heti sitä, että kokonaisenergian määrä laskee huomattavasti.

### Kanavoituminen

Ilmakehän taiteluku riippuu ilmanpaineesta, vesihöyryn osapaineesta ja ilman lämpötilasta. Nämä riippuvat sääilmiöistä ja korkeudesta. Normaalisti edellä mainitut parametrit muuttuvat korkeuden kasvaessa siten, että aalto kaartuu kohti maanpintaa. Joskus kuitenkin sääilmiöiden vuoksi syntyy tilanne, jossa lämpötila kasvaa sääilmiöiden vuoksi nopeasti korkeuden myötä. Tällöin taitekerroin ei pienene korkeuden kasvaessa ja alaspäin kaartuva säde kaartuuikin inversiokerroksessa takaisin ylöspäin. Näin syntyy inversiokerros, joka kanavoi radioaallon. Aalto vaimenee vähemmän kuin vapaassa tilassa edetessä, koska kanavoituminen estää tehon säteilyn suureen avaruuskulmaan. Kanavan koko on tyypillisesti muutamista metreistä muutamaan sataan metriin, mikä rajaa siinä kulkevan aallonpituudet. Ilmiö on siksi merkittävä yli 1 GHz taajuuksilla. Kanavoituminen riippuu ilmakehän ominaisuuksista ja on ilmiönä epäluotettava. Se saattaa kasvattaa yhteysväliä huomattavasti ja aiheuttaa samalla yllättäviä häiriöitä. [1]

### **3.3 Sähkömagneettisen spektrin erityispiirteitä**

Eri sähkömagneettisen spektrin alueiden käyttöön vaikuttaa muun muassa kyseisen alueen etenemismekanismi ja haluttu kantama, käytössä oleva teho, haluttu tiedonsiirron kaistanleveys, sään vaikutus ja se, minne laitteet voidaan sijoittaa (maan tai meren pinnalle, korkeaan maastoon tai esim. lentokoneeseen). Yhteydet sukellusveneisiin ovat hankalia, koska radioaallot tunkeutuvat heikosti meriveteen. Mitä suurempi taajuus, sitä heikommin se tunkeutuu. Tällöin joudutaan käyttämään erittäin pieniä taajuuksia, jolloin antennirakenteet kasvavat suuriksi. ELF-alueen (30-300 Hz) radioaallot vaimenevat 2,72 osaan 14 metrissä.

Toisaalta ilmakehän vaimennus alkaa vaikuttaa EHF-alueella ja siitä ylöspäin aina infrapuna-alueelle asti. Sumu ja sade vaimentavat radioaaltojen etenemistä merkittävästi noin 100-1000 GHz:stä aina näkyvän valon alueelle asti. Vaimennuksen ollessa 1-10 dB/kilometri ”normaali” yhteys tulee mahdottomaksi. Näin syntyy tiettyjä estoalueita, joilla yhteydet eivät ole mahdollisia ja niin sanottuja ikkunoita, joilla radioaaltoja voidaan käyttää. Ikkunoita ovat muun muassa 0-55 GHz, 94 GHz ja seuraavat infrapuna-alueella ja näkyvän valon alueella.

Aallonpituus on tärkeä radioaaltoja luonnehtiva seikka. Esimerkiksi lankamaiset tai piiskamaiset antennit ovat suurin piirtein aallonpituusluokkaa 1/8 osa aallonpituutta tai suurempi ollakseen tehokkaita. Tällöin esimerkiksi 1 MHz:n taajuudella antennin

on oltava noin 12,5 metrin pituinen tai suurempi. Vastaavasti 900 MHz:n alueella antennin on oltava noin 4 senttimetriä tai pidempi. Maastoesteiden vaikutus on myös suoraan verrannollinen aallonpituuteen. Sama mäki tai talo on sitä suurempi este, mitä suurempaa taajuutta käytetään.

Sähkömagneettinen spektri on rajallinen luonnonvara. Taajuushallinnassa tullaankin ongelman eteen, kun useat eri laitteet käyttävät samoja taajuusalueita. Säännöstelemällä taajuuksia saadaan sähkömagneettista spektriä hyödynnettyä tehokkaammin[19].

### **3.4 Sähkömagneettinen säteily**

Sähkömagneettisesta säteilystä käytetään eri nimiä eri käyttötarkoituksissa ja eri aallonpituusalueilla. Käyttötarkoituksen perusteella puhutaan esimerkiksi radio- ja tutka-aalloista ja –säteilystä, aallonpituusalueen mukaan esimerkiksi mikro- ja millimetriaalloista, lämpösäteilystä ja niin edelleen. Kaikissa näissä energian muoto ja etenemismekanismi on kuitenkin sama, sähkömagneettinen säteily.

Sodankäynnissä voidaan hyödyntää sähkömagneettista spektriä sen alusta DC-alueelta röntgen- ja gammasäteilyyn. Näiden väliin jäävät niin radio- ja tutka-aallot kuin infrapunasäteily ja näkyvä valo. Spektrin eri osille on annettu eri aikoina ja eri käyttötarkoituksiin erilaisia nimityksiä, joita käytetään yhä päällekkäin. Lisäksi eri tahot ovat jakaneet spektrin osiin toisistaan poikkeavasti. Luonnon fysikaalisten ilmiöiden kannalta spektrin eri osien nimityksillä ei tosin ole merkitystä.

Sähkömagneettista säteilyä esiintyy luonnossa kaikkialla ja koko spektrissä. Osa tästä säteilystä on kappaleiden itsensä tarkoituksellisesti säteilemää tai tahatonta ja osa on kappaleiden heijastamaa säteilyä, joka on lähtöisin muualta. Kaikki luonnossa olevat kappaleet lähettävät ympäristöönsä sähkömagneettista säteilyä, jota kutsutaan mustan kappaleen säteilyksi. Maanpäällisissä olosuhteissa se on suurimmillaan näkyvää valoa vastaavilla ja sitä pidemmällä aallonpituuksilla. Avaruudesta saapuu maapallolle sähkömagneettista säteilyä koko spektrin alueella. Yleisesti tunnetuin on luonnollisesti auringosta tai tähdistä saapuva näkyvä valo. Lisäksi erilaiset ihmisen rakentamat sähköiset järjestelmät lähettävät ympäristöönsä sähkömagneettista säteilyä. Nämä säteilylähteet valaisevat taistelulentäjä lähes

koko spektrin alueella. Säteily heijastuu ihmisistä ja ihmisten rakentamista laitteista, mutta myös esimerkiksi liikkeen tai linnoittamisen synnyttämistä jäljistä.

Osa teknisten järjestelmien synnyttämästä säteilystä on tahatonta, kuten polttomoottoreiden sytytysjärjestelmien, tai tietokoneiden monitoreiden hajasäteily. Taistelukentällä suurin osa säteilystä on kuitenkin erilaisten tietoliikenne-, kaukokartoitus-, sensori-, yleisradio-, tms. järjestelmien lähetyksiä, joita vihollinen kykenee hyödyntämään omaan toimintaansa. Neljännen dimension taistelussa on paljon kyse siitä, kyetäänkö sähkömagneettista spektriä käyttämään omien tarpeiden tyydyttämiseen ja estämään vastustajaa saamasta tietoa näistä järjestelmistä ja niitä käyttävistä joukoista. Samalla on tietysti joko estettävä vastustajalta spektrin hyödyntäminen ja kerättävä tietoja vastustajan joukoista, järjestelmistä ja aikomuksista koko spektrin laajuisella tiedustelulla.

Sähkömagneettisen spektrin hyödyntämisessä on otettava huomioon maapallon kaasukehän ja magneettikentän sekä maapallon ulkopuolisten taivaankappaleiden vaikutus sähkömagneettisten aaltojen etenemiseen ja taustakohinan tasoon. Sodankäynnissä on hallittava sekä omat että vastustajan tarkoitukselliset ja tahattomat lähetteet ja heijastukset. Taistelun voittamiseksi on koko spektri hallittava: naamioimisen hyöty menee osin hukkaan, jos jäljet paljastavat naamioidun kohteen tai jos se kyetään havaitsemaan toisella aallonpituudella[1].

#### Sähkö- ja magneettikentät

Sähkömagneettinen säteily perustuu brittiläisen James Clerk Maxwellin määritelmään –osin jo aiemmin tunnettuihin – neljään perustotuuteen:

1. Sähköisten varausten jakauma määrää sähkökentän
2. Magneettivuoviivat ovat suljettuja, eli sähkömagneettisia varauksia ei ole olemassa.
3. Muuttuva magneettivuo synnyttää sähkökentän. Toisin sanoen tietyn pinnan läpi kulkevan magneettivuon muutos aiheuttaa sähkömotorisen voiman.
4. Sekä liikkuva varaus että muuttuva sähkövuo synnyttävät magneettikentän.

Nämä ovat kokeellisen tutkimukseen perustuvia lakeja, joita ei ole voitu johtaa muista luonnontieteellisistä perusolettamuksista. Sähkömagneettinen säteily on ajasta riippuvaa sähkö- ja magneettikentän aaltoliikettä, jota kuvaavat keskeiset suureet ovat amplitudi, taajuus, aallonpituus, vaihe, etenemisnopeus ja koherenttisuus.

Säteily perustuu Maxwellin yhtälöiden mukaiseen ilmiöön, jonka mukaan muuttuva sähkökenttä synnyttää ajasta riippuvan magneettikentän ja tämä muuttuva magneettikenttä puolestaan ajasta riippuvan sähkökentän[1].

#### Vuorovaikutus materian kanssa

Sähkömagneettinen säteily on luonteeltaan immateriaalista, mutta sen ja materian välisen vuorovaikutuksen ymmärtäminen on keskeistä spektrin käytettävyyden ja käytön rajojen ymmärtämisen kannalta. Sähkömagneettisen aallon kohdatessa materiaa, aallon sähkö- ja magneettikentät ovat vuorovaikutuksessa materian atomien kanssa. Tällöin elektronit värähtelevät sähkömagneettisen kentän tahdissa, mikä kuluttaa aallon energiaa. Aallosta absorboituu energiaa eniten silloin kun aallon taajuus vastaa atomin tai molekyylin luontaista taajuutta. Atomien emissio- ja absorbtiospektri vastaavat toisiaan; atomi siis absorboi niillä taajuuksilla, joissa se virittää atomin ytimen tai elektroneja niiden perustilasta, koska suurin osa luonnossa esiintyvistä atomeista on perustilassa. Viritysmekanismi riippuu aallon taajuudesta:

- Gammasäteet vaikuttavat atomiytimiin.
- Röntgensäteet vaikuttavat sisimpiin elektroneihin.
- Ultraviolettisäteily ja näkyvä valo virittävät ulompia elektroneita.
- Infrapunäsäteily vaikuttaa molekyylien värähdysliikkeisiin sekä uloimpien elektroneiden viritystilaan.
- Mikroaallot vaikuttavat molekyylien pyörimisliikkeeseen sekä ytimen spiniin.
- Radioaallot vaikuttavat atomiytimen spiniin.

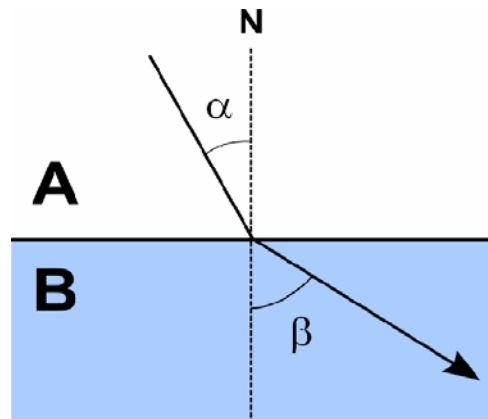
Atomien ja molekyylien energia on kvantisoitunutta, eli sillä voi olla vain tiettyjä arvoja. Sähkömagneettisen säteilyn vuorovaikutus materian kanssa on mahdollista vain jos aallon tai fotonin taajuus vastaa näiden energiatilojen erotusta. Virittyneet atomit ja molekyylit saattavat palata perustilaan, jolloin ne emittoivat säteilyä, jonka aallonpituus riippuu perus- ja viritystilan energiatilojen erotuksesta. Yleensä emissiospektri ja absorbtiospektri vastaavat toisiaan, eli atomit ja molekyylit lähettävät perustilaan palatessaan säteilyä, jonka aallonpituus on yhtäläinen sen säteilyn kanssa, joka sai ne virittymään perustilastaan[1].

#### Heijastuminen

Heijastuminen tapahtuu, kun sähkömagneettinen aalto kohtaa tasaisen tasopinnan. Se onko pinta käsitettävä tasaisena, riippuu pintaan osuvan säteilyn aallonpituudesta ja pinnan epätasaisuudesta aallonpituuteen nähden. Heijastuksessa säteilyn tulo- ja heijastuskulma ovat samat[1].

### Taittuminen

Se osa säteilystä, joka ei heijastu tai siroa, taittuu osuessaan rajapintaan, jossa säteilyn nopeus muuttuu. Taittuminen tapahtuu aina tiheämpää ainetta kohti. Taittekerroin muuttuu äkillisesti esimerkiksi veden ja ilman välisessä rajapinnassa. Ilman taittekerroin riippuu ilman paineesta, kosteudesta ja lämpötilasta. Se muuttuu siten korkeuden funktiona. Tämän vuoksi ilmassa kulkeva sähkömagneettinen säteily taipuu kohti maanpintaa[1,16].



$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{AB},$$

Kuva Snellin laki

### Taipuminen

Sähkömagneettinen säteily taipuu kohdatessaan reunan, niin kuin mikä tahansa aaltorintama. Tämän vuoksi diffraktio mahdollistaa radioaallon etenemisen suurtenkin kohteiden taakse. Taipuminen riippuu aallonpituudesta: mitä lyhyempi se on, sitä vähemmän aalto taipuu. Radioaallot esimerkiksi taipuvat hyvinkin paljon, mutta näkyvä valo etenee enemmän tai vähemmän viivasuoraan[1].

### Sironta

Heijastumisen, taittumisen ja taipumisen yhteydessä materia ei osallistu aktiivisesti aallon etenemiseen, vaan materia häiritsee aallon luontaista etenemistä lisäämättä kuitenkaan uusia aaltoja. Sironnassa aineella on aktiivinen rooli. Sironta on prosessi,

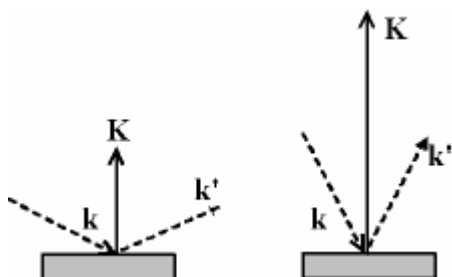
jossa sähkömagneettinen säteily absorboituu materiaan, joka virittyy korkeampaan energiatilaan. Kun tämä energiatila purkautuu, materia lähettää sähkömagneettista säteilyä joka suuntaan samalla taajuudella kuin se absorboitui. Tällöin osa säteilystä siroaa myös takaisin tulosuuntaan ja osa alkuperäisen säteilyn etenemissuuntaan.

Sironta edellyttää vahvaa vuorovaikutusta materiaan ja sähkömagneettisen aallon kesken. Yleensä sironta lisääntyy säteilyn aallonpituuden lyhetessä, eli taajuuden kasvaessa, koska tällöin aallonpituuden luokkaa olevia sirottavia kappaleita löytyy enemmän aallon etenemisreitillä. Ilmakehän epähomogeenisuudet, kuten ilman pyörteiden aiheuttamat äkilliset muutokset ilman taitekertoimessa sekä ilmassa olevat hiukkaset aiheuttavat sirontaa. Siroava aaltokomponentti säteilee laajaan avaruuskulmaan vaimentaen suoraan etenevää aaltoa.

Sirontamekanismia käytetään hyväksi erilaisissa sirontajärjestelmissä, joissa pyritään hyödyntämään ilman pyörteistä tai ionosfääristä tai meteoreista siroavaa aaltokomponenttia. Lisäksi sirontaa käytetään hyväksi esimerkiksi laservaroitusjärjestelmissä, joissa osa tulevasta aallosta siroaa ilmamolekyyleistä ja ilman epäpuhtauksista ja päätyy varoittimeen, vaikka säteilylähteestä suoraan etenevä säteily ei varoittimeen osuisikaan.

Sirontaan vaikuttavat sirottavan kappaleen koko aallonpituuteen nähden, kappaleen muoto sekä aallon tulosuunta ja polarisaatio.

Hiukkasen sirontapoikkipinta-ala kuvaa siroavan säteilyn suhdetta suoraan etenevään. Sirontapoikkipinta-ala riippuu hiukkasen suhteellisesta koosta säteilyn aallonpituuteen nähden. Aallonpituuteen nähden pienen kappaleen sirontapoikkipinta on verrannollinen taajuuden neljänteen potenssiin. Aallonpituuden luokkaa olevan kappaleen sirontapoikkipinta vaihtelee geometrisen poikkipinnan mukaan. Aallonpituuteen nähden suuren kappaleen sirontapoikkipinta vastaa yleensä kappaleen geometristä poikkipinta-alaa[1,17].



Kuva Symmetrinen diffraktio pinnasta

### 3.5 Antennin ominaisuudet

Antenni on järjestelmän osa, joka kytkee järjestelmän sähkömagneettiseen spektriin sovittamalla aaltojohteessa tms. suljetussa siirtomediassa kulkevan radiotaajuisen signaalin vapaassa tilassa eteneväksi sähkömagneettiseksi aalloksi. Koska antenni on sovituselementti, sen sovitus sekä avaruuteen että syöttöjohtoon on tehon siirtymisen kannalta keskeisen tärkeitä. Epäsovitus johtaa siihen, että osa tehosta heijastuu takaisin eikä etene lähetysantennista avaruuteen tai vastaanotinantennista vastaanottimen ilmaisimelle.

Antennit ovat tyypillisesti resiprookkisia piirielementtejä, millä tarkoitetaan sitä, että niiden ominaisuudet eivät riipu säteilyn kulkusuunnasta. Siten niiden lähetys- ja vastaanotto-ominaisuudet ovat samat. Tämä pätee suurimpaan osaan antenneista; merkittävimmän poikkeuksen muodostavat aktiiviset antennit, joissa on epäresiprookkisia komponentteja, kuten ferriittivaiheensiirtimiä. Myös antenniryhmät, jotka sijaitsevat fyysisesti vierekkäin, mutta käyttävät lähetykseen toista ja vastaanottamiseen toista elementtiä eivät ole resiprookkisia[1].

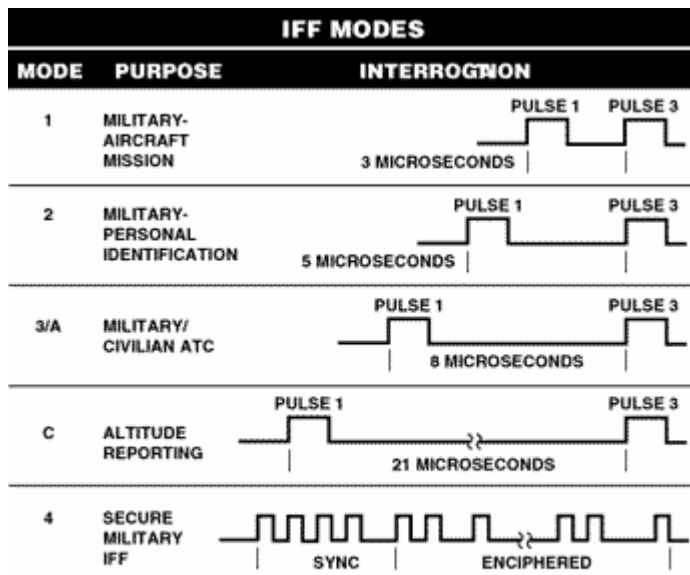
### 3.6 IFF:n moodit

Joka eri moodissa on tietty informaatio, joka välittyy koneista maahan. Moodi 1, jossa on 64 vastauskoodia, on käytössä sotilasliikenteen valvonnassa. Koneesta saadaan tietää sen tyyppi ja mitä tehtävää se on suorittamassa.

Moodi 2 on myös pelkästään sotilaskäyttöä varten. Maasta lähetetään pyyntö ja kone vastaa antaen koneen numeron ja tyyppin. Tässä moodissa on käytettävissä 4096 vastauskoodia.

Moodi 3 on standardi siviilikontrollointia varten. Se on käytössä kansainvälisesti, jossa kaikista koneista saadaan niiden korkeustiedot, jotta jokaista konetta voidaan valvoa kansainvälisiin sääntöihin tukeutuen. Joka kone valjastetaan tietyllä koodilla sen noustessa ilmaan ja jonka koodin se ilmoittaa sitä kysyttäessä.





IFF transponders used in the four non-secure air traffic control modes are triggered to give the proper response by a pair of precisely-spaced radio pulses sent from the IFF ground interrogator. The secure military mode used to identify friendly aircraft in hostile situations employs a much more complex enciphered signal.

Kuva IFF-järjestelmän moodit

Sotilastunnistuksessa on kyse siitä, että jokainen havaittu kohde pystytään kuvaamaan riittävän tarkasti, jotta mahdollisimman suurella varmuudella voidaan käyttää oikeaa taktiikkaa, riittävän ajoissa ja oikealla asejärjestelmällä tunnistettua kohdetta vastaan. Riippuen tilanteesta ja tehtävästä taktisesta päätöksestä, voi tämä tunnistaminen olla vähintään tasoa omakone, neutraali tai vihollinen[3,6,7,9,12].

### 3.7 AN/TPX-56 (Ilmatorjuntaohjus 2005)

Järjestelmässä on tehoa 2500 wattia, mikä on kyselijälle todella suuri määrä. Suurella teholla pyritään saavuttamaan järjestelmälle maksimaalinen joustavuus ja kasvu. Järjestelmän arkkitehtuuri sisältää kuusi eri prosessoria, jotta järjestelmä kykenee vastaanottamaan kohteelta 14 000 vastausta sekunnissa. Järjestelmä käyttää A 6U VME IFF korttia, joka sisältää johtavia reunapulssitunnistusmenetelmiä. Tämä menetelmä tukee pitkästä matkasta tulevia herkkiä signaaleja (-83dBm), joka taas mahdollistaa tietojen prosessoinnin pitkän matkan takaa. Järjestelmällä on myös useita eri liitäntäpintoja niin maa tai merialustoihin ja sen voi myös modifioida moodiin S.

AN/TPX-56 IFF-kyselijä laittaa kyselyn liikkeelle ja pystyy itse käsittelemään liikkuvan tiedon siten, että lopputuloksena tiedetään onko kone oma vai vihollisen. Laitteen kehittivät amerikkalaiset. Kokonaisuus pitää sisällään alustan kohteen

tunnistamisesta, käynnissä olevan operaation moodin, vastauksen, etäisyyden, suuntiman ja häirintäilmaisimen. Järjestelmän kapasiteetti mahdollistaa operaattorin (käyttäjän) säilyttää ilmatilan ja omakoneilmoitusten hallinnan hankalissakin tilanteissa.

Raytheon tehtaan valmistama IFF-kyselijä on kevyin, pienin ja korkeatasoin tämän hetkisistä järjestelmistä. Se kykenee palvelemaan useissa maa- ja merialusteisissa järjestelmissä säilyttäen logistisen yhteensopivuuden. Yhdysvalloissa se on valittu armeijan tutka ja ilmaliikenteen suunnistus- ja kontrollointi järjestelmäksi. Kyselijä on onnistunut hyvin käytännön testeissä ja onkin osoittanut parantunutta kenttäkelpoisuuttaan siinä määrin, että se on amerikkalaisten tarkin ja varmin järjestelmä. Onnistuneiden kokeiden ansiosta järjestelmästä tehtiin lisäksi moodi S, jonka avulla amerikkalaiset pääsivät esittelemään järjestelmän hienouksia[20].



Kuva ItO 2005

### 3.8 Ilmatorjuntaohjus 90 omatunnuslaite

Grotale ilmatorjuntajärjestelmä pitää sisällään Mark XII-tyyppisen IFF-omatunnistusjärjestelmän. Järjestelmällä kyetään käsittelemään neljää maalia samanaikaisesti ja kyselypulssi voidaan lähettää järjestelmän määrittelemään sektoriin ja etäisyydelle. Kysely voidaan suorittaa kahdella eri moodilla. Varmaan tunnistamiseen vaaditaan kaksi täyttä antennikierrosta. Ensimmäinen kysely suoritetaan secure-moodissa, mikäli se on käytössä. Jos ensimmäiseen vastaukseen ei saada vastausta lähtee seuraava kyselypulssi Sif-moodissa. Secure moodin

ollessa pois käytöstä, kysely suoritetaan ensin moodissa 3 ja sitten moodissa 2 (Jos ensimmäiselle kerralla ei saada vastausta). Monimaalitalanteessa IFF-järjestelmä voi automaattisesti vaihtaa kyselyjärjestystä kyselyjen määrän minimoimiseksi. Kysely tehdään kerran ja kun foe (vihollinen) otetaan seurantaan, tehdään toinen kysely. Tunnistuksen voi jälkikäteen muuttaa käsin. Toiminta on mahdollinen vain oman tutkan maaleille ja se vaikuttaa uhka-analyysin laskentaan. Järjestelmässä sininen väri kertoo kohteen olevan SIF-ystävä, vihreä secure-ystävä, oranssi tunnistamaton ja punainen vihollinen. Järjestelmä suorittaa toimiessaan "On Line"-testejä ja vastaavasti laitteen toiminnan keskeytyessä "Off-Line"-testit.

Järjestelmää voidaan testata painettaessa testipainiketta, jolloin laitteisto generoi simuloidun kyselyn maalille numero 1. Kahdeksan ilmaisun jälkeen tunnistuksen pitää olla joko friend mode secure tai friend sif. Virhetilat näkyvät näytöllä tai vikavalona. Grotalessa on käytössä moodit 1, 2, 3a ja 3c. Omatunnistusjärjestelmää ei tulla tulevaisuudessa modifioimaan vaan kyseiset moodit säilyvät järjestelmässä myös tulevaisuudessa[31].

Laite	AN/TPX-56	Mark XII	ItO 90
Moodit	1,2,3,C ja 4	1, 2, 3/A, C, S (Tasoa 3), 4 mahdollista laajentaa ADS-B:ksi ja moodiin 5	1,2,3a ja3c
Lähetystaajuus	1030 MHz	1090 MHz	1030 MHz
Vastaustaajuus	1090 MHz	1200 MHz	1090 MHz
Herkkyys	-79 dB	-77 dB	-60 dB
Pulssiteho	37 wattia	50 wattia	50 wattia
Paino	5,6 kg	4,6 kg	

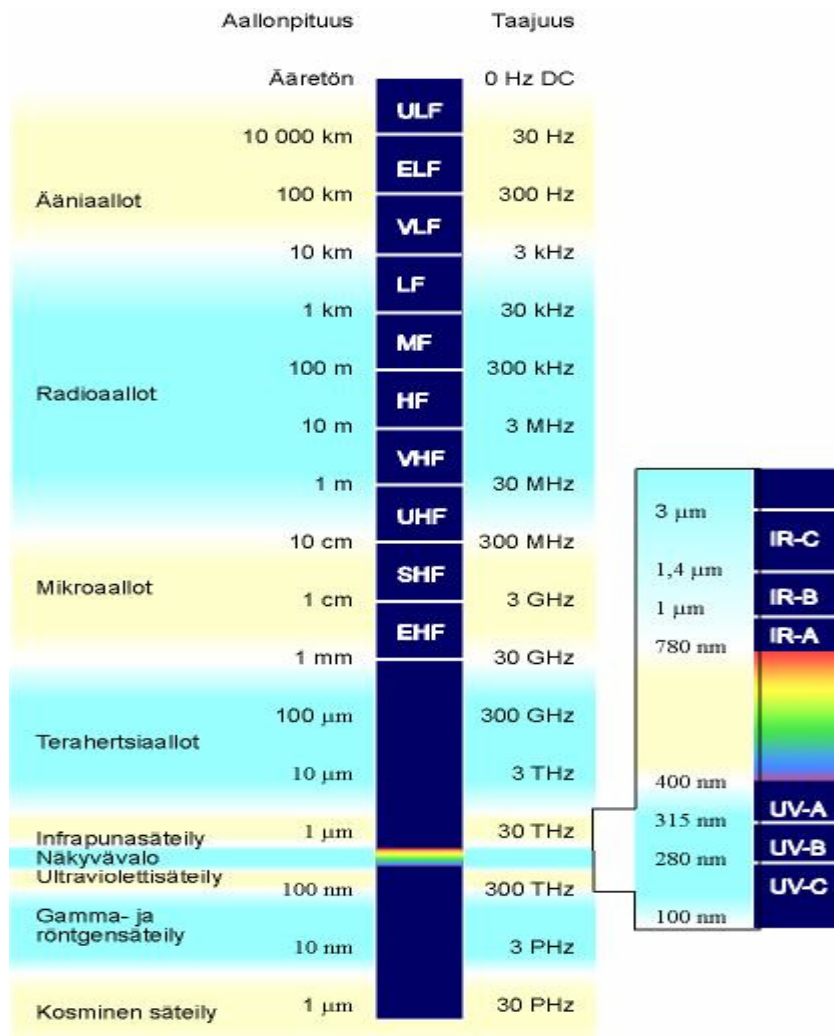
Taulukko IFF-omatunnistusjärjestelmien ominaisuuksia



Kuva Mark XII

### 3.9 Johtopäätökset

Ilmatorjunnalla käytössä olevat omatunnistusjärjestelmät toimivat kaikki reilussa 1000 MHz:ssä. Tämä tarkoittaa sähkömagneettisen spektrin osalta sitä, että järjestelmien kysely- ja vastauspulssit käyttävät UHF-taajuusaluetta.



Kuva Sähkömagneettisen spektrin osa-alueet

Läpikäydyn radiosignaalin tekniikan perusteella voidaan todeta, että ilmatorjunnan IFF-antennien tulisi sijaita hyvissä asemissa. Tämä tarkoittaa asemien osalta sitä, että katveita ei tulisi alueella olla ja asemapaikan tulisi sijaita jollakin korkealla maastonkohdalla. Hyvällä IFF-omatunnistusjärjestelmän sijainnilla saavutetaan paremmin näköreitit yhteys maassa olevan ja taivaalla lentävän kohteen välille. Näin ollen saavutetaan paras todennäköisyys signaalien kulkemiselle. Tilannetta hankaloittaa huomattavasti se, jos alueella on jotain suuria maastoesteitä tai suuria rakenteita. Voidaankin todeta, että esimerkiksi pohjoisessa tunturit muodostavat suuria esteitä antennien välillä ja katveessa lentävältä koneelta on huomattavan vaikeaa saada vastauspulssia kyselijälle. Eteläisessä Suomessa vastaavanlaisen

ongelman aiheuttavat pääkaupunkiseudun korkeat rakennukset, jotka muodostavat ensimmäiselle Fresnellin alueelle esteitä[23].

#### **4. Käytettävyys, toimintavarmuus**

##### **4.1 Ilmatorjuntaohjus 2005**

IFF-omasuojajärjestelmä on käytettävyydeltään erittäin helppo. Ampujan toimiessa ohjusjärjestelmällä IFF-kyselijä antaa suoraan tarvittavat tiedot ampujalle. Saapuvasta kohteesta tulee tieto, joka kertoo onko kyseessä oma vai vihollisen kone. Järjestelmä ilmaisee sekä äänimerkein, että näyttöön tulevien varoitusvärien muodossa onko kohde oma vai vihollinen. Ohjusjärjestelmä pitää sisällään myös oman tutkan jota käytetään ampumatoimintaan liittyen. Tutkalta saadaan nopeustieto ja paikkatieto järjestelmälle. Tähän lisätään vielä ilmavalvontaseloste ja tuliasemapäätteeltä tuleva tulenjohtodata, joista kaikista ampuja saa tietoa saapuvasta kohteesta. Ennen ampumista on ampujalla monta eri lähdeä, joista ampumiseen tarvittavat tiedot voi kerätä. Tämä saattaa aiheuttaa kokemattomalle ampujalle ongelmia, sillä on hyvin vaikeaa valita näistä kaikista tiedonlähteistä se varmin ja oikein, jotta haluttu lopputulos saavutettaisiin.

Lähtökohtaisesti ohjusjärjestelmällä ammuttaessa ampuja vain hyväksyy järjestelmän itse asettamat arvot, jotka siirtyvät IFF-järjestelmältä ohjusjärjestelmään. Tällä toimintatavalla ampujalle ei jää muuta tehtävää kuin ohjuksen laukaisu.

Tilanne on ampujan kannalta hyvä niin kauan, kun koneissa on IFF-järjestelmät aktiivisina. Toisin sanoen rauhan aikana järjestelmällä on varmasti helppo ampua ampumarjoituksissa harjoitusmaaleihin, mutta tilanne muuttuu heti siinä vaiheessa, kun tiedot jäävät puuttumaan. Sensoreita on onneksi muitakin ja ampuja voi saada tarvittavan ennakkovaroituksen ja muut arvot ampumiselle esimerkiksi maalinosoitustutkalta, tuliasemapäätteeltä, järjestelmän omalta tutkalta tai ilmavalvontaselosteesta. Nykyajan taistelun kuva on kuitenkin muuttunut siinä määrin, että voidaan todeta, että IFF-järjestelmällä on hyvätkin edellytykset palvella ilmatorjuntajoukkoja. SIETO-vaiheen päättyessä ja strategisen iskun alkaessa järjestelmällä saadaan vielä tärkeää tietoa joukoille. Ensimmäisistä asevaikutuksista saadaan IFF:n avulla ennakkovaroitus ja esimerkiksi risteilyohjuksia vastaan voidaan toimia saadun IFF-tiedon avulla. Tulevaisuudessa on myös oletettavaa, että IFF-

omatunnistusjärjestelmien välinen kommunikointi saadaan suojattua niin hyvin, että järjestelmien käyttö on mahdollista myös sotatilanteessa. Aina on tietenkin mahdollista, että vihollinen saa haltuunsa koneesta tulevan vastauskoodin, mikä samalla paljastaa koneen paikan ja sen, että kyseessä on vihollisen kone. Kaapattuun signaaliin on myös mahdollista vastata väärin tunnuksin, minkä seurauksena kone voi tietämättään lentää sellaisen alueen läpi, jolla on pelkästään vihollisen joukkoja. Lentäjällä on kuitenkin tällaisissa epäilyttävissä tilanteissa kuitenkin etuna se, että ennen lentoa lähtöä hänellä on tiedossaan viimeisimmät vihollistiedot.

#### 4.2 Ilmatorjuntaohjus 90

Grotale-järjestelmä ei poikkea juurikaan ItO 2005:stä ampujan toimintaa vertailtaessa. Ohjusjärjestelmä pitää samalla tavalla sisällään IFF-kyselijän, oman tutkan ja ilmatilannekuvaa saadaan myös tuliasemapäätteeltä ja ilmavalvontaseloitteesta. Ampujan kannalta merkityksellistä on kuitenkin se, että Grotaleen ampuja toimii sisätiloissa ja 2005 järjestelmässä ulkona. Ampumatilanteetkin poikkeavat siten, että 2005 järjestelmällä ampuvan henkilön tulee nähdä maali koko ajan. Tällöin ampuja voi reagoida vielä siinäkin tilanteessa, että IFF-omatunnistusjärjestelmä on antanut jostain syystä virheellisen tiedon koneen kansallisuudesta. Grotaleen ampuja ei vastaavasti voi todeta tilannetta itse tähyttämällä vaan ampumispäätös perustuu pelkästään sensoreiden antamiin tietoihin. Tämän perusteella voidaan todeta, että Grotale on haavoittuvaisempi järjestelmä[31].



kuva ItO 90 Crotale NG

### 4.3 Ilmatorjuntaohjus 2005M

Kyseinen järjestelmä on vasta suunnitteilla, mutta tullessaan Suomeen se on hyvin samankaltainen kuin 2005 järjestelmäkin. Myös 2005M järjestelmässä tulee olemaan IFF-omatunnistusjärjestelmä. Se, onko 2005M:ssa myös AN/TPX-56 omatunnistusjärjestelmä, selviää myös tulevaisuudessa.



Kuva 2005M ampumajalustalla (lähde:ilmatorjuntalehti)

### 4.4 Häirittävyys

IFF-omatunnistusjärjestelmään pätee samat säännöt kuin muihinkin järjestelmiin, kun puhutaan laitteen häiritsemisestä. Kysely- ja vastaussignaaleja voidaan häiritä jos häirintäsignaalilla pystytään heikentämään hyötysignaalin suhdetta häirintäsignaaliin ja vastaanotettuun normaaliin kohinaan. Käytettävällä siirtomenetelmällä on myös vaikutuksia sen häirittävyyteen. Normaalin hyöty- ja häirintäsignaalisuhteen lisäksi häirittävyyteen vaikuttaa koodaus- ja modulointimenetelmä, ilmaisumenetelmä, siirrettävän symbolin kesto, tiedon siirtämiseen käytettävissä oleva aika, yhteyden redundanttisuus ja käytettävä virheenkorjaus ja käytössä oleva tahdistusmenetelmä.

Lentokoneissa on omat saattohäirintälaitteensa, jotka jo itsessään häiritsevät lähetettyä vastaussignaalia. Ilmassa on myös häirintäkoneita, jotka lähettävät ilmaoperaatioihin liittyen taustahäirintää, joka edelleenkin vaikuttaa kysely- ja vastaussignaalien etenemiseen. Tilanteessa, jossa oma lentokone lentää ensimmäisenä kohti tukikohtaa ja perässä lentävä vihollisen kone ja taustalla vaikuttava häirintäkone, on mahdollista, että koneen vastaussignaali peittyy vihollisen

häirintälähetteen alle ja näin tunnistustietoa ei maahan asti tule. Tämä vaatii tosin sen, että häirintäkoneet toimivat todella lähellä, jotta häirintäsignaalin voimakkuus on riittävä sotkemaan oman koneen vastussignaalin voimakkuuden.

Kohinalla on myös merkittävä vaikutus hyötysignaalin vastaanottamisessa. Kohina yhdistyy hyötysignaaliin ja mikäli signaali on riittävän pieni, se peittää sen niin, ettei vastaanotin kykene tulkitsemaan signaalia oikein. Kohina voidaan jakaa luonnolliseen ja ihmisen synnyttämään tai ulkoiseen ja sisäiseen kohinaan. Luonnollinen kohina käsittää sähköisten piirien ja komponenttien lämpökohinan, ilmakehän kohinan sekä maapallon ulkopuolisen kohinan. Näistä ilmakehän kohina dominoi matalilla alle 2 MHz taajuuksia ja sen energia on pääosin alle 30MHz. Ilmakehän kohinan ensisijainen lähde ovat maapallon eri puolilla iskevät salamot, joiden aiheuttamat häiriöt etenevät matalilla taajuuksilla ympäri maapallon. Maapallon ulkopuolisen kohinan lähteitä ovat aurinko ja aurinkokuntamme ulkopuolelta tuleva galaktinen kohina.

Ihmisen aikaansaama kohina on merkittävin kohinan lähde asutuilla seuduilla. HF- ja VHF- alueella se syntyy muiden radio- ja tutkalähetteen aiheuttamista häiriöistä, joista käytetään nimitystä interferenssi. Korkeammilla taajuuksilla polttomoottoreiden sytytysjärjestelmät aiheuttavat häiriöitä. Mikroaalloilta alkaen suurin kohinan lähde on yleensä vastaanottimen sisäinen lämpökohina.

Interferenssin lähteitä voi olla saman järjestelmän tahalliset tai tahattomat häiriöt tai eri järjestelmien väliset tahattomat häiriöt tai tahallinen häirintä. Järjestelmän kannalta häirintäsignaali on haitallinen riippumatta siitä onko se tahaton vaiko tahallinen. IFF-järjestelmän ollessa kyseessä kohina lyhentää toimintaetäisyyttä[1].

#### **4.4.1 Elektronisen sodankäynnin tukitoiminta**

Elektronisen sodankäynnin tukitoiminta tarkoittaa niitä toimenpiteitä, joilla luodaan edellytykset järjestelmien toiminnalle elektronisen taistelukentän olosuhteissa tuottamalla elektroniselle tuelle, elektroniselle vaikuttamiselle ja elektroniselle suojautumiselle järjestelmien ohjelmointiin ja käyttöön liittyviä perusteita. ELSO-tuen välittämät tiedot ovat hyvin monitasoisia: ELSO-sensorijärjestelmien parametroinnista (kohteiden tunnistukseen tarvittavat signaalikirjastot) häirintäjärjestelmien tarvitsemiin kohdejärjestelmäspesifiisiin häirintämenetelmiin sekä erilaisiin ELSO-toiminnan



kehittämisessä tarvittaviin suorituskykyarvoihin. Järjestelmien parametointi käsittää neljä toimintavaihetta:

1. Tunnistetaan uhkaympäristössä ja uhkajärjestelmissä tapahtunut muutos
2. Analysoidaan, onko muutoksella vaikutusta omaan järjestelmäämme
3. Määritetään tarvittavat muutokset tiedustelu-, valvonta-, johtamis-, ase-, ja omasuojajärjestelmiin
4. Tehdään mahdollisesti tarvittavat ohjelmisto- tai tietokantamuutokset, testataan ne ja toimitetaan ne tarvitsijoille

ELSO-tuki on toimintaa, jonka avulla strategisen signaalitiedustelun ja muiden tiedustelulajien tuottamilla tiedoilla tuetaan eri puolustushaarojen operatiivista ELSO-toimintaa. ELSO-tukitoimintaa suorittaa tyypillisesti oma yksikkö, mutta vastuita voi olla myös jaettu puolustushaaroille. ELSO-tukitoiminta on myös operatiivis-taktista tukea operatiivisen ja taktisen tason elektronisen sodankäynnin joukoille. Tällöin kohdejärjestelmien sijasta toiminta keskittyy kohdeorganisaatioihin ja niiden toimintaan erilaisissa taistelutilanteissa. Nämä tiedot vaikuttavat suoraan ELSO-järjestelmien tuottamiin automaattisiin elektronisiin taistelujaotuksiin, ELSO-joukkojen koulutukseen ja toiminnan suunnitteluun, sekä laajemminkin elektronisen taistelukentän uhkakuvana koko puolustusvoimien operatiiviseen suunnitteluun.

ELSO-tukitoimintaa tarvitaan kaikilla ELSO:n taajuusalueilla, kuten tutka- ja viestijärjestelmien sekä elektro-optisten järjestelmien taajuuksilla. Tukitoiminnan tuottamia tietoja käytetään järjestelmätason lisäksi toimintaa ja taktiikkaa suunniteltaessa ja koulutettaessa. Teknisessä ELSO-tukitoiminnassa käytetään erilaisia laboratoriojärjestelmiä omasuojajärjestelmien ja häirintäjärjestelmien parametroidin ja häirintämenetelmien kehityksen tukena. On huomattava, että ELSO-tukitoiminta ei tarkoita samaa kuin elektroninen tuki, vaikka termit muistuttavatkin toisiaan[4].

#### **4.4.2 Puolustushaarakohtaisia vivahteita**

Elektronisella sodankäynnillä on kussakin kolmessa puolustushaarassa omat erityispiirteensä. Maavoimien elektronisen sodankäynnin järjestelmä koostuu yleensä komppanian kokoisista elektronisen tuen osastoista, häirintäosastoista, tykistöillä ammuttavista lähihäirintäkранаateista sekä erikoisjoukkojen käyttämistä kannettavista lähihäirintälähetimistä ja kannettavista hakusuuntimoista. Lisäksi

järjestelmään voi kuulua elektronisen tuen tai vaikuttamisen lennokkiyksikkö tai vaihtoehtoisesti joukko voi saada käyttöönsä ylemmän johtoportaan lennokkisuoritteita taisteluunsa liittyen. Yhtymän taistelua tukevan elektronisen tuen osaston tehtävänä on:

- Muodostaa elektroninen tilannekuva yhtymän vastuualueelta paikantamalla vastustajan järjestelmät ja joukot sekä tarvittaessa ja resurssien riittäessä myös omat joukot
- Paikantaa vastustajan tärkeimmät joukot, erityisesti vastustajan etuosasto, toisen portaan ja reservien sijainti sekä määrittää hyökkäyksen ajoitus ja painopisteen suuntautuminen
- Antaa uhkavaroitus lentorynnäköistä ilmasuojelutoimenpiteiden toteuttamiseksi sekä antaa ilmatorjunnalle passiivinen maalinosoitus vastustajan lentokoneista ja helikoptereista
- Antaa uhkavaroitus omassa selustassa toimivista vastustajan tiedustelu-, maahanlasku- tai erikoisjoukoista sekä yhtymän sivustaan kohdistuvista uhkamahdollisuuksista
- Paikantaa tärkeimmät tulenkäytön maalit kuten divisioonan ja rykmenttien esikunnat ja komentopaikat, tykistön ja raketinheitinten tuliasemat, viesti- ja häirintäasemat sekä tunnistaa maalit omasta tulenkäytöstä johtuvien tappioiden välttämiseksi ja tulen oikeaksi kohdentamiseksi vastustajan kriittisiin pisteisiin
- Määrittää omalle elektroniselle häirinnälle vastustajan häiritävät maalit ja niiden optimaaliset häirintäparametrit sekä seurata häirinnän vaikutusta operatiivistaktisella tasalla elektronisen vaikuttamisen toteutuksen ohjaamiseksi

Verkottuneella taistelukentällä maavoimien sensorit tukevat samalla myös muiden puolustushaarojen tarpeita.

Elektroninen tuki voidaan organisoida monella eri tavalla: yksi vaihtoehto on toteuttaa organisointi siten, että yksi yksikkö valvoo pintaan (vastustajan maavoimia) ja toinen ilmaan (vastustajan ilmavoimia). Tämän vaihtoehdon etuna on se, että kummankin

järjestelmän käyttöperiaatteet ja toimintamallit sekä tekniikka ja henkilöstön voidaan optimoida kohdejärjestelmiä vastaan. Ilmassa olevat ja ilmapuolustukseen liittyvät kohdejärjestelmät toimivat pääosin tutka- tai UHF-taajuuksilla, kun taas maassa olevat kohteet ilmapuolustuksen tutkia lukuun ottamatta toimivat lähinnä HF-VHF-taajuuksilla. Lentäviä kohteita ovat esimerkiksi vastustajan

- Ilmassa toimivat tutkavalvonta- ja johtokoneet sekä –helikopterit: ilmavalvonta- ja SAR/MTI-tutkat, navigointitutkat, taistelunjohtoyhteydet sekä satelliittiviestiyhteydet



Kuva Yhdysvaltalainen tiedustelukone Quadrail

- Ilma-alusten omatunnistusjärjestelmän kyselijät ja vastaajat

- Torjuntahävittäjät, pommi- ja rynnäkkökoneet: monitoimipulssidopler-, pommitus-, rynnäköinti-, SAR- ja navigointitutkat, ohjusvaroitustutkat, radiokorkeusmittarit, navigointi- ja omatunnusjärjestelmät, omasuojahäirintälähettimeet, osaston sisäiset yhteydet ja yhteydet taistelunjohtoon sekä tiedustelu- ja tulenjohtokoneisiin

- Merivalvonta- ja sukellusveneentorjuntalentokoneet sekä tiedustelukoneet: SAR/ISAR- ja vanhemmat muut sivuviistotutkat, taistelunjohtoyhteydet sekä satelliittiviestiyhteydet

- Taistelu- ja kuljetushelikopterit: millimetriaalto- ja mikroaaltoalueella toimivat tulenjohto-, navigointi- ja/tai törmäysvaroitustutkat, radiokorkeusmittarit, omasuojahäirintälähettimeet, maatulenjohtoyhteydet sekä muut yhteydet johtamiseen ja tilannekuvan sekä ennakkovaroituksen välittämiseen

- Häirintälentokoneet ja –helikopterit: yhteydet osaston johtamiseen ja häirinnän ohjaamiseen sekä häirintälähetimet viesti- ja tutkataajuuksilla



Kuva Yhdysvaltalainen häirintäkone EA-6B Prowler

- Lennokit: komentolinkki ja sensoritiedon välityslinkki suoraan maa-asemaan tai satelliitin välityksellä, sekä lennokissa mahdollisesti oleva aktiivinen hyötykuorma, kuten SAR-tutka tai häirintälähetin
- Ohjukset: aktiivisella tutkahakupäällä varustetut ilmataistelu- ja meritorjuntaohjukset

Vastaavasti maassa sijaitsevia kohteita ovat esimerkiksi:

- Komentoradioverkot sekä tiedustelun ja tulenkäytön radioverkot
- Kenttäradio- ja soluverkkojärjestelmät, erikoisjoukkojen yhteydet HF- ja UHF/SHF- (satelliittitietoliikenne) taajuuksilla
- Mikroalueen linkkiyhteydet
- Ilmavalvonta-, taistelunjohto-, vastatykistö-, maastonvalvonta-, ja säätutkat sekä ilmatorjuntajärjestelmien erilaiset tutka-, maalinvalaisu- ja omatunnusjärjestelmät
- Strategiset viestiyhteydet, mukaan lukien satelliittitietoliikenne
- Viestihäirintäjärjestelmät, tutkahäirintäjärjestelmät ja näiden johtoyhteydet

Toinen vaihtoehto on järjestää viestitiedustelun ja elektronisen mittaustiedustelun järjestelmät omikseen vanhan COMINT- ja ELINT-jaon (COMINT= elektroninen viestitiedustelu ja ELINT= mittaustiedustelu) mukaisesti. Viesti- ja elektroninen mittaustiedustelu ovat olleet eriytettyinä koska niiden kohteet, taajuusalueet, laitteistot ja koulutusvaatimukset ovat olleet erilaisia. Joissain maissa tämä on johtanut myös organisaatioiden eriytymiseen. Tilannekuvan muodostamisen kannalta on kuitenkin välttämätöntä yhdistää havainnot mahdollisimman varhaisessa vaiheessa, mikä on helpointa toteuttaa saman organisaation puitteissa. Tämän vaihtoehdon etuna on se, että COMINT-järjestelmä kykenee erikoistumaan vastustajan johtamisjärjestelmän selvittämiseen ja viestiliikenteen kuunteluun ja ELINT-järjestelmä puolestaan vastustajan muiden läheteiden analysointiin. Haittana puolestaan on se, että samaa kohdetta seuraa ja analysoi kaksi eri järjestelmää ja pahimmassa tapauksessa jopa kaksi eri joukkoa. Kohteesta saatava tieto hajautuu eri tahoille, jolloin johtopäätösten tekeminen ja joissakin tilanteissa uhkavaroituksenkin saaminen riippuu näiden kahden järjestelmän ja joukon välisestä tiedonvaihdosta: esimerkiksi rynnäkkökoneen pommitustutkan havaitsee ELTU/ELINT-järjestelmä tai -joukko, mutta rynnäkkökoneosaston koneiden välisen viestiliikenteen COMINT-järjestelmä tai -joukko.

Kolmantena vaihtoehtona on sensoreiden tekninen ja organisatorinen integroituminen yhdeksi järjestelmäksi ja yhdeksi joukoksi sekä näin kerätyn sensoritiedon hajauttaminen sitä tarvitseville. Järjestelmien kehitys näyttää olevan menossa tähän suuntaan puolustushaarojen välisen yhteistoiminnan vaatimusten, käytettävissä olevan rahoituksen määrän, taistelukentän verkottumisen asettamien toiminnallisten vaatimusten sekä tekniikan kehittymisen ohjaamana. Tekninen integroituminen johtaa siihen, että taloudellisesti ja teknisesti järkevintä on tarkkailla samalla järjestelmällä kaikkia sähkömagneettisen spektrin aktiivisesti lähettäviä kohteita. Organisaattorisella integroitumisella tarkoitetaan sitä, että puolustushaara-, aselaji-, tai toimialakohtaisten joukkoyksiköiden sijasta käytettävissä on kaikkien puolustushaarojen, aselajien ja toimialojen tarpeita palvelevia yhteiskäyttöisiä eli ns. joint-yksiköitä. Keskeisimpänä tätä kehitystä hidastavana tekijänä vaikuttaisi olevan muutosvastarinta: ei haluta luopua nykyisin omassa hallinnassa olevasta järjestelmästä ja luottaa yhteiskäyttöisen järjestelmän käytettävyyteen tosipaikan tullen. Tehokkuutta ja suorituskykyä tavoittelevat asevoimat huomaavat ennen pitkää yhteistoiminnan mahdollistaman verkottumisen ja resurssien yhdistämisen mukanaan tuomat mahdollisuudet: nykyaikaisten passiivisten sensorien käyttö pelkästään

omasuojaan, tai mihin tahansa muuhun yksittäiseen tehtävään on niiden hukkakäyttöä. Järjestelmät kykenevät vastaanottamaan ja analysoimaan lähes reaaliajassa koko signaalispektrin. Verkottamalla sensorit omistajasta riippumatta saadaan muuten tarpeettomana hukattava tieto hyötykäyttöön.

Itse asiassa sensoreiden konvergoituminen on pelkkää elektronista sodankäyntiä laajempi kysymys: yhdistyminen on nähtävissä myös aktiivisten ja passiivisten sensoreiden teknologioiden ja järjestelmien kesken. Tästä käy esimerkkinä amerikkalaisten kehitteillä oleva E-8 JSTARS, E-3 AWACS ja RC-135 Rivet joint SIGINT-koneiden seuraaja, joka yhdistää näiden toiminteet osaksi lentävää sensori- ja johtamislavettia E-10A.

Yhtymän taistelua tukevan taktisen elektronisen häirinnän osaston tehtävänä on:

- vastustajan tulikomento- ja tuliasemaviestiliikenteen häirintä
- vastustajan komentoverkon häirintä
- vastustajan tiedustelu- ja tiedustelutulenjohtoviestiliikenteen häirintä
- vastustajan maastonvalvonta- ja vastatykistötutkien häirintä
- vastustajan rynnäkkökoneiden ja taisteluhelikoptereiden tutkien häirintä
- ilmatorjunnan tukeminen vastustajan ilma-alusten johtamisyhteyksien häirinnällä



Kuva Norjalainen häirintäajoneuvo

Häirintä voidaan toteuttaa panssariajoneuvoihin tai telakuorma-autoihin asennetuin häirintälähettimin, alueelta vetäytyessä kätkeytin tai erikoisjoukkojen toimittamin lähihäirintälähettimin, tykistöllä tai raskaalla raketinheittimellä ammuttavin lähihäirintäkranaatein, lennokkiin tai ilmapalloon sijoitetulla häirintälähettimellä tai jopa viestivälinein, jotka on viritetty vastustajan käyttämille taajuuksille. Häirintäajoneuvoja käytettäessä on aina otettava huomioon se, että vastustaja paikantaa välittömästi häirintäjärjestelmämme omalla elektronisen tuen järjestelmällään ja pyrkii lamauttamaan ne tulenkäytöllä. Tämän vuoksi häirintäajoneuvot toimivat yleensä vaihteittain, esimerkiksi niin, että yksi häiritsee, toinen on valmiina käynnistämään häirinnän johtoaseman käskystä ja kolmas on siirtymässä häirintätehtäviin uusiin aseisiin. Optimaalisin tapa olisi häiritä liikkeestä, mutta tällöin häirintäteho jää vaatimattomaksi, koska häirintäantennia ei voida nostaa riittävän korkealle.



Kuva Häirintälennokki Teledyne MD 410

Lähihäirintälähetimet ovat erittäin tehokas tapa lamauttaa vastustajan komentopaikat, tulenjohtoliikenne, radioverkkoihin perustuva tulasematoiminta sekä elektronisen sodankäynnin sensorit taistelun kriittisimmillä hetkillä. Lähihäirintälähetin voidaan toimittaa tai jättää alueelle erikoisjoukoilla ja ohjelmoida käynnistymään tiettyinä ajanhetkenä, tai se voidaan käynnistää radiosignaalilla. Vaikka sen lähetysteho ja antennivahvistus ovat pieniä, tekee lyhyt häirintäetäisyys häirinnästä kuitenkin erittäin tehokasta. Pienikokoista lähihäirintälähetintä tai häirintäkранаattia on käytännössä erittäin vaikeata ja hämärässä sekä peitteisessä maastossa jopa mahdotonta löytää ilman suuntimojärjestelmiä. Jos häirintä toteutetaan siten, että häirintäkранаattien lisäksi ammutaan myös sirpalekранаatteja tai sirotteita, on häirintäkранаattien etsiminen ja raivaaminen erittäin vaikeata ja hidasta. Usein paras

keino lähihäirinnän väistämiseksi on siirtyä pois sen vaikutusalueelta. Joskus jo muutaman sadan metrin siirtyminen riittää toimintakyvyn palauttamiseen. Siirtymine on tällöin varsin pieni vaiva häirinnän väistämiseksi, mutta mikäli kyseessä on tuliportaan, esikunnan tai komentopaikan yllättävä siirto, saattaa puolen tunnin – tunnin toimintakyvyttömyys taistelun kriittisellä hetkellä olla kohtalokasta[4,28].

#### 4.5 Johtopäätökset

Järjestelmien toimintavarmuuteen voidaan nykyajan taistelukentällä vaikuttaa monin eri keinoin. Joukon oma toiminta voi aiheuttaa huonon koulutustason johdosta tilanteita, joissa joukko itse häiritsee omien järjestelmien toimintaa. Oman toiminnan lisäksi suuressa roolissa on elektroninen sodankäynti, joka on käynnissä tälläkin hetkellä. Sähkömagneettisen spektrin alueella toimivat järjestelmät ovat jatkuvan tiedustelun alaisena ja joukkojen toimintatavat näillä sähkömagneettisen spektrin aluetta käyttävillä järjestelmillä kiinnostavat erityisesti vihollisen tiedustelua. Myös IFF-omatunnistusjärjestelmien yhteysväli on helposti häiritävissä. Käytyjen esimerkkien perusteella esimerkiksi pienet tykistön avulla levitettävät häirintäantennit ovat ikävä kiusa ilmatorjuntajoukoille.



Kuva Häirintälähetete

Ammuttaessa häirintälähettimeä ilmatorjunnan toiminta-alueelle saadaan yhteysväliä helposti ja huomaamattomasti häirittyä. Kyseistä häirintää pääsee melko helposti karkuun, sillä usein lyhyetkin asemanvaihdot riittävät häirinnän väistöön, koska häirintälähettimien teho on suhteellisen pieni. Kyselijän ja vastaajan välistä yhteyttä voidaan häiritä myös ilmasta käsin. Vastustajan ilmaoperaatioihin kuuluu kiinteästi voimakas taustahäirintä, jota suoritetaan hyökkäyksen suuntaisesti. Tähän kun



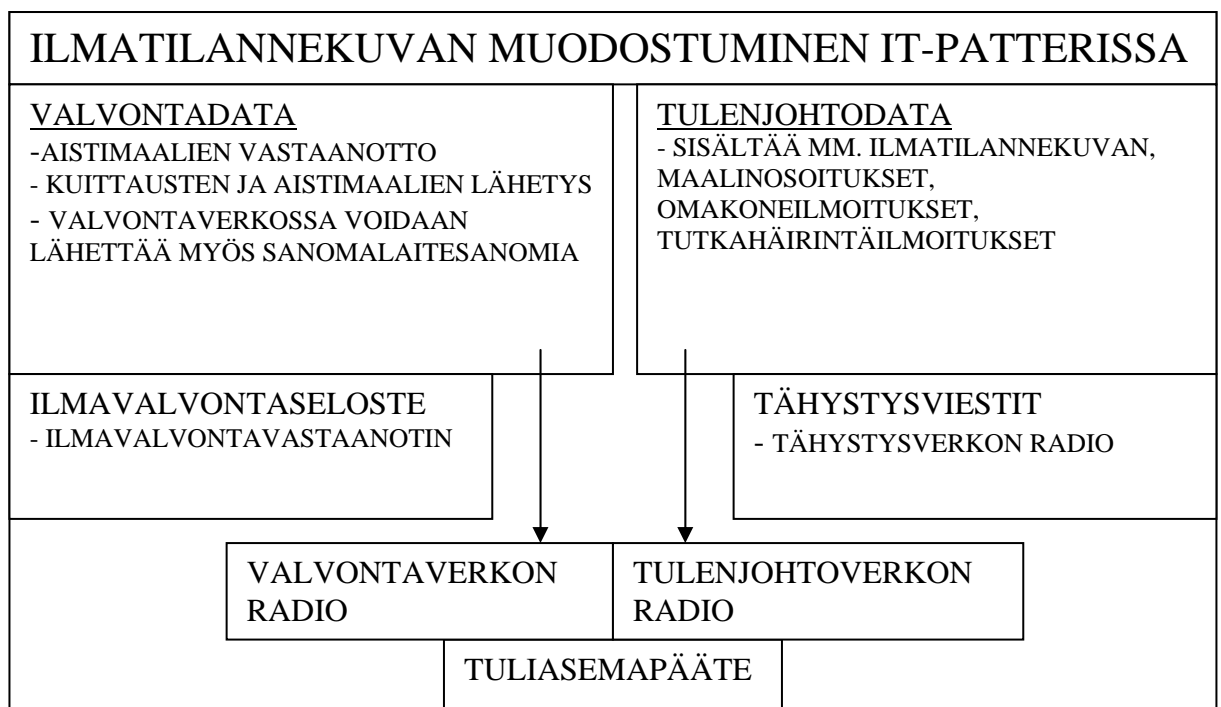
yhdistetään vielä koneiden oma saattohäirintä, saadaan yhteysvälille jo riittävästi häirintää, mikäli koneen etäisyys kyselijään on pitkä. Oman koneen ollessa lähellä esimerkiksi tukikohtaa, ei saattohäirintä riitä yhteysvälin häiritsemiseen. Taistelukentällä olevat lukuisat muut sähkömagneettista spektriä käyttävät järjestelmät ovat myös yhteysväliä häiritseviä tekijöitä. Kohinataso on taistelukentällä olevien lukuisten järjestelmien takia aina korkea, mikä jo lähtökohtaisesti heikentää radiosignaalien välittymistä paikasta toiseen. Tätä ilmiötä vastaan joukon omalla toiminnalla on suuri merkitys ja laitteiden turhan käytön estäminen on tärkeää, jotta turha kohinatason määrä saadaan laskettua alemmas. Taistelukentällä on siis lukuisia eri yksityiskohtia, jotka vaikuttavat järjestelmien välisiin yhteyksiin. Huomattavaa on varsinkin se, että joukko voi tietämättään itse estää järjestelmien kunnollisen toiminnan huonojen laitteiden käsittelytaitojen takia. Voidaankin täten todeta, että elektronisen sodankäynnin merkitys on edelleen liian pienessä roolissa joukkoja koulutettaessa[28].

## **5 Ilmatilannekuvan muodostuminen ilmatorjuntajoukoille**

### **5.1 Yleistä**

Ilmatorjuntajoukot saavat tunnistettua ilmatilannekuvaa lähtökohtaisesti ilmavoimilta. Käytössä olevilla järjestelmillä tunnistetun ilmatilannekuvan luominen käy vaivattomasti ja luotettavasti. IFF-omatunnistusjärjestelmä tukee tunnistamistoimintaa ja toimii useamman tunnistusmenetelmän kanssa rinnakkain. Tällöin mikäli joku järjestelmä ei kykene tunnistamaan taivaalla olevaa kohdetta, voidaan se tunnistaa käyttämällä jotakin toista järjestelmää. Ilmatorjuntajoukoille ilmatilannekuva välitetään normaalisti liittymäpisteen kautta. Ilmatorjuntajoukot liittyvät parikaapelin avulla liittymäpisteeseen, josta joukot saavat tulenjohtodataa, torjuntaselostetta ja ilmavalvontadataa. Ilmatorjuntajoukot voivat vastaavasti lähettää ilmavoimien suuntaan aistimaaleja ja omia tutkatietoja samaa reittiä pitkin takaisinpäin. Tällöin valtakunnallinen ilmatilannekuva täydentyy ja mahdollisesti tunnistamattomaksi jääneet kohteet saadaan tunnistettua tai tutkakatveessa lentäneet koneet havaittua. Ilmavoimilta saatu ilmatilannekuva, omat tutkatiedot, ilmavalvontaseloste, torjuntaseloste ja tähystystiedot muodostavat ilmatorjuntajoukoille ilmatilannekuvan. IFF:n rooli on rauhan aikana merkittävä ja se on yksi luotettavimmista tunnistusmenetelmistä. Pääjohto- ja apujohtokeskukset tietävät myös tarkalleen mitä alueita omat Hornetit ja Hawkit käyttävät. Koneet lentävät tiettyjä alueita

hyväksikäyttäen ja pysyvät omien vastualueidensa sisällä. Lähtökohtaisesti näillä alueilla, mitä koneet lentävät ei ole ilmatorjuntajoukkoja. Aina tulee kuitenkin poikkeustilanteita, kun koneet joutuvat poikkeamaan suunnitellulta reitiltä. Tästä ilmoitetaan aina välittömästi ilmatorjuntajoukoille, mutta tiedon välittyminen viimeisellekin ohjusampujalle riittävän nopeasti on haaste. Näissä tilanteissa ilmatorjunnan ohjusjärjestelmissä itsessään olevat IFF-omatunnistusjärjestelmät voivat useissa tapauksissa pelastaa oman konetta joutumasta oman tulen alle. Ennalta suunnitellut alueet pyritään suunnittelemaan myös siten, ettei torjuntatehtävän aikana alueella ole marssivia osastoja. Marssiosastojen liikkua eivätkä omat koneet lennä matalalla vaan ne nostavat korkeutta, ettei ammusaseiden kantama riitä koneiden vahingoittamiseen. Tämä mahdollistaa taas vihollisen toiminnan kauempaa koneitamme vastaan, koska matalalla lentäessä saavutettu tutkakatveen tuoma etu häviää ja koneet ovat vihollisen ilmatorjuntaohjusten kantaman piirissä[24, 27].



Kuva Ilmatilannekuvan muodostuminen ilmatorjuntapatterissa

### 5.1.1 Ilmatorjunnan viestiyhteydet

Ilmatorjunnan viestiyhteydet muodostuvat seuraavista yhteyksistä: Torjuntaselostedata (Torsel), joka on kuvallista tietoa suoraan maalinosoituskeskukselle. Se on jatkuva kuvaus ilmatilasta, jota johtovastuussa olevat pääjohtokeskus lähettää ilmatorjuntajoukoille.

Ilmavalvontadata (IV-data), joka on ilmatorjunnan maalinsoituskeskusten ilmavoimille lähettämää torjuntaselostetta täydentävää ilmatilannetietoa. Tähän ”paluu”-viestiin lisätään siis ilmatorjunnan omien tutkien ja joukkojen tekemät vihollishavainnot. Välitettävä tieto on salattua ja se avataan ilmavoimien päässä selkokieliseksi dataksi.

Ilmavalvontaseloste (IV-seloste), joka on valtakunnallisesti jaossa ULA-II verkossa kaikille tarvitsijoille. Selosteessa on kuvaus vihollisen ilmatoiminnasta. Seloste voi olla esimerkiksi muotoa: ”Uusi maali, 4C25 suihku kaakkoon, matalalla, 4C25”.

Tähystysviesti, joka on erillisten tähystyspaikkojen puheella VHF-radioilla lähettämiä maalitietoja.

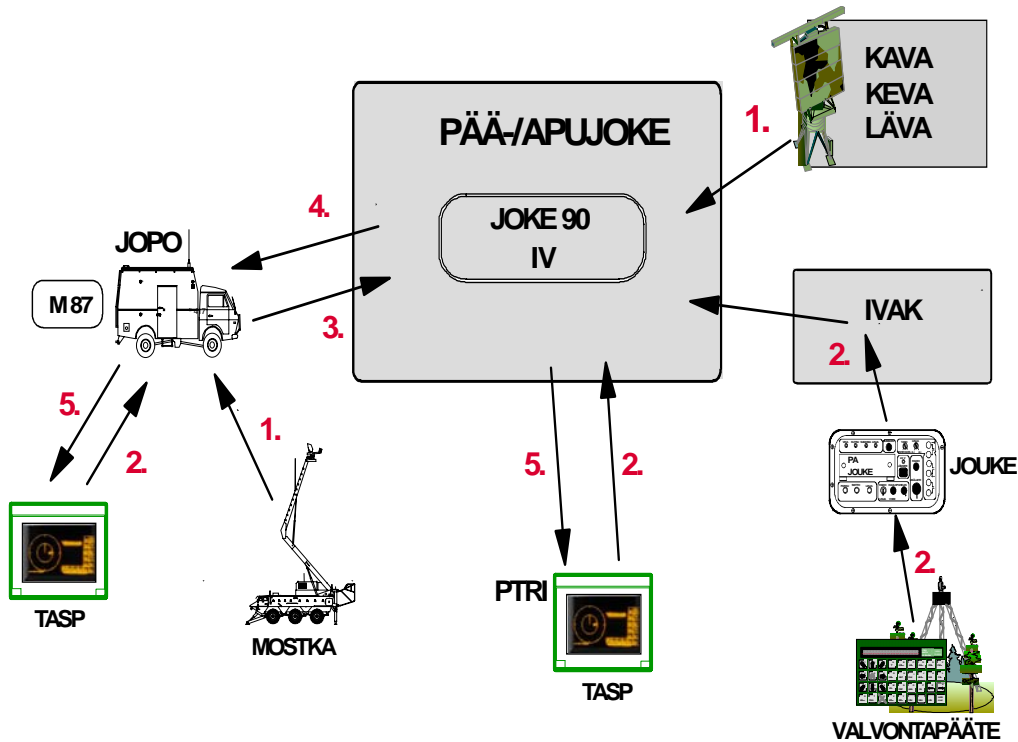
Tulenjohto puheyhteys (TJ-puhe), joka on pää-/apujohtokeskuksen ilmatorjunnan johtoryhmän ja ilmatorjunnan maalinsoituskeskuksen välinen tulenkäytön johtamisyhteys puheella.

Tulenjohtodata (TJ-data), joka on maalinsoituskeskusten, erillisten lähetyspisteiden kautta lähettämä tuliasemapäättesalattu data. TJ-data käsittää torjuntaselosteesta valitut maalit täydennettynä omien sensoreiden tuottamilla maaleilla sekä erilaisia ilmoituksia, erillisten lähetyspistelaitteiden kautta tai suoraan linkeiltä tai tutkalta. Tulenjohtodataa voidaan lähettää myös lähetyspisteryhmien toimesta. Lähetyspisteryhmien toiminnalla saadaan esimerkiksi varmennettua pitkiä yhteysvälejä.

Valvontadata, joka on tuliasemapäätteiltä maalinsoituskeskukselle lähetettävä data. Valvontadata sisältää aistimaaleja ja muita sanomalaiteviestejä[25].

### **5.1.2 Ilmatorjunnan ilmavalvonta- ja tulenkäytön johtamisjärjestelmä**

Ilmatorjunnan ilmavalvonta- ja tulenkäytön johtamisjärjestelmään kuuluvat: 1. tutkaseurannat, 2. aistiseurannat, 3. ilmavalvontadata (aisti-/tutkaseurannat), 4. torjuntaseloste ja 5. tulenjohtodata[25].



Kuva Ilmatorjunnan ilmalvonta- ja tulenkäytön johtamisjärjestelmän osista

## 5.2 Tukikohta-alue

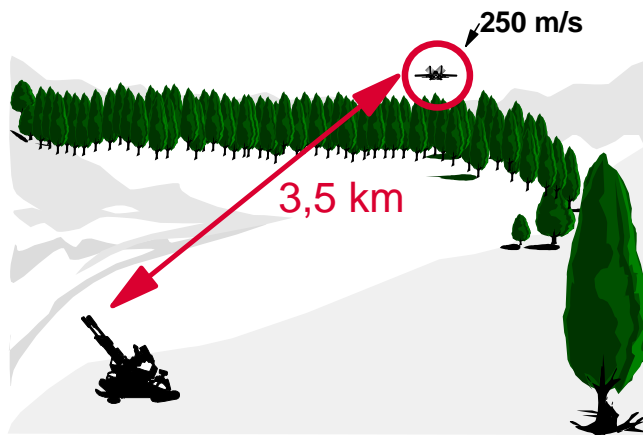
Tukikohta-alueella toimivat ilmatorjuntajoukot ovat etulyöntiasemassa maastossa toimiviin ilmatorjuntajoukkoihin nähden. Tukikohtaan siirtyy johtokeskuksien tuottama ilmatilannekuva, jota ilmatorjuntajoukot saavat helposti käyttöönsä. Tukikohdan alueella on vallitseva ilmatilannekuva paremmin ja varmemmin joukkojen käytettävissä. Ilmatorjuntajoukoilla on tukikohtaan tulenjohtopuhe, tulenjohtodata, valvontadata, keskussanomalaite ja puhelinyhteys. Näitä yhteyksiä apuna käyttäen tukikohdan alueella toimivat ilmatorjuntajoukot saavat omakonetiedot. Ilmatorjuntajoukot tunnistaa maalin tunnistetun ilmatilannekuvan lisäksi lennonjohtajan, ilmatorjuntaohjus 90 järjestelmän turvakäytävän, ilmatorjuntaohjus 90 järjestelmän IFF-laitteen avulla, optisilla maalinosoittimilla/tv-kameroilla tai visuaalisesti tunnistamalla. Tukikohta-alueella toimivat ilmatorjuntajoukot pyritään aina sijoittamaan siten, että kiinteä puhelinyhteys parikaapelein olisi mahdollista toteuttaa. Näin tukikohtaa ympäröivät joukot saadaan helposti hälytettyä ja joukkojen tilannetietoisuus on korkealla tasolla, koska uusimmatkin tilannetiedot saadaan nopeasti joukkojen tietoisuuteen[22,25].

## 5.3 Prikaatin alue

Prikaatin alueella toimivat ilmatorjuntajoukot ovat linkkiyhteyksien ja radioiden armoilla (ei lähtökohtatilanne). Huonossa tilanteessa ilmatorjuntajoukkojen läheisyydessä ei ole ainuttakaan liittymäpistettä, joka mahdollistaisi samat yhteydet ilmavoimien suuntaan kuin tukikohta-alueella. Tällaisissa tilanteissa yhteydet toteutetaan siten, että toinen ilmatorjuntapatteriston linkeistä siirtyy lähimmälle liittymäpisteelle ja liittyy liittymäpisteeseen. Tämän jälkeen synnytetään linkkijänne toiselle linkille, joka toimii patteriston johtoportaan alueella. Johtoportaan päässä oleva linkki jakaa linkkijänteen välityksellä siirtyvät tiedot eteenpäin patteriston ilmatorjuntajoukoille. Maastossa olevat ilmatorjuntajoukot toimivat pääsääntöisesti näin. Yhteydet voi tarvittaessa toteuttaa myös muillakin tavoilla. IFF:n rooli kasvaa huomattavasti prikaatin alueella toimivien joukkojen osalta. Tukikohta-alueella toimiviin ilmatorjuntajoukkoihin verrattuna ”maastossa” toimivilla joukoilla ei ole yhtä hyvää tietoutta vallitsevasta ilmatilanteesta. Jo rauhan aikana on mahdotonta tietää, koska viimeinenkin mies tietää, että alueelle on tulossa oma lentokone. On oletettavaa, että tiedon siirtyminen viimeisellekin sotilalle vie noin vuorokauden aikaa. Tässä vaiheessa toimintaa nopeuttaa huomattavasti se, että jatkossa ilmatorjunnalla on omissa järjestelmissään IFF-kyselijöitä. Tällöin riskit pienenevät huomattavasti sille, että omia koneita ammuttaisiin alas. Prikaatin alueella toimittaessa on lähtökohtaisesti otettava huomioon se, ettei prikaatin alueelle yleensä suunnitella omia lentoreittejä. Pääperiaate on juuri se, että prikaatin joukot pyritään kiertämään, koska on todennäköistä, että kaikki taistelijat eivät tiedä alueelle saapuvista omista koneista[25].

#### **5.4 Harjoitustilanne**

Tässä kappaleessa pyritään esimerkkitalanteen pohjalta selvittämään, mitä etuja ja haittoja IFF-omatunnistusjärjestelmästä ilmatorjuntajoukoille on. Tilanteessa joukkoja lähestyy rynnäkkökone, joka on menossa lamauttamaan lähellä ilmatorjuntapatterin asemia olevaa kenttätykistöä. Rynnäkkökoneella on nopeutta 250 m/s.



Kuva esimerkkutilanne ilmatorjunnalle

### Tykkipatteri

Vihollisen rynnäköhävittäjä rynnäköi kenttätykistöä vastaan. Mikäli tilanne tulee suojaavalle ilmatorjunnalle yllätyksenä, on johtajilla aikaa hälyttää miehistö, kääntää putket ja tähdätä konetta. Tähän kaikkeen joukolla kuluu noin 5 sekuntia. Tällöin kone ehtii lähestyä 3500 metristä 2200 metriin. Aikaa tulittamiselle jää maksimissaan 5 sekuntia, jolloin koneen etäisyys muuttuu 2200 metristä 1000 metriin. Kaikkiaan aikaa kuluu siis 10 sekuntia.

Vastaavasti jos joukko on saanut ennakkovaroituksen, niin miehistö on hälytetty ja putket suunnattu koneen tulosuuntaan. Tässä tilanteessa ensimmäiset viisi sekuntia joukko voi käyttää tähtäämiseen ja tulenaloitus voidaan suorittaa patteri tai jaoskohtaisesti koneen tullessa näkyviin.

### Ohjuspatteri

Tilanteessa kone lähestyy ohjusampujaa suoraan. Mikäli ennakkovaroitusta ei ole ampujalla tiedossa, menee ampujan valmistautumiseen ja järjestelmän laukaisuvalmiuteen saattamisessa niin kauan, ettei kohteeseen ehditä vaikuttamaan ollenkaan. Ampuja kykenee ampumaan järjestelmällä vasta, kun kohde on näkyvissä, sillä järjestelmällä ammuttaessa maalin tulee olla näkyvillä ohjuksen osumiseen kohteeseensa.

Ampujan tietäessä, että kone on tulossa tietystä suunnasta voi hän asettaa järjestelmälle oikeat arvot ampumista varten ja aloittaa tähtäämisen oletettuun tulosuuntaan. Aikaa on käytettävissä sitä enemmän tehdäänkö päätös ampua

lähenevää vai loittonevaa kohdetta. Toisaalta jos tehdään päätös ampua loittonevaa maalia, on kone saattanut jo toimia suojattavaa kohdetta vastaan.

IFF-omatunnistusjärjestelmän avulla vihollisen saapuminen ilmatorjunnan vaikutuspiiriin ilman ennakkovaroitusta pienenee. Rynnäkkökoneen kohteena ollessa kenttätykistö tarkoittaa se sitä, että alueella on ainakin ilmatorjuntapatteri tai ilmatorjuntapattereita. Läheisyydestä löytyy myös jääkäripataljoonan osia valmistautumassa hyökkäykseen. Kenttätykistön alueella toimii ilmatorjuntapattereista tykkiyksikkö ja jääkäripataljoonan alueella toimii ohjuspatteri. IFF:n avulla kaikki alueella olevat joukot saadaan paremmin hälytettyä. Ohjuspatterin yksiköt saavat jalkaväkimiehet hälytettyä ja tykkipatterin yksiköt saavat tiedon välitettyä kenttätykistölle. Ilmatorjuntajoukot ja samalla kaikki samaan viestiverkkoon liittyneet yksiköt saavat ennakkovaroituksen. Mahdollisuuksia tiedon välittämiseen on esimerkiksi rakennetut parikaapeliyhteydet tai sanomalaitesanomaa. Kun joukot ovat ryhmittyneet puolustukseen ja viestiyhteydet ovat kunnossa, voidaan todeta, että omien koneiden on tällaisessa tilanteessa turvallisempaa lentää alueen yli. IFF-omatunnistusjärjestelmän avulla joukot ovat nopeammin tietoisia saapuvasta omasta koneesta. Ilmatorjuntajoukot ja samalla muutkin alueella toimivat joukot hyötyvät IFF-järjestelmästä. Järjestelmästä saatava hyöty korostuu varsinkin prikaatin alueella toimittaessa. Tukikohtaympäristöön verrattuna vallitsevan ilmatilannekuvan oikeellisuus olisi huomattavasti huonompi prikaatin alueella toimiville joukoille, ilman IFF:n tuomaa lisää ilmatilannekuvaan.

## **6. Hyötykäyttö ilmatorjunnan järjestelmien kanssa**

### **6.1 Tuliasemapäätte 06**

Ilmatorjuntajoukot saavat kattavan ilmatilannekuvan tuliasemapäätteidensä avulla. Tulenjohtodataa vastaanottavalla päätteellä näkyy kaikki maalit, jotka ovat sillä hetkellä ilmatilannekuvassa. Kuvaa täydennetään joukkojen lähettämällä aistimaaleilla ja joukkojen omilla maalinosoitustutkilla. Nämä lisätyt maalit lähetetään ilmavoimien ilmatilannekuvaan, jolloin koko valtakunnan ilmatilannekuva päivittyy. Nykyään joukoilla on käytössä tuliasemapäätte mallia 87. Korvaava päätte on valmisteilla, mutta ongelmat riittävän hyvän ja käytännöllisen päätelaitteen löytämiseksi hidastavat laitteen siirtymistä joukkojen käyttöön. Käsin kosketeltava laitteisto on tarkoitus säilyttää myös uudessa versiossa. Uusia ominaisuuksia ovat mm. karttanäyttö,

mahdollisuus tehdä analyysjä mm. uusien asemien katvetiedoista. Yksikölle tulee myös mahdollisuus lähettää esim. kalusto-, tulialue- ja a-tarviketietoja siten, että ne esitetään ilman erillisiä huoltotilanneilmoituksia tai katvetiedustelulomakkeita koostena taistelunjohtokeskuksen näytöllä. Suurin järjestelmän tuoma muutos on ilmatilannekuvan saaminen myös vaikeissakin olosuhteissa. Tärkeimpänä yksityiskohtana on omakonetietojen välittyminen ampuville tuliyksiköille.

Toimiessaan laite mahdollistaa samaan tyyliin ilmatilannekuvan seuraamisen ilmatorjuntajoukoille ja samalla sen avulla saadaan ennakkovaroitus vihollisen koneista ja omakoneilmoitukset. Ominaisuudet eivät poikkea juurikaan edeltäjästään. Hyöty uudella laitteella toimissa on lähinnä sen liikuteltavuudessa ja ohjelmiston monipuolisuudessa.

IFF-omasuojajärjestelmän tiedot ovat tulevaisuudessa mahdollista saada nopeasti joukkojen tietoisuuteen, koska ilmatorjunnan omat IFF-laitteet ItO 90, ItO 2005 ja Mostka 87 järjestelmät voivat siirtää tiedot ilmatorjunnan oman viestiverkon välityksellä tuliasemapäätte 06:een.

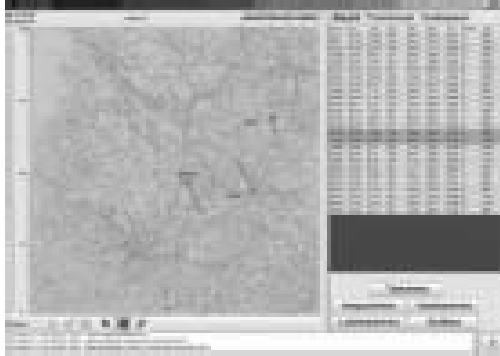
Tuliasemapäätte 06 ei keskustele vanhan tuliasemapäätte 87:n kanssa. Uudessa versiossa tieto kulkee salattuna ja vanha malli ei tätä salattua tietoa ymmärrä. Tieto saadaan vanhalle päätteelle purkamalla salaus modifioinnilla. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että uudelta päätteeltä lähtevä tieto pitää muuttaa ennen lähettämistä sen muotoiseksi, että vanha päätte ymmärtää lähetetyn tiedon.

Asejärjestelmäliityntä on mahdollista olemassa olevaan tai uuteen asejärjestelmään. Tieto voidaan välittää maa-, ajoneuvo- tai meri tuliasemapäätteellä. Tämä liityntä on myös tuliasemapäätte 87 yhteensopiva. Tiedonsiirto perustuu Link-22 tiedonsiirtoteknologiaan.

Ongelmaksi muodostuu jälleen se, että IFF-omasuojajärjestelmän tiedot ovat kyllä rauhan aikana käytössä, mutta heti harmaan vaiheen astuessa voimaan ei lentokoneissa enää pidetä järjestelmää päällä, mikä aiheuttaa sen, että ilmatorjuntajoukot eivät enää omin keinoin saa omakonetunnistuksia. Tällöin tieto tulee ilmavoimien yleisestä ilmatilannekuvasta ja sen tarkkuuteen ei voi luottaa sotatilan jatkuessa pidempään. Ilmavoimien sensorit ovat vihollisen hyökkäysoperaatioiden ensimmäisiä kohteita. Tutkien tuhouduttua ilmavoimien



tilannekuva heikentyy merkittävästi ja samalla ilmatorjunnan tutkien käyttö korostuu. Omakonetiedot on tosin mahdotonta saada ilmatorjunnan tietoisuuteen, mikäli yhteydet ilmavoimien pääjohtokeskukseen eivät ilmatorjuntajoukoista toimi. Sieltä käsin saadaan tieto ilmaan nousevista Horneteista ja Hawkeista[33].



**TASP m/06 ohjelmisto toimii esimerkiksi kaupun hyllyltä otetussa kannettavassa tietokoneessa.**

## 6.2 Maalinosoitustutka 87

Ilmatorjuntajoukot käyttävät maalinosoitustutkia yleisen ilmatilannekuvan täydentämiseen ja omien asejärjestelmien käyttöön liittyen. Maalinosoitustutkilla muodostetaan myös ilmatorjunnan paikallinen ilmatilannekuva, joka palvelee nimenomaan ilmatorjunnan omia asejärjestelmiä. Tutkat käynnistyvät siinä vaiheessa, kun hyökkäävät osastot lähestyvät joukkoja ja koneista tarvitaan tarkat paikkatiedot. Tutkilla saadaan myös paremmin matalalla lentävät koneet ilmatilannekuvaan, koska ilmavoimien suuremmat tutkat eivät havaitse matalalla lentäviä koneita. Käyttö lisääntyy myös siinä vaiheessa, kun ilmavoimien sensorit ovat tuhoutuneet. Nykyään käytössä olevassa maalinosoitustutkassa ei ole IFF-kyselijää, mutta järjestelmästä on tulossa modifioitu versio, joka sisältää IFF-kyselijän. Tutka voi lähettää saamansa omakonetiedot eteenpäin joko kaapelin tai radion välityksellä. Tämä ominaisuus palvelee erinomaisesti ilmatorjuntajoukkoja. Suurin hyöty muodostuu hyökkäävien prikaatien alueella toimiville ilmatorjuntajoukoille, jotka eivät ole mahdollisesti liittymäpisteiden lähetyvillä. Tutkat toimivat ilmatorjuntapatteristojen alueella ja jakavat tietoja ampuville yksiköille. Patteriston esikunnan johdettavana on uusissa organisaatioissa kaksi maalinosoitustutkaa. Tämä mahdollistaa siirtojen suorittamisen siten, että toinen tutkista mittaa ja samalla käyttää IFF-järjestelmää, jonka avulla siirron aikana saadaan ennakkovaroitus ja omakoneilmoitukset lähetettyä radion avulla siirtyville

joukoille. Ilmatorjuntajoukkojen suurin ongelma on juuri se, että tieto omista koneista jää usein puuttumaan ja visuaalisesti tapahtuva tunnistaminen tapahtuu usein vasta siinä vaiheessa, kun kohde on aivan joukkojen yläpuolella. Tässä vaiheessa asejärjestelmien käyttö on usein liian myöhäistä. Mikäli konetta ei saada tunnistettua riittävän ajoissa ja ampuvalla yksiköllä on tulenaloituslupa, on erittäin suuri riski sille, että ammuttava kohde on joko Hornet tai Hawk[30].



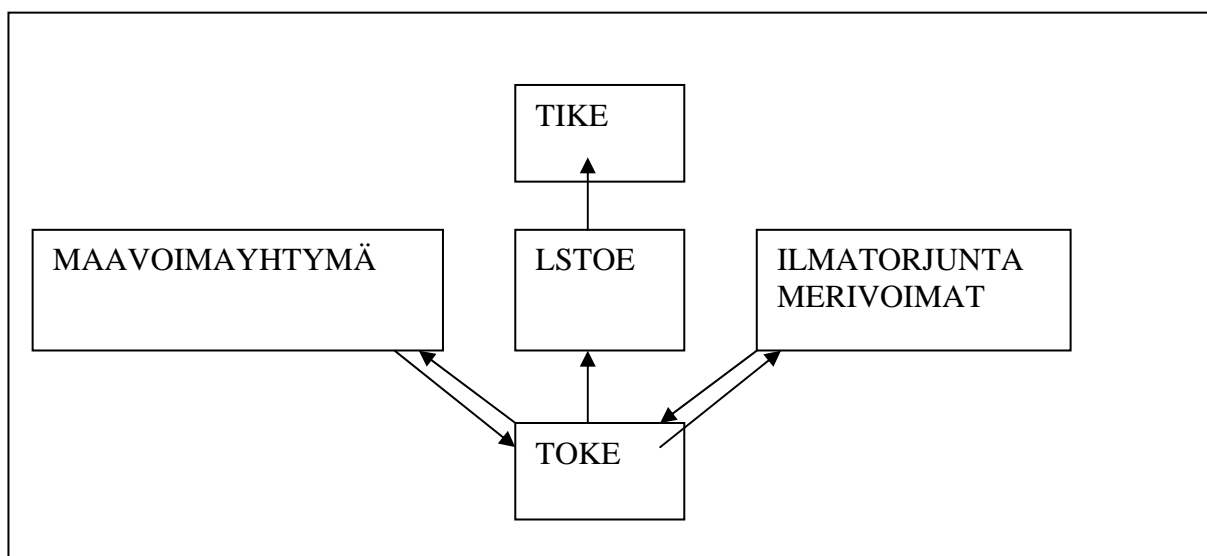
Kuva Maalinosoitustutka 87 (Mostka 87)

### 6.3 ITTH

Ilmapuolustuksen tulenkäytön johtamisen tilanne ja hallinta on kokonaisuus, jonka avulla tulevaisuudessa ilmatorjunnan tulenkäytön johtaminen toteutetaan. Toimipaikka on iso kokonaisuus, työasema yksittäinen osa, joka on jaettu eri rooleihin. Järjestelmän avulla muodostetaan alueellinen ilmatilannekuva (AITK = alueellinen ilmatilannekuva tai TIKU = tilannekuva). Toimipaikkoina toimivat tutkat, suunnittelukeskus ja taistelunjohtokeskus. Tulevaisuudessa on käytännössä mahdollista, että ilmatorjuntajoukot johtavat koneiden taisteluita omista ITTH-konteistaan. Tämä on tosin aika epätodennäköistä, että kontista käsin jouduttaisiin Hornet-parven taistelua johtamaan, mutta tulevaisuudessa myös siihen on valmius. Paikallista ilmatilannekuvaa muodostetaan maalinosoitustutkillla, joukkojen aistimaaleilla ja käsiseurannoilla. Tällä paikallisella ilmatilannekuvalla täydennetään

myös valtakunnallista ilmatilannekuvaa. Tuliasemapäätteiden ja ITTH:n välinen kommunikointi ei vielä onnistu, koska koodaus ei ole tällä hetkellä riittävän turvallinen. Tällä järjestelmällä ilmatorjuntajoukot voivat käsitellä omien sensoriensa lisäksi myös yleistä ilmatilannekuvaa. IFF-omasuojajärjestelmien tieto saadaan jaettua joukoille, jotka ovat liittyneet ITTH-maailmaan. Mikäli kaapeliyhteydet yksiköihin eivät toimi on mahdollista jakaa tieto radion välityksellä joukoille. Nämä yksittäiset toimipaikat sijoitetaan yleensä liittymäpisteille tai niiden läheisyyteen, jotta yhteydet voidaan toteuttaa runkokaapelointia hyödyntäen. Tällöin tiedonsiirto on varmintä ja helposti häiritsevät radioyhteydet voidaan pitää varamenetelmänä[26].

#### 6.4 Tulevaisuuden johtamisympäristö



Kuva Tulevaisuuden johtamisympäristö

Tulevaisuutta Suomenkin puolustusvoimien osalta on myös uudenlaiseen johtamisympäristöön siirtyminen. NATO-jäsenyyden aika on mahdollisesti tulevaisuutta, joka tuo samalla erilaisia vaatimuksia puolustusvoimien johtamisympäristölle. Yllä näkyvä organisaatio on huomattavan lähellä vastaavaa organisaatiota, jota NATO-maat käyttävät. Tässä johtamisympäristössä toiminnan sydän on torjuntakeskuksessa, joka johtaa ilmapuolustusta. Torjuntakeskuksessa tilanneryhmä toimii ITTH:lla, jolla on yhteys tukikohtaan. Torjuntakeskus pitää tilannetietoa yllä keräämällä tiedot tukikohtien tilanteista. Ilmatorjunnan taistelunjohtajilla on torjuntakeskuksesta yhteys ilmatorjuntajoukkoihin. Kohteiden tunnistaminen tapahtuu samalla tavalla kuin tälläkin hetkellä, eli ilmavoimien tehtävänä on tunnistetun ilmatilannekuvan jakaminen tarvitsijoille ja nimenomaan ilmatorjuntajoukoille. Torjuntakeskuksessa toimii sota-aikana rauhanajan

organisaation lisäksi tunnistajia, jotka auttavat taistelunjohtajia tunnistetun ilmatilannekuvan muodostamisessa. Uudessa johtamisympäristössä ilmatorjunnan IFF-omatunnistusjärjestelmillä on kasvava merkitys tunnistetun ilmatilannekuvan muodostamisessa. Omatunnistusjärjestelmiä on jakaantunut ympäri valtakuntaa, mikä helpottaa tunnistamattomien kohteiden tunnistamisessa. Ilmatorjuntajoukkojen lisäksi myös merivoimilla on omat IFF-sensorinsa. Torjuntakeskuksessa johdossa olevalla upseerilla on tämän johdosta varmasti ajan tasalla oleva tilannetieto. Ilmapuolustuksen johtaminen tehostuu tulevaisuudessa huomattavasti, koska torjuntakeskuksen johtajalla on suorat yhteydet kaikkiin puolustushaaroihin.[21,24]

### **6.5 Yhdysvaltalainen A2C2-ilmapuolustuksen johtamisympäristö**

Kyseinen malli on käytössä myös NATO-maissa ja on osa länsimaista päätöksentekoprosessia. Järjestelmä on kokonaisuus eri aselajien ja puolustushaarojen sensoreita, joiden informaatio on komentajien käytettävissä. Komentajat käyttävät sensoreilta saatavaa tietoa osana päätöksentekoprosessia, joka mahdollistaa nopean reagoinnin taistelukentällä tapahtuviin muutoksiin. Kokonaisuuteen kuuluu kaksi eri organisaatiota, toinen hoitaa reaaliaikaisen johtamisen sensoreiden avulla (Positive Control) ja toinen annettujen käskyjen pohjalta johtamisen (Procedural Control).

Tärkein osa A2C2- päätöksentekoprosessia on ilmatilan valvonnassa. Ilmatilan valvonta ja samalla sen hallinta mahdollistavat operaatioiden tehokkaan toteuttamisen. Järjestelmät, jotka ovat liittyneet ilmatilannekuvan muodostamisprosessiin voivat käyttää sensoreiden kuvaa hyödykseen omissa operaatioissaan. Kaikkien tietäessä omien ilmavoimien liikkeistä, voidaan muiden aselajien suunnitella siten, että kokonaisuuden kannalta saadaan suurin mahdollinen tehokkuus operaatioista tiettyinä ajankohtina irti. Joukoille jaettava tilannekuva voidaan toteuttaa siis kahdella eri tavalla. Positive Control-menetelmä toteutetaan pelkästään elektronisin sensorein. Sen toiminta pohjautuu positiiviseen tunnistustoimintaan, tutkaseurantoihin ja taivaalla liikkeellä oleviin koneisiin. Kuvaa ylläpidetään tutkavalvonnalla, jatkuvalla koneiden seurannalla, IFF-omatunnistusjärjestelmillä ja sekundäärisillä tunnistusmenetelmillä (SIF-selective identification feature) ja muilla monitoreilla ja sensoreilla. Procedural Control on menetelmä joka perustuu annettuihin käskyihin, sovittuihin toimintatapoihin ja sääntöihin. Menetelmässä ei käytetä hyväksi elektronisia apuvälineitä. Tämä

menetelmä tukee Positive Control-menetelmää ja sitä voidaan käyttää sellaisissa tilanteissa, kun elektronisten järjestelmien antama kuva vaikuttaa virheelliseltä tai muuten arvelluttavalta. Tällaisissa tilanteissa voidaan taivaalla lentävä kone tunnistaa muilla tavoilla, esimerkiksi siten, että kone lentää tunnistuspisteen kautta. Näin ollen voidaan yleiseen tilannekuvaan jälleen lähettää tieto omasta koneesta, jota ei kyetty elektronisin laittein tunnistamaan. Näiden kahden menetelmän käyttö samanaikaisesti on varmempaa ja tehokkaampaa kuin vain toisen menetelmän käyttö yksinään. Henkilöllä, joka vastaa ilmatilassa olevasta liikenteestä ja ilmatilan johtamisesta, tulee olla mahdollisuus tunnistaa ja löytää taivaalla lentävät kohteet sekä jatkuva yhteys henkilöihin, jotka käyttävät ilmatilaa. Ilman näitä perusasioita ilmatilan johtaminen on mahdotonta.

Lähtökohtatilanteessa ilmatilan käytöstä vastaava upseeri (taistelunjohtaja Suomessa) tietää mitä taivaalla lentää ja minne ne ovat lentämässä. Lisäksi upseerilla on käytössään eri sensoreiden tuottama ilmatilannekuva, jonka avulla hän voi johtaa ilmassa käytäviä taisteluja. Toimittaessa suuremmassa kokonaisuudessa tämä sama upseeri saa käyttöönsä myös maalla ja merellä olevan tilannekuvan, jonka avulla hän voi johtaa koneitaan paremmin ja turvallisemmin. Tietäessään missä on oma marssirivistö tai omia aluksia merellä ei näitä alueita kannata lähtökohtaisesti käyttää, jotta omien koneiden alas ampumien voidaan omien toimesta estää. Tietäessään paremmin ja reaaliaikaisesti eri puolustushaarojen joukkojen sijainnista ja tekemisestä on oman tehtävän toteuttaminen huomattavasti helpompaa. Ongelmatilanteessa, jossa elektroniset järjestelmät eivät toimi tai eivät muodosta luotettavaa ilmatilannekuvaa tai muihin puolustushaaroihin ei saada yhteyttä voidaan ottaa toinen johtamis- ja yhteydenpitomalli käyttöön ja toimintaa kyetään jatkamaan luotettavasti. Tämä on varmasti toimiva esimerkki tulevaisuuden johtamisympäristöstä, joka tulee Suomenkin oloissa vallitsemaan. Länsimaiset esimerkit ohjaavat muutenkin suomalaisten tulevaisuudensuunnitelmia, koska länsimaiset vaihtoehdot ovat yleisesti ottaen myös NATO-yhteensopivia vaihtoehtoja[10,14].

## **7. IFF:n tulevaisuus**

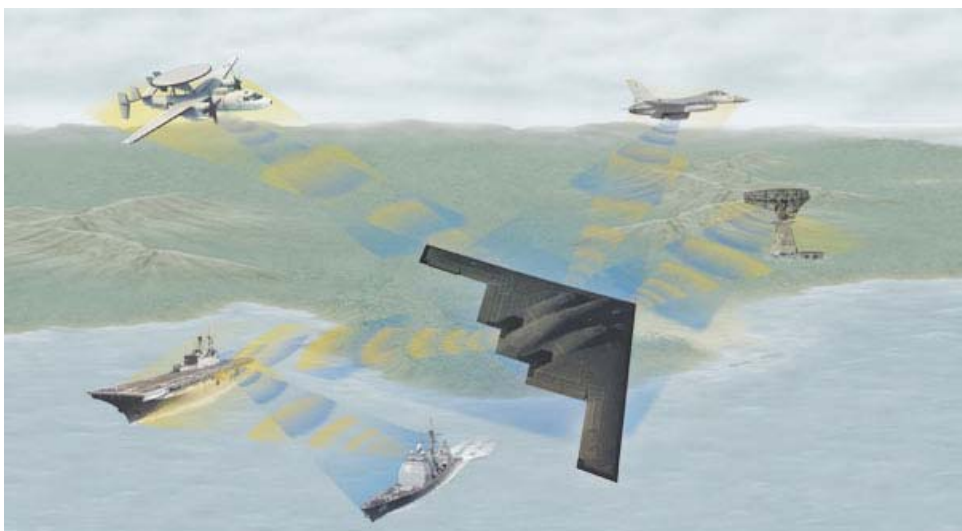
Maailmalla on otettu käyttöön ensimmäisiä moodi 5:n IFF-järjestelmiä. Toisesta maailmansodasta lähtien käytössä ollut IFF-järjestelmä on sisältänyt aina kyselijän ja vastaajan. Tämä ominaisuus ei poistu uuden moodin myötä. Uudella moodi 5:n

järjestelmällä tullaan korvaamaan vanhemmat, heikommat ominaisuudet omaavat järjestelmät. Moodi 5 on luotettavampi, siinä on käytetty parempia algoritmeja, avaimisto on laajempi, toimintamahdollisuudet muiden järjestelmien kanssa ovat laajemmat ja järjestelmää on helpompi tukea.

Tulevaisuudessa IFF-omatunnistusjärjestelmät ovat vain yksi osa suurempaa kokonaisuutta. Tulevaisuuden digitaalinen taistelukenttä pitää sisällään monia muitakin tunnistusjärjestelmiä ja sensoreita, joiden joukkoon esimerkiksi ilmatorjunnan IFF-omatunnistusjärjestelmät sulautuvat. Tulevaisuudessa ollaan menossa yhä enemmän ja enemmän siihen suuntaan, että jokainen taistelukentällä liikkuva objekti on tunnistettavissa omaksi tai viholliseksi. Haasteita tähän tilanteeseen pääsy aiheuttaa lukuisia. Eri taajuusalueita käyttää yhä useampi ja useampi järjestelmä, joka saattaa hieman suuremmalla alueella toimittaessa aiheuttaa sen, että yksittäiset järjestelmät häiritsevät toisiaan tai sen, että yksittäistä taistelijaa tai ajoneuvoa on mahdotonta tunnistaa lukuisista muista järjestelmään saapuvista tiedoista. Häirintää voidaan toteuttaa myös häirintälähtettimin, joka mahdollistaa helposti pienellä alueella sen, että joukkoja ei kyetä elektronisesti tunnistamaan. Tällöin joukkojen tunnistamiseen on käytettävä jotain muuta tunnistusmenetelmää tai vakioitua toimintatapaa, jotta omia tappioita ei taistelukentällä syntyisi.

Järjestelmän käyttäessä hyväkseen sähkömagneettisen spektrin taajuusalueita on se aina alttiina häirinnälle ja sen myötä se on myös haavoittuva laite. Monin eri tavoin kyetään sen luotettavuuteen vaikuttamaan ja samalla vaikeuttamaan joukkojen toimintaa, joka kyseistä laitetta käyttää. Tulevaisuuden tuodessa yhä varmemmin ja vaikeammin häiritäviä IFF-omatunnistusjärjestelmiä markkinoille olisi tärkeää saada myös sellainen järjestelmä, jonka käyttö sotatilassa olisi turvallista ja hyödyllistä vain omille joukoille. Sotatilassa lentäjät eivät pidä järjestelmää päällä ja näin ollen omatunnistetietoa ei saada ilmassa olevista koneista. Tulevissa modifioinneissa olisi tärkeää ottaa huomioon se, miten koneista lähetettävä vastauskoodi menee pelkästään omille tarvitsijoille, eikä vihollisen tiedustelun tai asejärjestelmien sensoreille. IFF-omatunnistusjärjestelmän käytettävyyttä lisää huomattavasti se, että sen käyttö on mahdollista ja turvallista myös sotatilassa. Rauhanajan ja harmaan vaiheen toiminnassa järjestelmä tukee erinomaisesti ilmatilannekuvan luomisprosessia[9,11,13,18].

Omatunnistetietojen kokoaminen yhdeksi tilannekuvaksi on myös tulevaisuuden näkymiä, joka vaatii vastaavasti joustavuutta sekä henkilöstöltä, että puolustusbudjetilta. Kaikkien eri puolustushaarojen synkronoiminen samaan verkkoon vaatii paljon kärsivällisyyttä ja laitteiden uusimista. Suuremmilla valtioilla tähän on jo hyvät edellytykset, mutta pienemmät valtiot jäävät helposti jalkoihin suunniteltaessa tällaisia kokonaisuuksia. Henkilöstö on myös hyvin jyrkästi normaalisti uudistuksia vastaan ja omien tehtävien jakaminen muiden tehtäviksi voi olla monelle kova paikka. Tästä esimerkkinä se, että tulevaisuudessa Hornet-parvea on mahdollista johtaa ilmatorjuntajoukkojen toimesta, mikä voi olla monelle ilmavoimien taistelunjohtajalle kova tilanne. Suomen kannalta uudenlaiseen johtamisympäristöön siirtyminen tarkoittaa samalla, että Suomi ottaa askeleen lähemmäksi NATO-yhteensopivuutta. Nykyisin käytössä oleva johtamismalli ei ole niin sanotusti NATO-yhteensopiva, mutta tulevaisuuden uusi johtamisympäristö mahdollistaisi myös NATO-yhteensopivuuden.



Kuva Tulevaisuuden tunnistussensoreita

## 8. Johtopäätökset

Nykyajan taistelukentän muokkautuessa yhä enemmän ja enemmän digitaaliseen suuntaan on käytössä oleville järjestelmille asetettava kovat suoritusvaatimukset. Tilannekuvaa muodostettaessa on kerättävä todella monista eri sensoreista tietoja ja koottava ne edelleen yhdeksi tilannetiedoksi. Eri aselajien järjestelmät kykenevät yhä paremmin kommunikoimaan keskenään ja aselajien ja puolustushaarojen välinen tietojen siirto on nopeampaa ja varmempaa. Vaikka nopeus ja varmuus ovat kasvaneet suuresti, myös vaatimukset järjestelmien käyttäjien osalta ovat

kasvaneet. Kokonaisuuden hallintaan pitää ymmärtää eri aselajien ja puolustushaarojen käytössä olevien laitteiden ominaisuuksia ja erityispiirteitä, jotta vikatilanteissa ja esimerkiksi häiriytissä olosuhteissa olennaisin tieto saadaan järjestelmistä kaivettua esiin. Kokonaisuus ei ole enää sitä, että ilmatorjunnan muodostaessa omaa tilannekuvaansa, se on käytännössä tapahtunut tähän mennessä yhteistoiminnassa ilmavoimien kanssa. Tärkeimpinä asioina ovat olleet viholliskoneista saatavat maalinosoitukset ja ennakkovaroitukset. Pintavihollistiedot ovat vaihdettu muiden alueella toimivien joukkojen kanssa ja niiltä saadaan myös välillinen suoja pintavihollista vastaan, jotta ilmatorjuntatehtävät saadaan paremmin hoidettua. Ilmatilannekuvaa tullaan jatkossa täydentämään niin merivoimien, ilmavoimien kuin maavoimienkin osalta. Kaikki kolme puolustushaaraa kokoavat omilla sensoreillaan vihollistiedot ja lähettävät ne eteenpäin tarvitsijoille, jotka tulevaisuudessa ovat samassa verkossa. Näin ollen päästään siihen lopputulokseen, että esimerkiksi ilmatorjuntajoukoilla käytössä olevat IFF-omatunnistusjärjestelmät ovat merkittävässä osassa tulevaisuuden tilannekuvaa muodostettaessa. Jokaiselta puolustushaaralta löytyy järjestelmiä joilla voidaan toimia ilmahollista vastaan ja näin ollen on tärkeää, että ilmatorjunnan järjestelmillä kerätty tieto on kaikkien tarvitsijoiden käytettävissä. Tulevaisuuden verkko puolustushaarojen välillä on huomattavasti haavoittuvaisempi kuin jokaisen puolustushaaran oma, hieman pienempi verkko. Järjestelmien käyttäessä sähkömagneettisen spektrin alueita on niitä aina mahdollisuus häiritä. Jo pelkästään ilmatorjunnan omia IFF-omatunnistusjärjestelmiä voidaan häiritä monin eri tavoin, joita osaa on työssä käsitelty hieman tarkemmin. Edelleenkin pätee se vanha tosiseikka, että se hyötysignaalin on oltava voimakkaampi vastaanottavassa sensorissa kuin häirtäsignaalin, jotta tiedon välittäminen on mahdollista toimittaessa radiolähetyksin. Häiritynä joukot eivät saa oikeaa tietoa vihollisesta, mikä hankaloittaa joukoille annettujen tehtävien toteuttamista. Huomattavaa on kuitenkin se, että toimiessaan verkko tukee varsinkin niitä joukkoja, jotka eivät omilta sensoreiltaan saa tietoja, mutta voivat tiedon saada muiden joukkojen sensoreilta, ollessaan yleisessä verkossa kiinni, jotta valtakunnallisesti jaossa oleva tilannekuva on myös tällä joukolla käytössä. Nyt on siis todettu, että tulevaisuuden verkko on hankala hallita ja se vaatii käyttäjiltään huomattavan paljon enemmän kuin ennen. Tämän seurauksena on huomattava se tosiseikka, että koulutuksen tulee olla riittävän kattava ja kestoaltaan riittävän pitkä, että järjestelmien käyttäjät osaavat niitä riittävän hyvin käyttää. Puolen vuoden aikana tuskin päästään sellaisiin tuloksiin, että käyttäjäpuoli on riittävän ammattitaitoista, jotta järjestelmistä saadaan täysi hyöty irti.



Nähtäväksi jää, kuinka kaikkien puolustushaarojen välinen kommunikointi saadaan käytännön tasolla toteutettua. Sensoreiden täyttäessä taistelukentän on entistä vaikeampaa saada olennaisin tieto kerättyä sensoreilta. Mentäessä koko ajan siihen suuntaan, että kaikki yksittäiset kohteet taistelukentältä ovat tunnistettavissa, kerättävä tiedon määrä kasvaa niin suureksi, että analysointivaiheessa eri tietolähteistä on tullut niin paljon erilaista tietoa, että yhden kootun tilannekuvan muodostaminen on hidasta ja sen oikeellisuutta on vaikea todentaa. Tällaiset tavoitteet ovat enemmänkin suurempien valtioiden tavoitteita, joilla pyritään koko taistelukentän kattavaan tilannetietoisuuteen. Pienemmillä valtioilla ei juurikaan ole resursseja ja taloudellisia edellytyksiä moisen verkon kasaamiseen saati sen ylläpitoon vaatimiin työmääriin. Pienimpien kannattaisi jatkossakin keskittyä enemmän omien osa-alueidensa hoitamiseen ja niin sanotusti oman pottinsa hoitamiseen. Täten pienemmällä alueella toimittaessa tilannekuvan oikeellisuus on parempi ja tieto varmasti nopeammin tarvitsijoilla käytettävissä.

Ilmatorjunnan ilmatilannekuvan luomisessa IFF-omatunnistusjärjestelmät ovat tärkeä osa kokonaisuutta. Pelkästään ilmavoimien suunnalta tuleva ilmatilannekuva voi joissakin tilanteissa olla liian vajavaista ja ilmatorjunnan omilla sensoreilla ja IFF-omatunnistusjärjestelmillä kuva saadaan täydennettyä. Järjestelmien kehittyessä yhä tehokkaammiksi ja varmemmiksi toiminnoiltaan, voidaan IFF-omatunnistusjärjestelmän olevan tulevaisuudessa sellainen järjestelmä, jota voi käyttää myös sotatilanteissa. Aina on mahdollista, että signaalia voidaan häiritä tai jokin muu sensori saa sen kaapattua. Käytettäessä järjestelmää esimerkiksi paluulenkoilla kohti tukikohtaa, voidaan IFF-omatunnistusjärjestelmää käyttää vain tarvittava aika, jotta omatunnistustieto saadaan maassa oleville yksiköille. Tällöin pitämällä järjestelmää vain tarvittavan ajan päällä on epätodennäköisempää, että vihollinen pääsee signaaleihin käsiksi. Lopuksi voidaan todeta, että ilmatorjuntajoukot vahvistuvat huomattavasti IFF-omatunnistusjärjestelmien lisääntyessä ilmatorjuntajärjestelmissä[31,32].

## LÄHTEET

- [1] Digitaalinen Taistelukenttä – Informaatioajan sotakoneen tekniikka Jyri Kosola, Tero Solante (Toinen painos)
- [2] [Identification Friend or Foe \[IFF\]](#) 8.3.2007
- [3] [Identify Friend or Foe/Secondary Surveillance Radar \(IFF/SSR\) | Airspace Policy](#)  
8.3.2007
- [4] Elektroninen sodankäynti osa 1 – taistelun viides dimensio Jyri Kosola, Janne Jokinen
- [5] [Identification friend or foe - encyclopedia article about Identification friend or foe](#) 8.3.2007
- [6] [IFF](#) 8.3.2007
- [7] [IFF Questions & Answers](#) 8.3.2007
- [8] [\[1.0\] The British Invention Of Radar](#) 8.3.2007
- [9] <http://www.caa.co.uk/docs/33/CAP%20761.pdf> 8.3.2007
- [10] <http://www.globalsecurity.org/military/library/news/2004/10/mil-041025-afpn01.htm> 8.3.2007
- [11] [http://www.globalsecurity.org/military/library/policy/army/fm/100-103/f1001\\_2.htm#REF3h3](http://www.globalsecurity.org/military/library/policy/army/fm/100-103/f1001_2.htm#REF3h3) 8.3.2007
- [12] [http://www.globalsecurity.org/military/library/policy/navy/nrtc/14089\\_ch3.pdf](http://www.globalsecurity.org/military/library/policy/navy/nrtc/14089_ch3.pdf)  
8.3.2007
- [13] <http://www.globalsecurity.org/military/library/news/2007/01/mil-070122-bae-systems01.htm> 8.3.2007

- [14] <http://www.globalsecurity.org/military/library/policy/army/fm/44-18-1/Ch1.htm>  
8.3.2007
- [15] [http://www.eis.na.baesystems.com/nes/products/nes\\_iff\\_overview.htm](http://www.eis.na.baesystems.com/nes/products/nes_iff_overview.htm) 8.3.2007
- [16] [http://fi.wikipedia.org/wiki/Snellin\\_laki](http://fi.wikipedia.org/wiki/Snellin_laki) 8.3.2007
- [17] <http://fi.wikipedia.org/wiki/Sironta> 8.3.2007
- [18] [http://www.globalsecurity.org/military/library/report/ota/ota\\_friendly-fire-09351.pdf](http://www.globalsecurity.org/military/library/report/ota/ota_friendly-fire-09351.pdf)  
8.3.2007
- [19] [http://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4hk%C3%B6magneettinen\\_spektri](http://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4hk%C3%B6magneettinen_spektri) 8.3.2007
- [20] <http://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/systems/an-tpx-56.htm>  
8.3.2007
- [21] Mekanisoitujen joukkojen tilannekuvan muodostaminen 2010-luvulla, Juhana Nenonen
- [22] Oppituntimateriaali 24.10.2006 (Tulenkäytön johtaminen tukikohdassa Ylii Lautala)
- [23] Oppituntimateriaali 13.11 Pohjoisen erikoisolosuhteet (Kapt Paavola)
- [24] Oppituntimateriaali Maj Ari Jauhiainen YJT-harjoitus 12.1.2007
- [25] Oppituntimateriaali 12.10.2005 Johtopaikan taistelu (Ylii Ahti Piikki)
- [26] Oppituntimateriaali ITTH-koulutuksesta Riihimäen varuskunnassa (Ylii Petteri Törmänen)
- [27] Oppituntimateriaali Tulenkäytön johtaminen tukikohdassa 24.10.2006 Hyrylä
- [28] Oppituntimateriaali 1.11.2006 Ilmaoperaatioon liittyvä elektroninen sodankäynti (Kauhava)
- [29] Tekniset tutkimusmenetelmät Maanpuolustuskorkeakoulussa Esa Lappalainen ja Jorma Jormakka

[30] Tulasemäpäätekoulutus 8.11.2006 Riihimäen varuskunnassa (Tekn Yliil Metsäpelto)

Haastattelut:

[31] Majuri Ohrankämmen 18.10.2006 Tuusulassa

[32] Ltncol Artie Williams 8.11.2006 Tuusulassa ( Partnership for Peace Ground Based Air Defence Planning Seminar)

[33] Tekn yllil Metsäpelto 18.10.2006 Tuusulassa