

# MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

## HÄIVEHÄVITTÄJÄ ILMATAISTELUSSA

Kandidaatintutkielma

Kadetti  
Jyri Tiihonen

Kadettikurssi 93  
Ilmavoimien ohjaajalinja

Heinäkuu 2009

## MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi Kadettikurssi 93	Linja Ilmavoimien ohjaajalinja
Tekijä Kadetti Jyri Tiihonen	
Tutkielman nimi <b>Häivehävittäjä ilmataistelussa</b>	
Oppiaine johon työ liittyy Operaatiotaito ja taktiikka	Säilytyspaikka Kurssikirjasto (MPKK:n kirjasto)
Aika Huhtikuu 2009	Tekstisivuja 33      Liitesivuja 12
<b>TIIVISTELMÄ</b>  <p>Viidennen sukupolven häivehävittäjät ovat ilmasta-ilmaan tapahtuvan ilmasodankäynnin osa-alueella uusin asejärjestelmä, jolla on merkittävä vaikutus ilmasodankäynnin kuvaan ja sen taktiikkaan. Arvioiden mukaan seuraavan 10–20 vuoden aikana useat valtiot siirtyvät operoimaan ilmakomponentin pääkalustona korkeaa häiveteknologiaa hyväksikäyttävillä monitoimihävittäjillä sekä pommi- ja rynnäkkökoneilla. Näiden viidennen sukupolven häivehävittäjien seurauksena on ilmataistelutekninen ja –taktinen muutos ilmataistelussa. Ilmavoimille, jotka operoivat konventionaalisella kalustolla, on tärkeää ymmärtää miksi, miten ja mitkä ovat näiden muutosten vaikutukset ilmataistelun kulkuun. Vaikutukset ilmenevät ilmataistelun kokonaisuudessa, mutta varsinkin näkökantaman ulkopuolisessa ilmataistelussa, joka hävittäjätorjunnan ensisijaisena tulenkäytön muotona on erityisen tärkeässä osassa ilmapuolustuksen torjuntakykyä ajatellen.</p> <p>Kandidaatintutkimuksen tavoitteena on laadullisen metodin keinoin selvittää muutoksen taustaa ja sen vaikutuksia ilmasodankäyntiin. Tutkimuksessa on aineisto- ja tekstianalyysin keinoin tutkittu sekä kotimaista että ulkomaista tutkimusta ja kirjallisuutta aiheesta sekä näiden ristikkäisvertailun kautta pyritty selvittämään häivekoneiden käytön ja nykyaikaisen ilmataistelun rajapintoja.</p> <p>Tutkimusongelma on: – Mitä vaikutuksia häivehävittäjillä on nykyaikaiseen ilmataisteluun?</p>	

Alaongelmat ovat seuraavat:

- Mitä on nykyaikainen ilmataistelu, sekä mitkä tekijät ja mallit vaikuttavat siihen?
- Miten häivehävittäjien ominaisuudet vaikuttavat niiden suorituskykyyn nykyaikaisessa ilmataistelussa?

Tutkimus antaa lukijalle perustellun kuvan siitä, mitä nykyaikainen ilmataistelu ilmasta-ilmaan tapahtuvana tulenkäytön muotona on, sekä siitä, miten uutta häiveteknologiaa hyödyntävät viidennen sukupolven hävittäjät vaikuttavat siihen. Tutkimuksen johtopäätöksenä esitellään, että viidennen sukupolven häivehävittäjillä on laadullinen ylivoima tulevaisuuden ilmataistelussa, koska ne mahdollistavat tulenkäytön ennen vastustajaansa.

#### AVAINSANAT

BVR-ilmataistelu, WVR-ilmataistelu, viidennen sukupolven hävittäjä, häiveominaisuudet, ilmataistelutaktiikka, tilannetietoisuus

# HÄIVEHÄVITTÄJÄ ILMATAISTELUSSA

<b>MÄÄRITTEET</b> .....	1
<b>1 JOHDANTO</b> .....	3
1.2 Tutkimuksen viitekehys, aihealueen rajaaminen ja tutkimusongelmat.....	5
1.3 Tutkimusstrategia, tutkimusmenetelmät ja näkökulma.....	6
1.4 Käsitteiden määrittely .....	7
1.4.1 Ilmataistelu .....	8
1.4.2 Häivekone .....	8
1.4.3 Ilmataistelutaktiikka .....	9
<b>2. ILMATAISTELU</b> .....	9
2.1 Mitä on BVR-ilmataistelu? .....	9
2.2 Mitä on WVR-ilmataistelu? .....	12
2.3 Tilannetietoisuuden rooli ilmasodantaktiikassa ja ilmataistelutaktiikassa.....	15
2.4 Taktiset mallit.....	19
<b>3. HÄIVEKONEET</b> .....	21
3.1 Häiveteknologia viidennen sukupolven häivehävittäjissä .....	21
3.2 Viidennen sukupolven häivehävittäjät .....	23
3.2.1 F-22 Raptor – operatiivinen häivehävittäjä.....	23
3.2.2 Kehityksessä olevat häivehävittäjät .....	25
3.2.3 Häiveominaisuuksia sisältävät konventionaaliset hävittäjät .....	28
<b>4. HÄIVEHÄVITTÄJÄ NYKYAIKAISESSA ILMATAISTELUSSA</b> .....	29
4.1 Viidennen sukupolven häivehävittäjien ominaisuuksien vaikutus ilmataistelutaktiikkaan .	29
<b>5. JOHTOPÄÄTÖKSET</b> .....	33
<b>LÄHTEET</b> .....	36
<b>VIITTEET</b> .....	40

## MÄÄRITTEET

BVR	<i>Beyond Visual Range</i> eli näkökantaman ulkopuolinen
WVR	<i>Within Visual Range</i> eli näkökantaman sisäpuolinen
OODA-loop	<i>Observe, Orientation, Deside, Act</i> eli havainnon, mukautumisen, päätöksen ja toiminnan muodostama tapahtumaketju
E-M Theory	<i>Energy Maneuverability Theory</i> eli liikehtimisenergiateoria
BFM	<i>Basic Fighter Maneuvering</i> eli hävittäjän perusliikehtimismenetelmät (1 vs 1 tilanne)
ACM	<i>Air Combat Maneuvering</i> eli hävittäjien perusilmataistelumenetelmät (enemmän koneita kuin 1 vs 1)
IR	<i>Infrared</i> eli infrapuna (IP)
IRST	<i>Infra-red search and track</i> eli infrapuna sensori (etsintä ja seuranta)
LO	<i>Low Observable</i> eli vaikeasti havaittava (VLO = Very Low Observable)
Stealth	Häive eli vaikeasti havaittava
AESA	<i>Active Electronically Scanned Arrey</i> eli aktiivinen elektronisesti ohjautuva tutkatyyppi
WEZ	<i>Weapons Engagement Zone</i> eli ase-ampumasektori
RCS	<i>Radar Cross Section</i> eli tutkapoikkipinta-ala, käytetään myös tutka-kaikupinta
SAR	<i>Synthetic Aperture Radar</i> eli korkearesoluutioinen ilmasta-maahan tutkakuva
IFF	<i>Identification Friend or Foe</i> eli omakonetunnusjärjestelmä
AWACS	<i>Airborne Warning and Control System</i> eli valvonta ja taistelunjohto lentokone
BVRAAM	<i>Beyond Visual Range Air-to-Air Missile</i> eli näkökantaman ulkopuolelta ammuttava ilmasta-ilmaan ohjus
AMRAAM	<i>Advanced Medium Range Air-to-Air Missile</i> eli keskikantaman ilma- ta-ilmaan ohjus
SA	<i>Situational Awareness</i> eli tilannetietoisuus
AEW	<i>Advanced Early Warning</i> eli ennakkovaroitus
CAP	<i>Combat Air Patrol</i> eli ilmaherruus tehtävällä toimiva hävittäjäpartio

AGM	<i>Air-to-Ground Missile</i> eli ilmasta-maahan ohjus
RAM	<i>Radar Absorbing Material</i> eli tutkasäteilyä absorboivat (=suodattavat) materiaalit
ATF	<i>Advanced Tactical Fighter</i> . F-22 Raptorin projektinimi
First look, first shoot, first kill	Termillä kuvataan nykyaikaisen ilmataistelun tavoitetilaa: ensimmäinen havainto, ammunta ja pudotus
CTOL, STOVL, CV	<i>Conventional Takeoff and Landing, Short Takeoff and Vertical Landing, Carrier Version</i> . F-35 Lightning II:den eri versioita.

## HÄIVEHÄVITTÄJÄ ILMATAISTELUSSA

### 1 JOHDANTO

Viime vuosikymmenien aikana ilmasodankäynti on muuttunut maasodankäynnin tukemisesta kohti ilmakomponentin autonomista kykyä käydä sota. Viimeistään vuonna 1999 suoritettu Natton ilmaoperaatio serbejä vastaan, operaatio Allied Force, todisti, että kokonainen operaatio voidaan suunnitella ja toteuttaa pelkän ilmakomponentin voimalla. Ilmaherruuden hallinta tai sen kiistäminen on jokaisen sotilaallisen operaation, niin ilma-, maa- kuin merioperaation, keskeinen lähtökohta nykyaikaisessa sodankäynnissä.<sup>1</sup>

Vastauksena lisääntyneisiin vaatimuksiin ilmaoperaatioiden toteuttamisessa otettiin 1980-luvun lopulla käyttöön uusi asejärjestelmä, joka on sittemmin noussut keskeiseen rooliin ilmasodankäynnissä. Kun Yhdysvallat vuonna 1989 käytti uutta F-117 Nighthawk häivepommittajaa operaatio Just Causessa Panamassa, merkitsi se uuden aikakauden alkua ilmasodankäynnin historiasa. Häivekoneiden kyky lentää vihollisen ilmatilassa lähes vapaasti ilman, että tutkat havaitsivat niitä, johti hyvään menestykseen monissa operaatioissa seuraavien 20-vuoden aikana.<sup>2</sup> Menestys rajoittui tuolloin kuitenkin ilmasta-maahan operaatioihin, mikä johtui kompromisseista ensimmäisten häivekoneiden suunnittelussa. F-117 Nighthawk ja B-2 Spirit suunniteltiin ilmasta-maahan operaatioihin, koska tuon ajan teknologia ei vielä mahdollistanut ilmaherruus operaatioiden vaatimien lento-ominaisuuksien ja häiveominaisuuksien yhdistämistä.<sup>3</sup>

Tänä päivänä tilanne on muuttunut. Vuonna 2007 USA:n ilmavoimat otti ensimmäiset viidennen sukupolven F-22 Raptor häivehävittäjät operatiiviseen käyttöön. F-22:ssa, kuten koelentovaiheessa oleva F-35:ssa, on ns. monikäyttöominaisuudet (multirole) eli kyky suorittaa vaihtelevia niin ilmasta-ilmaan kuin ilmasta-maahan operaatioita.<sup>4</sup> Puolustuksellisille ilmavoimille, kuten Suomen ilmavoimat, häivekoneiden tulo osaksi ilmauhkakuvarastoa tarkoittaa muutosta ilmavoimien

torjuntakykyyn. Hävittäjätorjunta perustuu kykyyn tunnistaa ja reagoida uhkaa vastaan nopeasti ja tehokkaasti. Nämä ovat molemmat tehokkaan ilmapuolustusjärjestelmän osa-alueita, joihin häivekoneiden ominaisuudet vaikuttavat negatiivisesti.

Tutkimuksen tarkoitus on antaa lukijalle perusteltu kuva siitä, mitä nykyaikainen ilmataistelu ilmasta-ilmaan tapahtuvana tulenkäytönmuotona on sekä miten uutta häiveteknologiaa hyväksikäyttävät viidennen sukupolven hävittäjät vaikuttavat siihen. Ongelmaa käsitellään nykyaikaisen ilmataistelun kokonaisuudessa kattaen sekä BVR- että WVR-ilmataistelun osa-alueet. Nykyaikainen ilmataistelu on yksinkertaistettuna lineaarinen tapahtumaketju, jonka lopputuloksen ratkaisee muuttujien huomioiminen etukäteen.

”He, jotka kykenevät ennakoimaan sodankäynnin luonteen muutokseen, voittavat. He, jotka mukautuvat muutosten jo tapahduttua, häviävät”<sup>5</sup>

Giulio Douhet

## 1.1 Tutkimuksen tarpeellisuus ja aiemmat tutkimukset

Tutkimuksen aihe on ajankohtainen, koska häivehävittäjien tulo operatiiviseen käyttöön asettaa konventionaalisella hävittäjäkalustolla operoivat ilmavoimat haavoittuvaan asemaan ja sen seurauksena niiden kyky puolustaa ilmatilaa muuttuu osittain kyseenalaiseksi. Muuttuneen taistelun kuvan erityispiirteiden tunteminen mahdollistaa taisteluteknisellä tasolla hävittäjälentäjälle kyvyn reagoida uhkaan paremmin, taktisella tasolla kyvyn kehittää vastataktiikoita sekä operatiivisella tasolla asian huomioimisen operaatiosuunnittelussa. Erityispiirteiden tuntemisella ei tässä tutkimuksessa tarkoiteta yksityiskohtaista analyysia yksittäisistä ilmataisteluskenaarioista, vaan niiden periaatteiden tuntemista, jotka vaikuttavat jokaisen nykyisen ja tulevan ilmataistelun takana. Tulevaisuuteen katsominen on tärkeää kaikessa sodankäynnissä, mutta erityisesti ilmavoimissa, jonka aselajina tulee kyetä ennakoimaan tuleva sekä soveltamaan oma toiminta sen mukaan.

”Ilma-aseen kehittyessä pitää kyetä katsomaan eteenpäin, ei taaksepäin, ja ymmärtää mitä tulee tapahtumaan, ei niinkään sitä, mitä on jo tapahtunut.”<sup>6</sup>

Brigadier General William Mitchell, USAS



Tutkimuksen asiakenttään liittyviä kotimaisia tutkimuksia on julkaistu vähän. Näistä tutkimuksista tämän tutkimuksen kannalta relevantteja ovat: Timo Raatikaisen taktiikantutkimus Tulevaiden taistelukone – venäläinen näkökulma, Samuli Niemen tekniikantutkimus Stealth-teknologian merkitys ilmataistelussa 2000-luvulla sekä Pasi Materon, Ari Jauhaisen ja Jari Mikkosen tutkimus Venäjän viidennen sukupolven torjuntahävittäjän kehittäminen.

## 1.2 Tutkimuksen viitekehys, aihealueen rajaaminen ja tutkimusongelmat

Tutkimus rakentuu nykyaikaisen ilmataistelun ympärille, jossa kolmella sen ympärille rakennetun viitekehysten osalla kuvataan ne keskeiset seikat, jotka nykyaikaisessa ilmataistelussa vaikuttavat. Nämä seikat vastaavat kysymyksiin ketkä toimivat, minkälaisessa ympäristössä toimitaan ja mitä tapahtuu. Tutkimus on rajattu käsittelemään vain ilmataisteluohjuksin käytävää ilmataisteluun, koska tykin rooli ilmataistelussa on nykyään käytännössä hyvin vähäinen. Esimerkiksi Libanonin sodassa vuonna 1982 Israelilaiset saavuttivat 93 % ilmavoitoista ilmataisteluohjuksilla ja myöhemmin vuonna 1991 Persianlahden sodassa kaikki liittoutuneiden saavuttamat ilmavoimat saavutettiin ilmataisteluohjuksilla.<sup>7</sup>

Näistä kolmesta seikasta rakentuu tutkimuksen viitekehys, jonka kautta käsitteiden ja asioiden välisiä suhteita ja merkityksiä havainnollistetaan. Viitekehysten osa-alueet määrittävät myös aiheen rajauksen ja tutkimusongelmat ovat johdettu niistä.<sup>8</sup>

Ketkä toimivat?

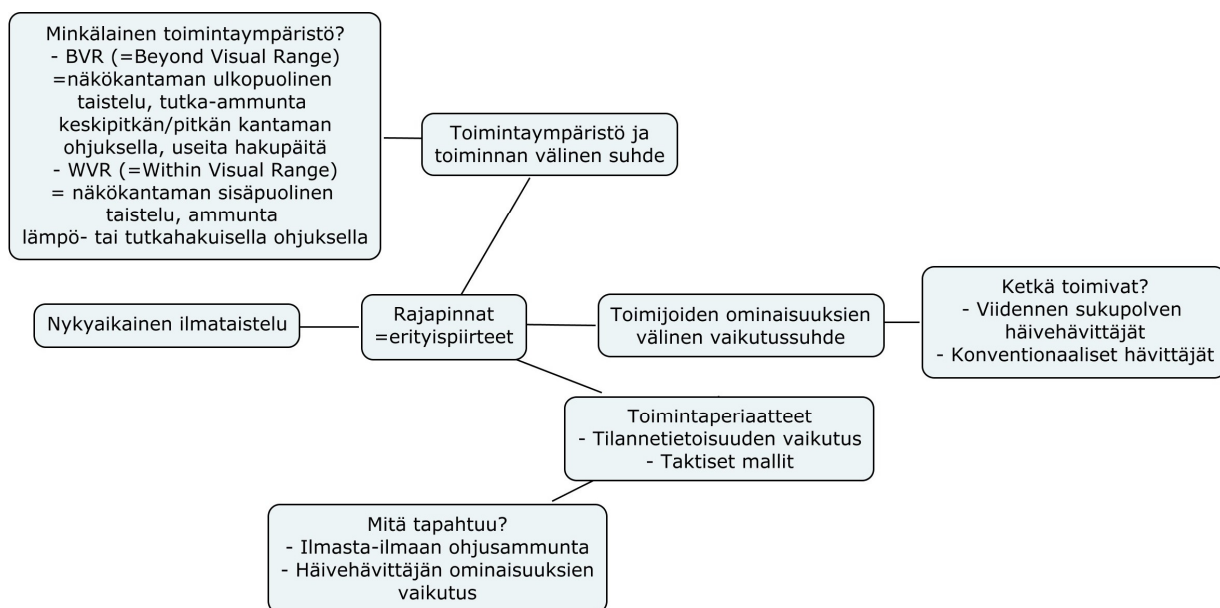
- viidennen sukupolven häivehävittäjät, konventionaaliset hävittäjät

Minkälaisessa ympäristössä?

- ilmasta – ilmaan ilmataistelu, BVR ja WVR-ilmataistelut ilmataisteluohjuksilla

Mitä tapahtuu?

- häivehävittäjien ominaisuuksien vaikutus ilmataisteluun, erityispiirteet



Kuva 1. Tutkimuksen viitekehys

Tutkimuksen pääongelma on:

- Mitä vaikutuksia häivehävittäjillä on nykyaikaiseen ilmataisteluun?

Pääongelman avaamiseksi tutkimuksessa käsitellään alaongelmia, joiden avulla pääongelma selventyy ja jäsentyy.

Tutkimuksen alaongelmat ovat:

- Mitä on nykyaikainen ilmataistelu, sekä mitkä tekijät ja mallit vaikuttavat siihen?
- Miten häivehävittäjien ominaisuudet vaikuttavat niiden suorituskykyyn nykyaikaisessa ilmataistelussa?

### 1.3 Tutkimusstrategia, tutkimusmenetelmät ja näkökulma

Tutkimusstrategian luonne on rinnasteinen tutkimuksen tavoitteiden kanssa. Koska tutkimuksen tavoitteena on esitellä nykyaikainen ilmataistelu ilmiönä sekä häivehävittäjien vaikutus siihen, on tutkimusstrategian tarkoitus olla kuvaileva ja asioiden luonnetta selittävä. Tutkimuksen valikoituminen kvalitatiiviseksi tutkimukseksi on seurausta taktiikan-alan tutkimuksen erityispiirteistä. Tutkittaessa taistelua, kuten BVR-ilmataistelu, on tutkimuksen viitekehyksessä paljon muuttujia, joiden vaikutusten analysoiminen kvantitatiivisena tutkimuksena vaatisi resursseihin nähden

mahdottoman määrän erilaisten skenaarioiden tutkimista. Tällöin tutkimus suoritettaisiin keräämällä aineisto simuloimalla ja analysoimalla sitä vastaten kysymykseen, mikä taktinen skenaario johtaisi useimmiten haluttuun lopputulokseen? Tutkimuksen tavoitteet puoltavat myös kvalitatiivista tutkimusta, koska tarkoitus ei ole testata erilaisia ilmataistelutaktiikan skenaarioita, vaan käsitellä aineistoa monipuolisesti kokonaisuutena selittäen ilmiön erityispiirteitä sekä toimijan että toimintaympäristön kannalta.

Tutkimusmenetelmän valinnan lähtökohta oli valita tutkimuksen tavoitteen, tutkimusongelmien ratkaisun sekä tutkimukseen käytettävien resurssien kanssa linjassa oleva metodi.<sup>9</sup> Ensisijaisesti käytettävissä olevia metodeja rajaavat aineistonkeruumenetelmät: haastattelun, kyselyn tai havainnoinnin käyttö tutkimuksessa ei ole mahdollista aiheen sisällön vuoksi, joten käytettävän metodin tulee pohjata olemassa olevan aineiston tulkitsemiseen.<sup>10</sup> Tämä tutkimus on teksti- ja asiakirjatutkimus, jossa aineistoa käsitellään sisällönanalyysin keinoin.<sup>11</sup> Tutkijan asema on objektiivinen tiedon kerääjä ja tulkitsija, joka esittää aineistosta johdetut argumentit faktaanäkökulmasta.<sup>12</sup>

Tutkimuksessa on kaksi keskeistä teoriaa: ilmataisteluteoria, josta käsitellään eversti John Boydin OODA-loop teoriaa sovellettuna BVR-ilmataisteluun ja Energy-Maneuverability Theory sovellettuna WVR-ilmataisteluun<sup>13</sup>, sekä häiveteknologian teoria esittelemään häivehävittäjien ominaisuuksien vaikutuksia. Lisäksi tutkimuksessa käsitellään tilannetietoisuuden teoreettista merkitystä sekä eroteltavissa olevia taktisia malleja. Kaikki luotettavina pidetyt tutkimuksen teoriaan keskeisesti liittyvät seikat pyritään selvittämään tutkimuksessa siten, etteivät esitetyt tiedot ole ristiriidassa niistä johdetun tulkinnan ja johtopäätösten kanssa<sup>14</sup>.

#### 1.4 Käsitteiden määrittely

Tutkimus jakautuu käsitteellisesti kahteen osakokonaisuuteen, joiden sisällöstä määrittyy tutkimukselle keskeisiä käsitteitä. Nämä kaksi osakokonaisuutta ovat ilmataistelu ja viidennen sukupolven häivehävittäjä; viitekehykseen sidottuna siis tutkittava tapahtuma ja tutkittava toimija. Näin ollen osakokonaisuuksissa on kyse taktisen toiminnan ja siihen vaikuttavan asejärjestelmän vertailusta.

### 1.4.1 Ilmataistelu

Ilmataistelu tarkoittaa perinteisessä merkityksessä ilma-alusten välillä aseilla käytävää taistelua. Vaikka itse ilmataistelu käsitteenä määritellään edelleen samoin, on siihen kuuluva asiakenttä laajentunut käsittämään suorittavan portaan – hävittäjät, tukevan portaan – tukitehtäväkoneet, sekä johtoportaan – taistelunjohto. Ilmataistelu jakautuu kahteen osa-alueeseen, BVR- ja WVR-ilmataisteluun, jotka määräytyvät etäisyyden, käytettävien tunnistus- ja asejärjestelmien, sekä käytettävän taktiikan mukaan.<sup>15</sup>

BVR-ilmataistelu käsitteenä tarkoittaa näköetäisyyden (> n.10 km) ulkopuolella käytävää ilma- taistelua, jossa käytetään tutkaa ja muita sensoreita sekä signaalianalyysiä maalin tunnistukseen, sekä erilaisilla hakupäillä varustettuja pitkän tai keskimatkan ilmasta-ilmaan ilmataisteluohjuksia aseena. Taktiikka keskittyy vallalla olevan länsimaisen ajattelutavan OODA-loop periaatteen mukaisesti havaitsemisen, tunnistuksen, päätöksenteon ja toiminnan tehokkaaseen ketjuun, jossa omilla ilma-aluksilla hankitaan etu tilannetietoisuudessa ja vihollisen päätöksentekoketjua pyritään heikentämään.

WVR-ilmataistelu käsitteenä tarkoittaa näkökantaman sisäpuolella käytävää ilmataistelua, jossa käytetään tutkaa ja visuaalista tunnistusta maalin tunnistamiseen sekä lyhyen matkan lämpöha- keutuvia ohjuksia ja tykkiä aseena. Taktiikka keskittyy liikehtimistäistelun soveltamiseen koneen ja asejärjestelmän ominaisuudet optimoiden.

### 1.4.2 Häivekone

Häivekoneella tarkoitetaan mitä tahansa ilma-alusta, jonka havaittavuutta, tunnistettavuutta ja paikantamista sähkömagneettisella, näkyvän valon ja akustisella spektrillä on pyritty pienentämään. Varsinainen häivekone on ilma-alus, joka on alusta asti suunniteltu matalaa havaittavuutta (LO) varten. Häivekoneessa käytetään useita eri häiveteknologioita havaittavuuden pienentämiseksi. Näitä teknologioita ovat mm. tutkapoikkipinta-alan minimointi (koneen muotoilu ja materiaalit) ja infrapunajäljen minimointi (moottorien sijoittelu ja – teknologia).<sup>16</sup>

### 1.4.3 Ilmataistelutaktiikka

Ilmataistelutaktiikalla tarkoitetaan oppia ilmataistelun voittamisesta. Tässä tutkimuksessa ilmataistelutaktiikkaa tarkastellaan BVR- ja WVR-ilmataisteluissa tilannetietoisuuden näkökulmasta niihin liittyvien teorioiden OODA-loop ja liikehtimisenergiateorian sekä taktisten mallien kautta. Ilmataistelutaktiikan yhteydessä puhuttaessa hävittäjätaktiikasta, sillä tarkoitetaan hävittäjien käyttöä ilmataistelun voittamiseksi.<sup>17</sup>

## 2. ILMATAISTELU

### 2.1 Mitä on BVR-ilmataistelu?

BVR-ilmataistelu tarkoittaa pitkän- tai keskipitkänkantaman ohjuksilla käytävää ilmataistelua näkökantaman ulkopuolella. BVR-ilmataistelu jakautuu perusmääritelmän mukaan kuuteen osaluueeseen. Nämä ovat: 1. havainto (Detection), 2. tunnistus (Sorting), 3. maalinnus (Targeting), 4. BVR-ammunta (Intercept), 5. kaartotaistelu (Engage) ja 6. irtaantuminen (Separate). Osa-alueet eivät ole toteutettavissa yksittäin vaan jokainen BVR-ilmataistelu tapahtuu niiden muodostaman tapahtumaketjun mukaisesti poikkeuksena, että BVR-ammunnan jälkeen vaihtoehtona on joko WVR-ilmataisteluun siirtyminen tai irtaantuminen taistelusta.<sup>18</sup> Tavoitteena näkökantaman ulkopuolisessa ilmataistelussa on saavuttaa ensimmäisenä havainto, ammunta ja pudotus.<sup>19</sup> Tämän vuoksi tärkeimpään rooliin nousevat hävittäjän tutkan ja käytettävän ohjuksen ominaisuudet sekä järjestelmien välinen integraatio, hävittäjän toimiessa lavettina ja lentäjän näiden käyttäjänä.

Havainnon saaminen vihollisen koneesta tapahtuu maalitiedon avulla, joka voidaan saada joko koneen omalta tutkalta, sensoridatasta, muilta koneilta datalinkin välityksellä tai taistelunjohtajalta. Hävittäjän tärkein havaintojärjestelmä on tutka, jonka kykyyn havaita maali vaikuttaa eniten toimintaperiaate.<sup>20</sup> Nykyaikaiset tutkat käyttävät AESA-periaatetta, jossa tutkakuvan muodostavat lukuisat pienet lähetin-vastaanotinmoduulit. Tutkatyyppin etuja ovat erittäin nopea skannausnopeus, pidempi kantama, usean maalin yhtäaikaista seuranta ja maalinnus, vähentynyt havaitsemisen riski, mahdollisuus lähettää häirintäsignaalia, yhtäaikaista ilma- ja maahyökkäys moodit sekä SAR-toiminto.<sup>21</sup> AESA-tutkalla varustettuja hävittäjiä ovat mm. F-18 E/F (AN/APG-79), F-22 (AN/APG-77), F-35 (AN/APG-81), MIG-35 (Phazotron NIIR Zhuk-AE),

Su-35 (Irbis-E) ja Eurofighter (AMSAR).<sup>22</sup>

Maalihavainnon jälkeen lentäjän seuraava tehtävä on tunnistaa havaittu kone. Tunnistuksen tarkoituksena on saada tietoa maalista: 1. onko maali oma vai vihollinen, 2. kuinka monta konetta muodostaa maalin, 3. missä muodostelmassa maali lentää ja 4. mitä maali tekee.<sup>23</sup> Lisäksi maalista saatava muu informaatio, kuten nopeus ja suunta, vaikuttaa myöhemmässä vaiheessa mahdollisen taistelutekniikan valintaan. BVR-ilmataistelussa pääasiallinen keino tunnistaa havaittu tuntematon maali on käyttää IFF-omakonetunnuslaittejärjestelmää sekä muita sensoreita tai eliminoida taistelumenetelmällisesti omien koneiden maalintamisen mahdollisuus.<sup>24</sup> Esimerkki tällaisesta taistelumenetelmällisestä tunnistuksesta on ilmatilaan luotavat ns. kill-box -alueet, joissa kaikki kyseisen ilmatila-alueen sisällä lentävät koneet tunnistetaan automaattisesti vihollisiksi. Varmin tapa tunnistaa maalit tällä hetkellä on käyttää sekä sensoritunnistusta että jonkin tyyppistä taistelumenetelmällistä tunnistusta yhdessä, sillä sensorien tuottama tieto maalista voi osoittautua osassa tapauksista virheelliseksi.<sup>25</sup> Esimerkkitapaus tapahtui Persianlahdella vuonna 1994, kun E-3 AWACS tutkavalvontakone valtuutti kaksi USA:n laivaston F/A-18C hävittäjää ampumaan etelään lentänyttä viholliskonetta. Lentäjät päättivät kuitenkin tunnistaa maalin visuaalisesti ja huomasi näköyhteyden saatuaan maalin olleen sudanilainen matkustajalentokone. Kyseisessä tapauksessa E3-AWACS koneessa ollut taistelunjohtaja erehtyi luulemaan matkustajakoneen suihkumoottorin infrapunajälkeä hävittäjän vastaavaksi, koska Boeing 727 koneen pyrstörakenne esti selvän tunnistuksen.<sup>26</sup>

Havaittuaan ja tunnistettuaan maalin viholliseksi, lentäjän tai taistelunjohtajan tulee tehdä päätös toiminnasta. Jos päätös on torjua viholliskone, on seuraava vaihe hakeutuminen tutka-ammuntaan sekä sen suorittaminen. Hakeutumisessa ilmataistelutekniikan sekä viholliskoneen ominaisuuksien tunteminen ja hyödyntäminen omaksi eduksi näyttelee tärkeää osaa. Hakeutumisessa lentäjä pyrkii parantamaan omia mahdollisuuksiaan erilaisilla tilanteenmukaisilla tekniikoilla, kuten esimerkiksi: 1. hakeutuminen vihollisen tutkakeilan ulkopuolelta mahdollisimman lähelle taistelunjohtajan avustuksella, 2. nousu vihollisen konetta ylemmäs hyödyntääkseen korkeuseron aiheuttaman ohjuksen kantamatkan pidentymisen (kineettisen energian kasvu ja ohuempi ilmakerros), 3. oman nopeuden lisääminen kasvattaakseen ohjuksen kineettistä energiaa. Seuraava päätös lentäjällä on milloin hän siirtyy ammuntaan, jolloin hän vaihtaa tutkan seurantamoodiin saadakseen ohjuksen lukittumaan maaliin. Koska vihollisen tutkavaroitin oletettavasti varoittaa tästä, on lentäjän valittava oikea hetki jolloin hän ottaa maalin seurantaan; liian aikaisin ja maali voi päästä

karkuun liikehtimällä ampumasektorin ulkopuolelle, liian myöhään, ja oman aseman paljastuminen ja mahdollisuus joutua itse ammutuksi kasvaa.<sup>27</sup> Yleisimmät BVR-ilmataisteluojukset ovat länsimaalaisen konekaluston käyttämät AIM-120 AMRAAM ja MBDA Meteor ohjukset sekä itämaisen konekaluston käyttämät Vympel R-27 ja R-77 (Natokoodiston mukaan AA-10 ”Alamo” ja AA-12 ”Adder”) ohjukset.<sup>28</sup>

Mikäli näkökantaman ulkopuolelta ammuttu tutkaohjus ei osu maaliin, on lentäjällä seuraavaksi edessään valinta irtaantua taistelusta joko palatakseen tukikohtaansa tai jatkaakseen taistelua hakeutumalla uuteen BVR-ammuntaan, tai hakeutua kohti maalia jatkaakseen taistelua näkökantaman sisäpuolella. Päätökseen vaikuttavat käytettävä taistelutaktiikka, oma tehtävä, oma ja vihollisen asema sekä muut läheisyydessä vaikuttavat koneet. Jos lentäjä ei irtaannu taistelusta, hän saavuttaa hyvin nopeasti näkökantaman maaliin. Tällöin taistelu kehittyy nopeasti näkökantaman sisäpuoliseksi ilmataisteluksi, eli WVR-ilmataisteluksi, jota käsitellään tarkemmin seuraavassa alaluvussa.

Mikäli lentäjä huomaa ajautuneensa epäedulliseen asemaan, on usein järkevin vaihtoehto pyrkiä irtaantumaan taistelusta. Irttaantuminen on usein osa-alue, johon kiinnitetään ilmataistelusta puhuttaessa hyvin vähän huomiota, vaikka aikaisempien konfliktien ilmataisteluissa merkittävä osa pudotuksista on tapahtunut toisen osapuolen yrittäessä irtaantua taistelusta. Lähitulevaisuuden esimerkkinä Su-35 vastaan F-35, taistelusta irtaantumista pidetään asiaa tutkineen australialaisen tutkimusryhmä Air Power Australian mukaan F-35:en taistelusta selviytymisen kannalta yhtenä kriittisimmistä osa-alueista. Häiveprofiililla (ilman ulkoista kuormaa) lentävän F-35:den polttoainelasti on pienempi kuin Su-35:den, joten Su-35:lle yksinkertaisin taistelutaktiikka ilmataistelun voittamiseksi on odottaa, välttää ja häiritä F-35:tä niin ettei F-35 kykene ampumaan sitä ennen sen polttoainevarannon loppumista tai vaihtoehtoisesti väistää F-35:den ammut ohjukset. Tämän jälkeen F-35:den irtaantuessa taistelusta Su-35 kykenisi käyttämään nopeusetuaan ja ampumaan lämpö- tai tutkahakeutuvalla ilmataisteluojuksella F-35:den peräsektoriin, joka on haavoittuva suihkumoottorin infrapunasäteilystä ja huonommasta RCS-profiilista johtuen.<sup>29</sup> Irttautumisessa olennaista on päästä asemaan, josta vihollisella on heikko ampumasema irtaantuvan koneen perään, tai käyttää vaihtoehtoisesti häirintää tai useamman koneen taktiikkaa irtaantumisen turvaamiseen.<sup>30</sup>

Nykyaikaisessa ilmataistelussa näköetäisyyden ulkopuolisen tulenkäytön merkitys on kasvanut jatkuvasti, mutta sen teho on osittain vielä kyseenalainen. Persianlahden sodassa operaatio Desert Stormin ja Desert Shieldin aikana saavutetuista 46 ilmavoitosta 24 saavutettiin AIM-7 Sparrow ja kaksi AIM-120 AMRAAM tutkahakeutuvalla ohjuksella, kun taas 12 ilmavoittoa saavutettiin lämpöhakeutuvalla AIM-9 Sidewinder ohjuksella.<sup>31</sup> Ammutuista tutkahakeutuvista ohjuksista useat ammuttiin lisäksi näköetäisyyden sisäpuolelta. Vuoden 1991 jälkeen kansainvälisissä listauksissa rekisteröidyistä 61 ilmavoitosta 20 ja tätä ennen kaikista ilmavoitosta vain neljä, on tapahtunut BVR-etäisyyksiltä suhteen ollessa n. 33 % vuoden 1991 jälkeisistä ilmavoitosta. Länsimailla yleisimmin käytössä olevalla tutkahakuisella ohjuksella AIM-120:llä on saavutettu 10 ilmavoittoa 17 ammutusta ohjuksesta, jolloin sen operatiivisesti todistettu pudotustodennäköisyys on käytännössä ollut 0.59. Yhdysvaltojen oma tilasto on vielä tätäkin synkempi; 13 ammutulla AMRAAM:illa on saavutettu 6 pudotusta (pudotustodennäköisyys 0.46). Vastapuolen kalustona olleissa koneissa ei ole ollut elektronisia vastakeinoja tai suorituskykyistä BVR-aseistusta ja Yhdysvalloilla on kaikissa tilanteissa ollut lisäksi kiistämätön ilmaherruus. Voidaankin kysyä, kuinka tehokasta BVR-operointi on todellisuudessa vastustajaa vastaan, jolla on käytössä näitä tapauksia paremmin varusteltu konekalusto sekä tasaisempi määrällinen voimasuhde?<sup>32</sup>

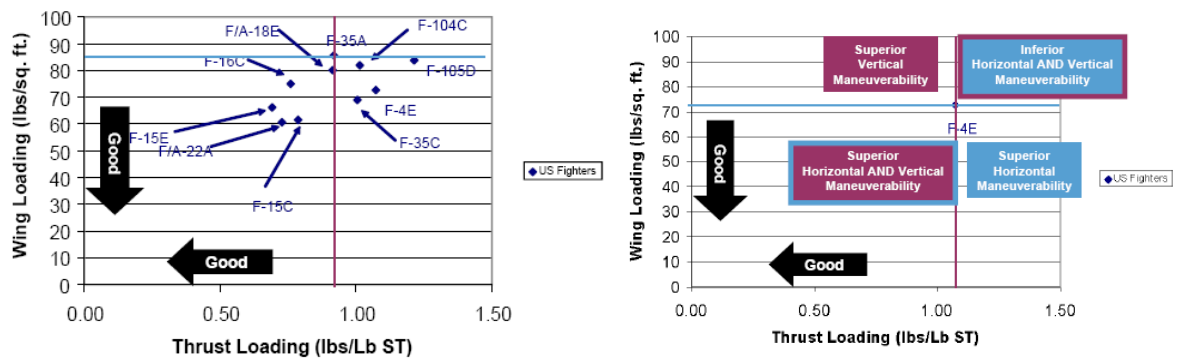
Ilmakomponentin käytön ja selviytymisen kannalta edullisinta on kuitenkin käyttää aselavettina toimivaa hävittäjää mahdollisimman pienen riskin alueella eli näkökantaman- ja vastustajan ampumasektorin ulkopuolella. Mitä lähemmäs vastustajaa taistelu ajautuu, sitä suuremmaksi kasvaa informaation, muuttujien ja riskien määrä, ja tätä kautta myös omien tappioiden todennäköisyys. Tämä ajattelutapa näkyy selvästi siinä, että kaikki ilmavoimat, jotka operoivat BVR-toimintaan kykenevällä hävittäjäkalustolla ja aseistuksella, korostavat sen merkitystä ilmataistelun tulevaisuutena.

## 2.2 Mitä on WVR-ilmataistelu?

Ilmataistelun ajautuminen näköetäisyydelle on nykypäivänä useimmiten seurausta joko BVR-ammunnan epäonnistumisesta, käytetystä ilmataistelutaktiikasta tai BVR-toimintaan kykenemättömän kaluston käytöstä. Näkökantaman sisäpuolisessa ilmataistelussa on yksinkertaisimmillaan kysymys siitä, että aselavettina toimiva hävittäjä saadaan käännettyä aseensa ampumasektoriin ennen vastustajaa.<sup>33</sup> Tätä liikehtimistä kutsutaan termillä BFM ja se on WVR-ilmataistelun suoritekkinen ulottuvuus. Eversti Boyd teoretisoi tämän ulottuvuuden kehittämässään liikehti-



misenergiateoriassa, jonka keskeisin sisältö on lentäjän kyky hankkia, vaikuttaa ja säilyttää hävittäjensä energiataso eli liikehtimiskyky ilmataistelussa, sekä kyky arvioida vastustajan koneen vastaavia energia-arvoja. Liikehtimisenergiateorian mukaan kaartotaistelussa hävittäjän liikehtiminen ampuma-asemaan on fysiikan kautta ratkaistavissa oleva energiaongelma.<sup>34</sup> Taktinen ulottuvuus pohjaa nykypäivänä hyvin pitkälti erilaisten ilmataistelumenetelmien (ACM) käyttöön useiden koneiden välisessä ilmataistelussa. Näiden oppien perusteella näkökantaman sisäpuolisessa ilmataistelussa taktiikka on keskittynyt koneen liikehtimiskyvyn sekä ohjaajan taitojen parantamiseen tavoitteena saada oma hävittäjä ampuma-asemaan ennen vastustajaa.



Kuva 2. Eri hävittäjämallien liikehtimiskykykuvaaja WVR-ilmataistelussa (Jane's'in ilmoittamat suoritusarvot, 50 % tankkaus ja täysi ilmasta-ilmaan asekuorma)<sup>35</sup>

Nykypäivänä tilanne on muuttunut, koska kypärätähtäinjärjestelmien ja uuden sukupolven lyhyen kantaman laajan ampumasektorin ilmataisteluohjusten (AIM-9X, IRIS-T, R-73/R-74M) yleistyksen myötä itse hävittäjän suorituskyvyn merkitys on vähentynyt.<sup>36</sup> Asejärjestelmien suorituskyvyn kasvu on kuitenkin lisännyt entisestään näkökantaman sisäpuolisen ilmataistelun problematiikkaa sekä kyseenalaistanut sen kannattavuuden ilmasodankäynnin jatkumisen kannalta. Hyvä esimerkki teoreettisesta ongelmatilanteesta on yhdenvertaisella kalustolla ja aseistuksella mahdollinen kill-kill – tilanne. Kill-Kill tilanteessa ensimmäisenä ampuma-asemaan päässyt kone ampuu kohti maalia, mutta mikäli maalikone on varustettu kypärätähtäimellä ja uuden sukupolven ohjuksella, tällä on myös hyvin suurella todennäköisyydellä mahdollisuus laukaista ohjus takaisin kohti alkuperäistä ampujaa. Tämä on seurausta uudenlaisesta lähestymistavasta WVR-ilmataisteluun, jossa keskeisin muutos on liikehtimiskyvyn rakentaminen ohjuksen hävittäjän sijaan. Tällaiset tilanteet ovat kuitenkin spekulatiivisia, sillä kypärätähtäimillä ja uuden sukupolven ohjuksilla varustetuilla hävittäjillä ei ole käyty yhtään ilmataistelua ja on hyvinkin mahdollista, että ratkaiseva ero syntyy edelleen hävittäjän liikehtimiskyvyn ja erityisesti lentäjän taitojen

kautta. On myös kuitenkin selvää, että kypärätähtäinjärjestelmä yhdistettynä uuden sukupolven ohjukseen on vanhempaa sukupolvea selkeästi tehokkaampi WVR-ilmataistelussa.<sup>37</sup> Yleisesti voidaan todeta, että WVR-ilmataistelussa on pitkälti kyse hyökkävään taktiikan ja puolustavan taktiikan välisestä kilpailusta. Iso-Britannia käytti Falklandin sodassa vuonna 1982 Harrier-hävittäjästä ammuttuja AIM-9L laajan ampumasektorin lämpöhakeutuvia ilmataisteluohjuksia suurella menestyksellä Argentiinalaisia Mirage III ja A-4 Skyhawk koneita vastaan saavuttaen pudotustodennäköisyyden 0.73 (26 ammuttua ohjusta ja 19 pudotusta). Tämän jälkeen kehitettiin soihduttamiseen perustuva puolustava taktiikka ja vaikka myös AIM-9:stä kehitettiin tätä vastaan suunniteltu versio AIM-9M, oli persianlahden sodassa Yhdysvaltaisten pudotustodennäköisyys lämpöhakeutuvilla ohjuksilla laskenut vain 0.23:een (48 ammuttua ohjusta ja 11/12 pudotusta).<sup>38</sup>

Nykyaikaisessa WVR-ilmataistelussa tulee saavuttaa asema, jossa vastustajalle ei jää aikaa reagoida kun häntä kohti ammutaan. Tällä asemalla tarkoitetaan sellaista mitä vastustaja ei ole kyennyt ennakoimaan, eli käytännössä hänen tilannetietoisuus murretaan tietyltä alueelta. Jos taistelu on useiden, jopa kymmenien koneiden välinen, on lentäjän edes taistelun johdon avustamana vaikeaa kyetä seuraamaan useiden potentiaalisten uhkien liikkeitä kolmiulotteisessa avaruudessa. Tällöin lentäjä keskittyy joko suurimpaan uhkaan tai käskettyyn maaliin, jolloin hänen koko taistelukentän tilannetietoisuus laskee ja potentiaali tulla ammutuksi kasvaa.

Tärkein tekijä myös WVR-ilmataistelussa on täten vastustajaa parempi tilannetietoisuus. WVR-ilmataistelussa tilannetietoisuudella tarkoitetaan yksittäisen koneen ja lentäjän kykyä hyödyntää omat tekniset ja inhimilliset kyvyt edun saavuttamiseksi kyseisessä ilmataistelutilanteessa. Tilannetietoisuusedun kautta lentäjä kykenee ennakoimaan taistelun siirtymisen näkökantaman sisäpuolelle sekä tärkeänä tekijänä oman aseman vastustajaan nähden taistelun aikana. Eversti Boyd toteaa artikkelissaan *Aerial Attack Study* seuraavasti: ”Lentäjän liittyessä ilmataisteluun, hänellä tulee olla kolmiulotteinen kuva taistelusta mielessään. Hänen tulee omata tilannetietoisuus; tällä tarkoitetaan tietoa omasta, omien koneiden ja vastustajan koneiden asemasta sekä vastustajan energiatilasta. Tällöin hän pystyy tietämään jokaisen vaihtoehdoisen liikkeen mitä hän tai vastustaja kykenee suorittamaan sekä vastaliikkeet näille.”<sup>39</sup> Tässä tilanteessa lentäjä kykenee vaikuttamaan omaan asemaansa muuttamalla ja säätelämällä oman hävittäjänsä energiatasoa. E-M Theoryn mukaan vastustajaa suurempi energiataso ja erityisesti tätä parempi energiatason muutoskyky antavat ratkaisevan edun näkökantaman sisäpuolisessa ilmataistelussa, koska tällöin lentäjä kykenee ennakoimaan taistelun kulun, kohdistamaan vastustajan oman ohjuksen ampu-

masektoriin tätä nopeammin soveltamalla liikehtimistään sekä ammunnan jälkeen irtautumaan lentämällä vastustajan ampumasektorin ulkopuolelle.<sup>40</sup> Myöhemmin Boyd tarkensi mitä hän tarkoitti termillä ”maneuverability” – liikkuvuus, kun vastoin alkuperäisen E-M Theoryn laskelmia ja Boydin henkilökohtaisia odotuksia YF-16 (F-16 Fighting Falcon) oli voittanut YF-17:sta (F-18 Hornet) kilpailussa USA:n ilmavoimien seuraavaksi hävittäjäksi. Hän totesi, että ”hävittäjän kyky muuttaa liikehtimistilaansa nopeasti johtaa kahteen asiaan, yhteen puolustukselliseen ja yhteen hyökkäykselliseen; sen kautta voi pakottaa hyökkäävässä asemassa olevan hävittäjän pois hyvästä ampuma-asemasta ja sen kautta hyökkäävässä asemassa oleva hävittäjä voi saavuttaa hyvän ampuma-aseman. Nopean liikehtimistilan muutoksen kautta saavutettu etu kertoo, että voittaakseen ilmataistelun lentäjän pitää pystyä operoimaan (toimimaan) nopeammin kuin vihollinen. Se kertoo, että hänen tulee olla yhden tai kaksi askelta vastustajaansa edellä; hänen tulee toimia vastustajansa aikaikkunan sisäpuolella.”<sup>41</sup> Vaikkakin Boyd kirjoitti aikakautensa mukaisesti pelkästään hävittäjän liikehtimiskyvystä, on hänen perusolettamuksensa oikea. Nykypäivänä teknisen liikehtimiskyvyn on korvannut taktinen liikehtimiskyky; nopean liikehtimistilan muutoksen on korvannut nopea tilannetietoisuustilan muutos.

### 2.3 Tilannetietoisuuden rooli ilmasodantaktiikassa ja ilmataistelutaktiikassa

Kautta ilmataistelun historian on pyritty tunnistamaan se tekijä, joka antaa lentäjälle ratkaisevan edun ilmataistelun voittamiseksi. Nykyään valtaosa asiantuntijoista pitää tilannetietoisuutta ns. ässä-tekijänä. Tilannetietoisuus koostuu monista tekijöistä, mutta olennaista siinä on lentäjän kyky pystyä tarkkailemaan sekä ennakoimaan tapahtumia ilmataistelun nopeasti muuttuvassa ja dynaamisessa toimintaympäristössä.<sup>42</sup> On huomioitava, että tilannetietoisuudesta voidaan puhua niin ilmataistelun kokonaisuuden kuin yksittäisen koneen taistelun näkökulmasta kuten edellä. Kyse on samasta ilmiöstä eri kontekstissa. Terminologista jakoa tilannetietoisuuden eri kontekstien välillä ei ole kotimaisessa aineistossa tehty, mutta taktiikan terminologiaan siirrettynä tilannetietoisuus voidaan jakaa ilmasodankäynnin alla taktiseen (yksittäisen koneen toimintaan vaikuttava) ja operatiiviseen tilannetietoisuuteen (ilmataistelun kokonaisuudessa toimintaan vaikuttava). Moderni tilannetietoisuuden teoria syntyi eversti John Boyd:n OODA-loop mallista, joka kuvaa tilannetietoisuusedun saavuttamiseen tähtäävää toimintaketjua ilmataistelussa. Boydin teoria perustuu sotahistorian suurien teoreetikoiden Sun Tzun ja Carl von Clausewitzin teoksiin, joiden havainnot Boyd jalosti nykyaikaiseen muotoon omissa esitelmissään. Boyd toteaa tilannetietoisuuteen liittyen seuraavaa: ”Von Clausewitzin virhe oli keskittyä sodan kitkan minimoimi-

seen omien joukkojen toiminnassaan. Hän ei mainitse millään tavalla vastustajan kitkan maksimointia, toisin kuin Sun Tzu. Sun Tzu pyrki ajamaan vastustajansa hulluiksi, kun taas Clausewitz pyrki estämään vastustajiaan ajamasta itseään hulluksi.”<sup>43</sup> Hän myös toteaa Sun Tzun olleen oikeassa siinä, että vastustajan tilannetietoisuuden heikentäminen omalla toiminnalla on olennainen osa taistelun voittamista.<sup>44</sup>

Yksittäinen ilmataistelu on OODA-loop:n mukaan tapahtumaketju välillä havainto-mukautuminen-päätös-toiminta. Tilannetietoisuus muodostuu havaintojen kautta ja niiden sisältämä informaatio vaikuttaa siihen mitä vaihtoehtoisia toimintatapoja voidaan omassa toiminnassa käyttää (mukautumiseen havaintoihin). Päätös toiminnasta sisältää kyllä tai ei - vaihtoehdon lisäksi myös päätöksen siitä miten aiotaan toimia.<sup>45</sup> Koska asevaikutusta käytetään ilmataistelussa vasta toimintavaiheessa, on omalle toiminnalle edullisinta estää tai hidastaa vastustajaa niin paljon, että omat koneet saavuttavat toiminta-vaiheen vastustajaa nopeammin, aivan kuten Boyd päätelmissään vahvasti lainaten Sun Tzun perusolettamuksia taistelusta. Hidastaminen tai estäminen toteutetaan käytännössä vaikuttamalla vastustajan tilannetietoisuuteen taktisella toiminnalla tai teknisellä suorituskyvyllä (esimerkiksi häivehävittäjät). Vaikkakin tämä toimintaketju saattaa vaikuttaa mekaaniselta, on se todellisuudessa kaukana siitä. Boyd itse tarkoitti puhuessaan OODA-loop:sta sitä tapaa, jolla toimintaketju tulisi toteuttaa. Tällä tavalla hän tarkoitti: ”vastustajan ajattelumaailman, hänen OODA-loop:nsa, tuntemista ja sen hyväksikäyttämistä omassa toiminnassaan niin, että vastustaja ei saa ajan tasalla olevaa informaatiota omasta toiminnasta. Tällöin vastustaja joutuu epätietoisuuden tilaan eikä kykene toimimaan enää samassa aikaikkunassa.”<sup>46</sup>

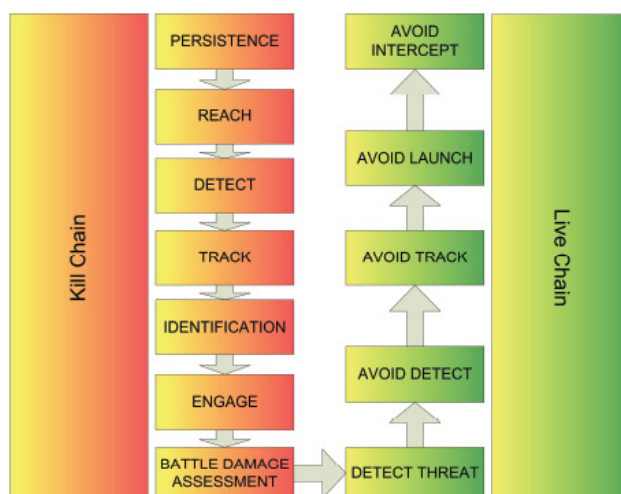
Ilmataistelun kokonaisuuden näkökulmasta tilannetietoisuuden konteksti laajenee huomattavasti, kun yksittäisten koneiden välisen liikehdinnän ennakoinnissa siirrytään konelauttojen ja lopulta koko vihollisen ilmakomponentin käytön ennakointiin. Mukaan yhtälöön tulevat kaikki muut tilannetietoisuuteen vaikuttavat tukitoiminnot. Kuitenkaan peruseriaate tilannetietoisuuden vaikutuksesta tapahtumien kulkuun ei muutu: osapuoli, joka kykenee havainnoimaan ja ennakoimaan miten vastustaja käyttää koneitaan, päättämään omasta toiminnastaan saadun informaation pohjalta optimaalisella tavalla sekä toteuttamaan toimintansa suunnitellusti kykenee tällöin parhaimpaan mahdolliseen suorituskykyyn. Käytännössä OODA-loopin toteuttaminen vaikeutuu merkittävästi informaation ja muuttujien lisääntyessä.

Ilmasodankäynnin historiasta löytyy erinomainen esimerkki kuvamaan tilannetietoisuusedun saavuttamista ja käyttämistä oman toiminnan avuksi. Kyseessä on Israelin Libanonin sodassa 1982 toteuttama operaatio Mole Cricket 19, jonka tavoitteena oli poistaa Syyrian ilmapuolustuksen ja erityisesti sen ilmatorjuntaohjuspatterien muodostama uhka Israelin ilmavoimien operoimille Pohjois-Israelissa (tapaus tunnetaan myös nimellä Bekaa Valleyn taistelu). Lähtötilanne operaatiolle oli seuraava: Syyria oli ryhmittänyt ilmapuolustuksensa tueksi Bakaa Valleyn alueelle 19 SA-2, SA-3 ja SA-6 ohjuksista koostuvaa ilmatorjuntaohjuspatteria. Syyrian ilmakomponentin muodostivat MiG-21 ja -23 koneet ilmaherruusroolissa sekä Su-17 ja -22 koneet ilmasta-maahan tehtävissä koneiden yhteislukumäärän ollessa n. 100. Israelin kalustona operaatiossa olivat kauko-ohjatut lennokit valemaaleina ja sensorialustoina, F-4 Phantom koneet iskuosastoroolissa, uuden sukupolven F-15 Eagle ja F-16 Fighting Falcon koneet ilmaherruusroolissa sekä E-2C Hawkeye AEW valvontakoneet taistelunjohtotehtävissä.<sup>47</sup>

Operaatio alkoi kesäkuun 9. päivänä kello 14:00. Havaittuaan israelilaiset koneet syyrialaiset käskivät omat CAP-hävittäjensä laskeutumaan luottaen ilmatorjuntansa tehokkuuteen. Israelilaiset käyttivät ensin miehittämättömiä lennokkeja valemaaleina simuloidakseen rynnäkkökoneiden tutkasignaalia tavoitteenaan saada syyrialaiset aktivoimaan ilmatorjuntaohjuspattereidensa tutkat. Kun Syyrialaiset toimivat odotetusti, käyttivät iskuosastona olleet F-4: set tutkahakeutuvia AGM-78 ja AGM-45 ohjuksia tuhotakseen ne. Tämän jälkeen jäljelle jäänyt valvonta- ja havainnointikyky altistettiin aktiiviselle ja passiiviselle elektroniselle häirinnälle tarkoituksena luoda ns. sokeakohta Syyrian ilma-aseen toimintaketjuun. Seurauksena tästä oli, että taisteluun lähetetyt Syyrian hävittäjät joutuivat luottamaan pelkästään konekalustonsa omaan tutkakykyyn, mutta tämänkin jouduttua elektronisen häirinnän kohteeksi heidän tilannetietoisuutensa ilmatilasta ympärillään pieneni lopulta näköetäisyyden tasolle ilman radioyhteyttä maassa olevaan taistelunjohtoon. Israelilaiset käyttivät tämän hyödykseen taistelutaktiikalla, jossa E-2C:den johtamat F-15 hävittäjät ampuivat ensin AIM-7 Sparrow ohjuksensa BVR-etäisyyksiltä. Tätä seurasivat F-16: set, jotka johdettiin Syyrian koneita vastaan näköetäisyydelle pimeästä sektorista sivulta, jossa syyrialaisissa koneissa ei ollut tutkavaroitussjärjestelmää. Kahdessa tunnissa Israelin koneet tuhosivat 17 ilmatorjuntaohjuspatteria 19:sta sekä 29 syyrialaista hävittäjää. Seuraavien kahden päivän aikana Israelin koneet tuhosivat jäljelle jääneet kaksi ohjuspatteria sekä eri lähteistä riippuen 53–58 syyrialaista hävittäjää lisää lopputuloksen ollessa 87 (82)-0. Vaikkakin israelilaisten hävittäjät olivat teknisesti modernimpia korvaten näin syyrialaisen konemäärällisen ylivoiman, on operaatiossa nähtävissä miten koko Syyrian ilma-aseen toimintakyky lamautettiin täysin viemällä heiltä kyky

muodostaa tilannetietoisuus taistelusta ja tämän seurauksena kyky päästä edes tulenkäytön vaiheeseen. Esimerkistä voi nähdä kuinka tuhoamalla syyrialaisen valvonta- ja johtamisjärjestelmän israelilaiset hankkivat itselleen operatiivisen tilannetietoisuusedun suhteessa vastustajaansa, jonka seurauksena heillä oli myös taktinen tilannetietoisuusetu varsinaisessa ilmataisteluvaiheessa.<sup>48</sup>

Perinteisesti laitteita käyttävät ihmiset ovat loppujenlopuksi ratkaisseet sen, kummalla taistelun osapuolella on parempi tilannetietoisuus taistelukentällä. Nykyään tilannetietoisuusetu pyritään saavuttamaan tai sen saavuttaminen varmistamaan teknologisen ylivoiman kautta, koska toisin kuin Bekaa Valleyn esimerkin mukainen ihmisten toiminnan välityksellä hankittu tilannetietoisuusetu, on teknologian mahdollistama etu välitön ja pitkälti riippumaton järjestelmää käyttävien onnistumisesta tehtävässään. Yhdysvaltojen maanpuolustuskorkeakoulussa julkaistun McNairmuistion johtopäätös tilannetietoisuuden merkityksestä sekä siihen vaikuttavista tekijöistä ilmasta-ilmaan taistelussa empiiristen kokeiden perusteella on seuraava: ”Yhteenvetona ei-teknologiset vaikuttimet taktisen edun hankkimiseen, vaikkakin mainitsemisen arvoisia, eivät kykene samaan vaikutukseen kuin teknologiset ratkaisut. Etu informaation käsittelyteknologiassa sovellettuna tilannetietoisuuden parantamiseen kykenee tuomaan 4-5 kertaisen edun ilmasta-ilmaan pudotuslukuihin, mutta on myös huomioita, että parempi taistelutaktiikka, koulutus, joukkojen käyttö tai organisaation järjestelyt voivat myös tuoda etuja taktisella tasolla. Kuitenkin tilanteessa, jossa osapuolilla on käytössään yhteneväinen kalusto ja järjestelmät, tilannetietoisuusedun ja voittojen saavuttamisen ilmataistelussa ratkaisevat perinteiset inhimilliset tekijät kuten aivojen kyky ottaa vastaan ja tulkita tietoa sekä muodostaa sen pohjalta käsitys missä kukin kohde on ja mitä ne tekevät vastustajaa nopeammin tai tehokkaammin.”<sup>49</sup>



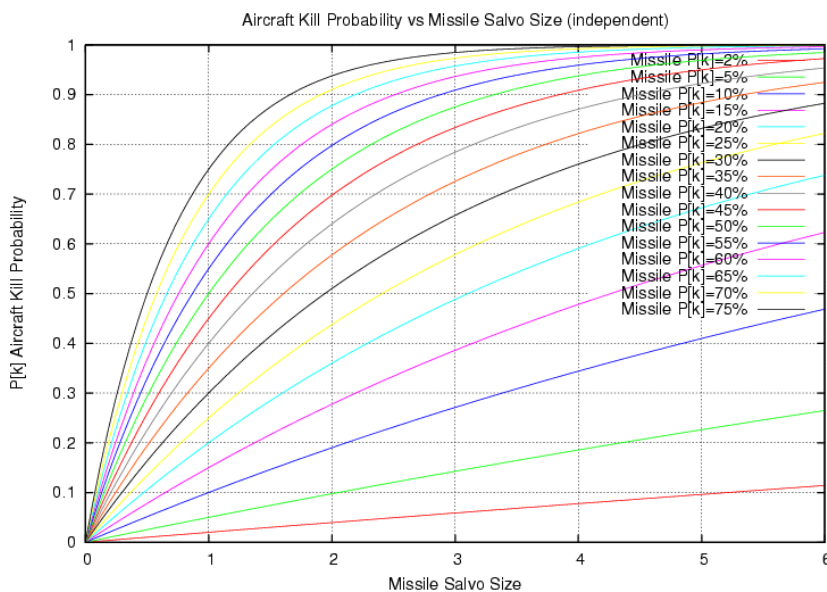
Kuva 3. Pelkistetty ilmataistelun pudotus/selviytymis-skenaarion tapahtumaketju<sup>50</sup>

## 2.4 Taktiset mallit

Ilmataistelun taktisista malleista puhuttaessa huomattava tekijä on, että nykyaikana suuri osa hävittäjien käytön sekä yksittäisen hävittäjän liikehännän taktiikasta on pitkälti yhtenäistä ilmoimissa ympäri maailmaa. Tämä johtuu pääasiassa kahdesta seikasta: 1. käytössä olevien eri hävittäjämallien lukumäärän ja eri konetyyppien välisten erojen vähentymisestä, jonka seurauksena koneiden taktiset käyttömahdollisuudet ovat hyvin lähellä toisiaan, ja 2. ilmataistelutaktiikan kehityksestä tasolle, jossa kaikki koneiden eri käyttömahdollisuudet ilmataistelussa ovat yleisesti tiedettyjä. On kuitenkin nähtävissä, että on olemassa kaksi perusteltavasti erilaista lähestymistapaa ilmataisteluun: laadullinen (=länsimainen) ja määrällinen (=itämainen). Tämä ero on syntynyt pääosin siitä, että länsimaisten hävittäjien suunnittelufilosofia ja erityisesti suunniteltu käytötapa eroaa itämaisista hävittäjistä.<sup>51</sup>

Länsimainen laadullinen ilmataistelutaktiikan malli perustuu korkeaa teknologiaa, erityisesti avioniikkaa, hyödyntävien hävittäjien optimaaliseen käyttöön ja niiden selviytymiseen ilmataistelussa sekä ilmataisteluohjusten tehokkuuteen. Itämainen taktinen malli taas perustuu vastustajan ylikuormittamiseen lukumäärällisesti ja se pohjautuu operaatioanalyysiin aiemmin puhutuista ilmataisteluohjusten pudotustodennäköisyyksistä.<sup>52</sup> Mallin mukaan odotettavissa oleva pudotustodennäköisyys yhdellä ohjuksella on niin pieni varsinkin nykyaikaisia vastakeinoja ja häirintää käyttävää vastustajaa vastaan, että se tulisi olemaan suurin este menestykselle ilmataistelussa. Täten edullisin tapa saavuttaa pudotus on joko ampua maalia usealla ohjuksella tai ylikuormittaa se konemäärällisesti. Tämä päätelmä vastaa kysymykseen, miksi Sukhoi 27:n eri variaatiot kantavat vähintään kahdeksaa ja yleisimmin 10–12:sta ilmataisteluohjusta taisteluaseistuksenaan. Itämaisen taktisen mallin mukaan hävittäjä ampuisi havaitessaan ja hyökätessään 3-4 mahdollisesti eri hakupäillä varustettua ohjusta parantaen näin merkittävästi pudotustodennäköisyyttä ja tämän kautta omaa selviytymiskykyään. Maalina ollut kone olisi todellisissa vaikeuksissa, koska sen täytyisi selvitä tilanteesta häirinnän, vastakeinojen ja/tai liikehännän avulla.<sup>53</sup> Konemäärällinen ylivoima taas sallii ohjuksensa ampuneiden koneiden irtaantumisen taistelusta ja uusien koneiden tulon taisteluun kyeten näin jatkamaan taistelun painopistealueen kuormittamista. Länsimainen taktinen malli luottaa vastaavasti koneen järjestelmien ja aseistuksen kautta hankittuun suureen pudotustodennäköisyyteen ja selviytymiskykyyn.

Huomioimisen arvoista on, että modernin (suihkukoneajan) ilmataistelun historiassa ratkaisevaan laadulliseen ylivoimaan on kyetty ainoastaan kolmessa konfliktissa (Israel – Bekaa Valley, Iso-Britannia – Falkland ja Yhdysvallat – Persianlahti). Missään näistä konflikteista osapuolten konekalusto ei ole ollut yhteneväistä ja kun ottaa huomioon länsimaalaisilla ohjuksilla saavutetut pudotustodennäköisyydet (AIM-120 0.59 ja AIM-9M 0.23), on länsimaisen mallin mukaan ope-roivalla ilmakomponentilla oltava joku muu laadullinen ero tulevaisuudessa, kuten esimerkiksi tilannetietoisuusetu (mahdollisesti häivekoneella hankittu), ratkaisevasti parempi kyetäkseen il-maherruuteen.<sup>54</sup> Esimerkiksi paras mahdollinen skenaario tilanteessa 1x F-18C/D Hornet vastaan 1x Su-30MK/Su-35BM Flanker (häirintää/muita koneita ei oteta huomioon) olettaen, että AIM-120:en pudotustodennäköisyys on jossain rekisteröidyn 0.59 ja valmistajan ilmoittaman 0.85 vä-lillä ja, että parempien järjestelmien, niiden käyttäjien ja paremman tilannetietoisuuden kautta F-18 pääsee ampumaan ensimmäisenä huolimatta Su-30MK/Su-35BM koneissa yleisimmän käyte-tyn R-27 ohjuksen pidemmästä kantamasta, on, että F-18 saavuttaa yli 90 %:n pudotustodennä-köisyyden vasta 2-4 ohjuksella. Tämä tarkoittaa  $\frac{1}{4}$  -  $\frac{1}{2}$  Hornetin pitkän kantaman ohjuksista, joka johtaa ongelmalliseen tilanteeseen skenaariossa, jossa joko vastustajalla on huomattava konemää-rällinen ylivoima tai omalla puolella on rajallinen ohjuskanta käytettävissään. On kuitenkin rea-listista sanoa, ettei tämän tapaiseen optimaaliseen toimintaan tulla kykenemään todellisissa ilma-taistelukohtaamisissa, joten onkin realistisempaa odottaa vaihtosuhteen olevan usean koneen vä-lisessä ilmataistelussa noin yhden suhde yhteen.<sup>55</sup>



Kuva 4. Pudotustodennäköisyys / ammuttujen ohjusten lukumäärä (yksittäiset ohjukset)<sup>56</sup>

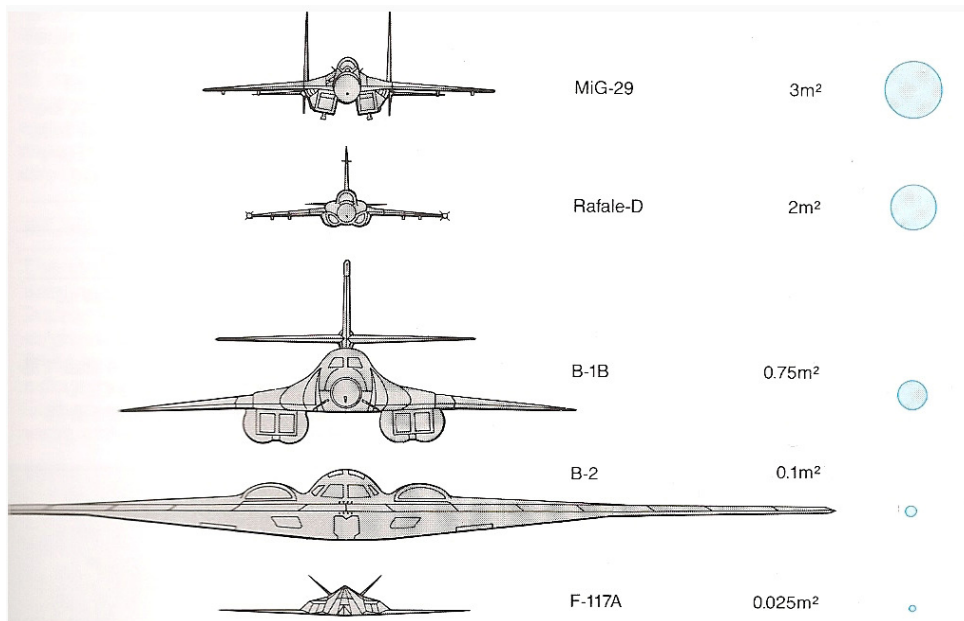


### 3. HÄIVEKONEET

#### 3.1 Häiveteknologia viidennen sukupolven häivehävittäjissä

Häiveteknologia ymmärretään usein kapea-alaisesti keinoksi heikentää esineen havaittavuutta tutkalla. Häiveteknologian kenttä on kuitenkin huomattavasti monialaisempi, sillä se kattaa kaikki ne keinot, joilla esineen havaittavuutta, paikantamista ja tunnistamista sähkömagneettisella tai näkyvän valon spektrillä pyritään heikentämään.<sup>57</sup> Viidennen sukupolven häivehävittäjän konsepti perustuu häiveominaisuuksien ja ilmataistelun edellyttämien lento-ominaisuus ym. vaatimusten yhdistämiseen. Häiveominaisuuksissa on keskitytty kahteen pääkeinoon minimoida havaittavuus: hävittäjän tutkapoikkipinta-alan ja infrapunajäljen minimointi.

Ymmärtääkseen häiveteknologian käytön hävittäjissä tulee ensin ymmärtää miten havainto koneesta saavutetaan tutkalla. Yksinkertaistettuna tutkan toimintaperiaate on seuraava; tutka lähettää korkeaenergistä tutkasäteilyä, joka kohteeseen osuttuaan aikaansaa sähkömagneettisen varauksen kohteessa. Varaukentät aikaansaavat elektromagneettisen aallon, jonka tutka havaitsee tutkakaikuna. Saatavan tutkakaiun voimakkuus on sama kuin kyseisen kohteen tutkapoikkipinta-ala. Kohteen tutkapoikkipinta-ala ilmoitettuna neliömetreissä tarkoittaa metallisen pallon pinta-alaa, jonka tutkakaiun energiamäärä on sama. Mitä pienempi tutkapoikkipinta-ala kohteella on, sitä vaikeampi sitä on havaita ja sen tunnistusetäisyys pienenee.<sup>58</sup> Tutkapoikkipinta-alan suuruuteen vaikuttaa kohteen perusarvon lisäksi mistä kulmasta kohdetta tarkastellaan ja mikäli kyseessä on häivekone, se mille tutkataajuusalueelle kyseisen koneen häiveominaisuudet ovat suunniteltu.



Kuva 5. Esimerkkikuva eri konetyyppien edestäpäin katsottujen tutkapaikkipinta-alojen arvioista<sup>59</sup>

Tutkapaikkipinta-alan minimoimisella tarkoitetaan siis koneesta heijastuvan tutkakaiun minimoimista ja suuntaamista harmittomaan suuntaan. Sotilaallisesti merkittävän tutkapaikkipinta-alan pienentymisen saavuttamiseksi häivekoneissa käytetään tällä hetkelle yleisesti kolmea pääasiallista häiveteknologiaa: 1. kone on muotoiltu siten, ettei se lähetä oletetun vastaanottavan tutkan (monostaattisessa tutkassa lähetin ja vastaanotin sijaitsevat samassa pisteessä) suuntaan suuria tutkaheijastuksia, 2. koneessa käytetään tutkasäteilyä absorboivia RAM-materiaaleja, jotka imevät tutkasäteilyä ja vaimentavat heijastamisen sijaan, 3. naamioidaan tai suljetaan pois kaikki jäljelle jäävät heijasteet (emissiot).<sup>60</sup> Kaikki nämä häivetekniikat koostuvat monimutkaisista teknisistä ratkaisuksista, joiden yksityiskohtainen tunteminen ei ole kuitenkaan ilmataistelutaktiikan ymmärryksen näkökulmasta tarpeellista. 1990-luvun alussa venäläiset esittivät väitteen uudenlaisesta teknisestä ratkaisusta toteuttaa häiveominaisuus lentokoneeseen. Tämä ns. plasma-stealth tekniikka toimisi laitteella, joka luo koneen ympärille plasmapilven. Tutkaenergiasta osa kiertäisi pilven osumatta sen sisällä olevaan koneeseen, ja tutkaenergia, joka osuisi koneeseen, absorboituisi osuessaan heijastuessaan takaisin pilveen. Plasma-stealth teknologian toimivuudesta ei vielä ole saatu todisteita, eikä sitä ole tietävästi operatiivisessa käytössä Venäjällä.<sup>61</sup>

Tutkan lisäksi yksi keino havaita häivekohteita suurelta etäisyydeltä ovat passiiviset infrapunasensorit (IRST), jotka tunnistavat moottorista ja koneen rungosta peräisin olevan lämpösätei-

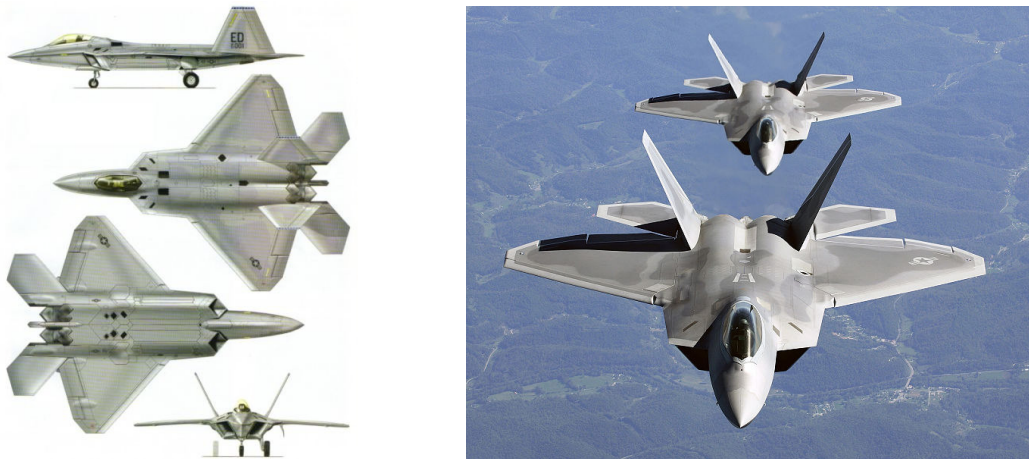
lyjäljen. IR-sensorien käytön yleistymisen on johtanut siihen, että häivehävittäjissä koneen infrapunajäljen pienentäminen on olennaista. Infrapunasäteily on pääosin peräisin suihkumoottorin osista, suihkuvirtauksesta ja koneen rungosta. Häivehävittäjissä, kuten F-22 ja F-35, suihkumoottorin materiaalivalinnoilla sekä asymmetrisellä tai kaksikulotteisella moottorin ulostulon muotoilulla pienennetään huomattavasti moottorin infrapunajälkeä.<sup>62</sup> Koneen rungon säteilemän infrapunasäteilyn pienentämiseen käytetään häivehävittäjissä ns. suljetun kierron jäähdytysjärjestelmää, missä rungon lämpösäteily siirretään polttoaineeseen ja virtaviivaista rungon muotoilua ilmavirran synnyttämän kitkan minimoimiseksi.<sup>63</sup> Näiden ratkaisujen lisäksi on olemassa useita muita teknisiä ratkaisuja ja vaihtoehtoja infrapunasäteilyn minimoimiseksi.

Teknologisten ratkaisujen lisäksi häivehävittäjän operatiiviseen toimintamalliin tulee kuulua myös koneesta lähetettävän säteilyn (emissioiden) minimoiminen. Häivehävittäjän täytyy useimmiten käyttää sekä viestijärjestelmiään että tutkaansa operoidessaan. Nämä taas lähettävät tutka- ja radiotaajuista säteilyä, jota voidaan vastustajan toimesta käyttää hävittäjän paikan selvittämiseen tai jopa maalinnukseen tutkahakuiselle ohjukselle. Osaratkaisun ongelmaan tarjoaa lähetyksiä salaavat häirintälähettimet sekä salatut tietovuojärjestelmät. Koska kaikkia lähetyksiä ei kuitenkaan ole mahdollista poistaa ellei kone suorita ennalta määrättyä tehtävää täysin omatoimisesti, on hävittäjän pyrittävä ilmataistelussa lähettämään vain tarvittaessa.

## 3.2 Viidennen sukupolven häivehävittäjät

### 3.2.1 F-22 Raptor – operatiivinen häivehävittäjä

Tällä hetkellä operatiivisessa käytössä ulkomailla on ainoastaan yksi häivehävittäjä, USA:n ilmapvoimien F-22 Raptor. F-22 Raptor on yksipaikkainen, kaksimoottorinen häivehävittäjä, joka on suunniteltu korvaamaan F-15 Eagle ilmaherruushävittäjä. Sen suunniteltu päätehtävä on ilmaherruuden ottaminen toimintaympäristöstä riippumatta, mutta se kykenee myös suorittamaan ilma- maahan, elektronisen sodankäynnin ja tiedustelun tehtäviä.



Kuva 6. F-22 Raptor profiilikuva ja pari jonomuodostelmassa<sup>64</sup>

F-22 projekti alkoi alun perin vuonna 1981 nimellä ATF. Vaatimuksena oli kehittää viidennen sukupolven ilmaherruushävittäjä, joka saavuttaisi ”first-look, first-shot, first-kill” vaatimuksen kaikissa olosuhteissa kaikkia vihollisia vastaan.<sup>65</sup> Tarkempina teknisiä vaatimuksia olivat mm: kolmannen sukupolven häiveominaisuudet (pienempi RCS kuin B2 ja F117 koneissa), supercruise (yliääninen matkalentonopeus), laajennettu liikehtimiskyky (liikkuvat 2D-suihkusuuttimet), helpompi huoltojärjestelmä ja integroitu avioniikka.<sup>66</sup> ATF-projektiin luotiin kaksi kilpailevaa prototyypimallia; YF-22 ja YF-23, joista YF-22:ta pidettiin liikehtimiskykyisempänä, kun taas YF-23 omasi paremmat häiveominaisuudet. Valinnassa kilpaili myös kaksi eri näkemystä siitä, miten ilmataistelu voitetaan tulevaisuudessa. YF-23:en parempien häiveominaisuuksien uskottiin auttavan konetta paremmin tunkeutumaan vihollisen ilmatilaan, ottamaan se haltuun ja selviytymään takaisin ammuttuaan kaikki ohjukset vihollisen sitä näkemättä. YF-22:en valttina puolestaan pidettiin parempaa liikehtimiskykyä, jota oli ilmataistelun historiassa aina lopulta tarvittu vihollisen lyömiseen.<sup>67</sup> YF-22:en valinta projektin voittajaksi oli lopulta kompromissi häive- ja liikehtimisominaisuuksien välillä.

Hävittäjä saavutti operatiivisen valmiuden vuonna 2006, mutta sitä ei ole vielä käytetty operaatioissa.<sup>68</sup> F-22:en ilmataistelukyvyistä saadut kokemukset rajoittuvatkin simuloituihin ilmataisteluharjoituksiin ja niistä julkaistuihin tietoihin pudotussuhteista sekä osallistujien kommentteihin. F-22:den ensimmäinen harjoitus oli Northern Edge kesäkuussa 2006, jossa se kolmen parven voimin (12 konetta) saavutti viikon kestäneissä ilmataistelusimulaatioissa pudotussuhteen 144:0.<sup>69</sup> Vuonna 2007 F-22 debytoi Nato-maiden Red Flag ilmataisteluharjoituksessa, jossa se lensi simu-

loituja ilmaoperaatioita F-16 ja F-15 – hävittäjiä vastaan. Lisäksi harjoituksessa oli simuloituna sekä ammus- että ohjusilmatorjunta ja vihollisen elektronisen sodankäynnin uhat. Virallista pudotussuhderaporttia ei ole julkaistu, mutta ilmavoimien edustajat myöntävät yhden F-22:en joutuneen ammutuksi alas (tapaus johtui raporttien mukaan F-22 lentäjän luultua ”uudelleen syntyneitä” konetta jo ammutuksi). F-22 vaikuttaakin näiden harjoitusten perusteella olleen ylivoimainen kyseisiin konventionaalisiin hävittäjiin verrattuna. Harjoitukseen osallistuneiden lentäjien kommentit antavat kuitenkin parhaan käsityksen siitä, minkälaista häivehävittäjää vastaan on lentää ilmataistelussa:

“En pysty havaitsemaan sitä”, sanoi Australian ilmavoimien laivueen komentaja Stephen Chappell, F-15 vaihtokoulutuslentäjä. F-22 ei anna minun lukita asejärjestelmää siihen edes silloin, kun näen sen visuaalisesti ohjaamosta. F-22:ta vastaan lentäminen ärsyttää minua.”

Laivueen komentaja everstiluutnantti Larry Bruce myöntää, että lentäminen Raptoria vastaan on erittäin turhauttava kokemus. Hän toteaa, että ”lentäminen F-22:ta vastaan pistää sinut nöyräksi, ei vain sen takia, että se on häivehävittäjä, mutta koska sillä on myös ylivoimainen liikehtimis- ja suorituskyky.”

”Yritimme jopa ylikuormittaa heidät (F-22:det) määrällisellä ylivoimalla ja epäonnistuimme”, sanoi everstiluutnantti Bruce.

”F-15:sen lentäjän tulee kerätä informaatio eri näytöiltä ohjaamossa ja tehdä niiden pohjalta omat johtopäätöksensä tilanteestaan, ja sitten toimia sen mukaan”, sanoi kersantti Perkins. ”F-22:ssa kaikki informaatio on koottu, koordinoitu ja integroitu yhdeksi ainoaksi näyttökuvaksi.” Hän kertoi kuinka tämä kyky vapauttaa lentäjän informaation tulkitsemisen tehtävästä ja mahdollistaa nopeamman päätöksentekokyvyn ilmassa.<sup>70</sup>

### 3.2.2 Kehityksessä olevat häivehävittäjät

F-35 Lightning II on aiemmin Joint Strike Fighter nimellä kulkenut kansainvälinen hävittäjäprojekti, jossa kehitetään samanaikaisesti kolme eri versiota (CTOL, STOVL ja CV-versiot). F-35 on yksipaikkainen, yksimoottorinen monitoimihävittäjä, joka on kehitetty korvaamaan F-16, A-

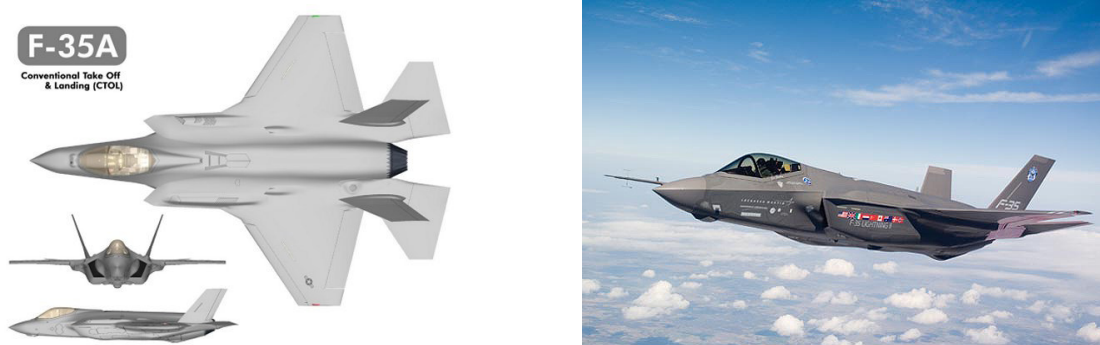
10, F/A-18 ja Harrier koneet. F-35:den häiveteknologiaa ei ole viety yhtä pitkälle kuin F-22:n, vaan sen arvioitu tutkapaikkipinta-ala on raporttien mukaan n. 0.0015m<sup>2</sup> (etusektori). Tämän lisäksi sen häiveominaisuuksia on optimoitu eri aallonpituusalueelle kuin F-22:den.<sup>71</sup>

F-35 on tulevaisuuden ilmasodankäynnin kannalta merkittävä hävittäjä, koska sillä suunnitellaan korvattavan useiden maiden hävittäjäkalusto seuraavien 20 vuoden aikana. Yhdysvaltojen ja Ison-Britannian lisäksi seuraavat maat ovat hankkineet tai suunnittelemassa F-35:den hankkimista: Norja, Tanska, Alankomaat, Italia, Kreikka, Turkki, Israel, Australia ja Kanada. Sitä pidetään lisäksi lähes ainoana potentiaalisena vaihtoehtona nykyisen länsimaisen hävittäjäkaluston korvauksiksi tulevaisuudessa.<sup>72</sup>

Toisin kuin Yhdysvalloissa ja Isossa-Britanniassa, lähes kaikissa muissa maissa joissa koneen hankkimista harkitaan, tulisi F-35:den päätehtävä olemaan ilmatilan puolustaminen. F-35:ttä ei kuitenkaan ole lähtökohtaisesti suunniteltu ilmaherruushävittäjäksi sen alkuperäisten suunnittelijamaiden tarpeista johtuen, vaan koneen on kuvailtu kykenevän suorittamaan ilmataistelutehtäviä tarpeen vaatiessa. Koneen ilmataisteluomaisuuksien rinnastaminen lähes omasuojatarkoituksiin sekä viime aikoina julkaistut kriittiset raportit ovat asettaneet sen ilmataistelusuorituskyvyn kyseenalaiseksi. Esimerkiksi RAND-Corporation, Air Power Australia ja Center for Defence Information – tutkimuslaitosten analyyseissä F-35:ttä kuvataan WVR-suorituskyvyn osalta huomommaksi kuin neljännen sukupolven hävittäjiä, kuten F-16 (Kts - kuvaajat s.16). Arvostettu ilmailun asiantuntija Bill Sweetman kirjoittaa Defence Technology Internationalin kolumnissaan, että hänen sekä muiden asiantuntijoiden, kuten F-16:sta ja A-10:en suunnittelija Pierre M. Spreyn mielestä väitteissä on todenperäisyyttä. F-35:den valmistaja Lockheed Martin julkaisi analyyseiden julkistusten jälkeen oman raporttinsa, jossa F-35:den sanotaan olevan vähintään 400 % suorituskykyisempi kuin muut markkinoilla olevat hävittäjävaihtoehdot.<sup>73</sup> Tämän voidaan perustellusti sanoa olevan kuitenkin melkoista liioittelua koneen valmistajan taholta, erityisesti kun konetta verrataan esimerkiksi uusimpiin Sukhoin malleihin tai Eurofighter Typhooniin.

Koneen teknisiä tietoja ja raporteissa kritisoituja ominaisuuksia arvioitaessa löytyy kritiikille osittain aihetta. BVR-operoinnin kannalta koneen uusi AN/APG-81 tutka, moderni sensorijärjestelmä sekä datan integrointi ilmatilannekuvaksi, antavat koneelle hyvän lähtökohdan ilmataisteluun tilannetietoisuuden kannalta.<sup>74</sup> Keskeisin ongelma koneen BVR-operoinnissa onkin koneen sisäisen ilmasta-ilmaan asekuorman suuruus. F-35:den sisäisiin asesiiloihin mahtuu vain kaksi joko

keski- tai lyhyen matkan ilmataisteluojusta, joten ainoa keino kantaa enemmän ohjuksia mukana on sijoittaa ne siipipyloneihin heikentäen samalla koneen häiveominaisuuksia ja tämän kautta koneen selviytymiskykyä ilmataistelussa. Käytännössä tämä tarkoittaa, että mikäli konetta halutaan käyttää ilmaherruuden saavuttamiseen asettamatta koneita vaaraan joutua näkökantaman sisäpuoliseen kaartotaisteluun, vaaditaan tehtävän suorittamiseen huomattavan suurta konemäärää tai vaihtoehtoisesti erittäin tiheää tehtävärytmiä. Tilanne on erityisen vaikea ajatellen operointia määrällisesti suurempaa ilmakomponenttia vastaan. Lisäksi on riski, että kone joutuu nopeasti itse uhatuksi, mikäli sen ampumat kaksi ohjusta eivät osu maaliinsa.<sup>75</sup> Tilanne saattaa kuitenkin korjaantua tulevaisuudessa. Aviation Week & Space Technology raportoi marraskuussa 2007, että F-35:den tulevat versiot on mahdollista päivittää kantamaan kuutta AIM-120 AMRAAM ilmataisteluojusta sisäisesti.<sup>76</sup> Jos näin tapahtuu, on F-35 varteenotettava vaihtoehto myös ilmataistelussa olettaen, että sen kehittyneet verkotetut järjestelmät antavat sille suuren tilannetietoisuus- ja käytettävyyshedun ilmataistelussa. Koneen häiveominaisuuksien arvioinnin kannalta tilanne on epäselvä. F-35:tä kutsutaan Yhdysvaltain taholta jopa kehittyneemmäksi kuin F-22:ta, mutta koska sen häiveominaisuudet on optimoitu eri aallonpituusalueelle kuin F-22:den, niiden on arvioitu olevan ilmataistelussa käytännössä huonommat kuin F-22:den. F-35:den häiveominaisuudet on suunniteltu lähtökohtaisesti ilmatorjuntaohjusjärjestelmien käyttämiä tutkia vastaan, joten on arvioitu, että vaikka sen edestä katsottu tutkapaikkipinta-ala on pieni, on sen kylkiprofiilin tutkapaikkipinta-ala merkittävästi suurempi ja tämä huonontaa oleellisesti sen ilmataistelukykyä.<sup>77</sup>



Kuva 7. F-35A (CTOL) profiilikuva ja ensimmäinen tuotantokone lennossa<sup>78</sup>

Sukhoi PAK-FA / T-50 on Venäjän, Intian ja Brasilian yhteiskehityksessä oleva vastine F-22 Raptor hävittäjälle. Se perustuu teknologialtaan kahteen prototyyppimalliin; S-37 Berkut ja MIG

1.44. Venäjän ilmavoimien lähteiden tietojen perusteella PAK-FA tulee olemaan kaksimoottorinen viidennen sukupolven hävittäjä ja se on varustettu kehittyneillä häiveominaisuuksilla, 3D-suihkusuuttimilla, supercruisella ja AESA-tutkalla. Koelennot koneella on tarkoitus aloittaa 2009, ja sarjatuotantoon kone on tarkoitus saada aikajänteellä 2012–2015. Timo Raatikainen johtopäätös tutkimuksessaan ”Tulevaisuuden taistelukone – Venäläinen näkökulma” PAK-FA:n suorituskyvystä on seuraava: ”Venäläinen kone on todennäköisesti edelleen ”karkeampi” ja monilta osiltaan yksinkertaisempi, kuin läntiset vastineensa. Todennäköisesti venäläisen taistelukoneen tärkein valtti tulee olemaan sen liikehtimiskyky. Uskon sen rajoituksistaan huolimatta vastaavan hyvinkin tulevaisuuden ilmasodan asettamiin vaatimuksiin.”<sup>79</sup>



Kuva 8. Suihkumoottorivalmistaja NPO Saturnin konseptikuva T-50 / PAK-FA häivehävittäjästä<sup>80</sup>

### 3.2.3 Häiveominaisuuksia sisältävät konventionaaliset hävittäjät

Häiveominaisuuksilla varustettuja konventionaalisia hävittäjiä kutsutaan usein termillä 4.5 tai 4+ sukupolven hävittäjä ja niitä ovat mm. Eurofighter Typhoon, Dassault Rafale, F-18E/F Super Hornet, Jas-39 Gripen NG, Sukhoi Su-30/35 sekä uusi F-15 Silent Eagle. Kaikissa näissä hävittäjissä yhteistä on se, että niiden suunnittelun lähtökohtana ei ole ollut häiveominaisuuksien maksimoiminen. Erilaisia häiveteknologioita, kuten RAM-materiaaleja ja muotoilutekijöitä on kuitenkin integroitu koneisiin, mutta esimerkiksi ulkoisissa ripustimissa kannettava kuorma lisää koneiden tutkapaikkipinta-alaa todella paljon (poikkeuksena F-15 Silent Eagle, jossa on sisäiset aseripustimet). Arvioiden mukaan tutkapaikkipinta-ala näissä koneissa on noin 1m<sup>2</sup> luokkaa, tosin F-15 Silent Eaglen kerrotaan valmistajan mukaan kykenevän yhtä pieneen edestä katsottuun tutkapaikkipinta-alaan kuin F-35.<sup>81</sup> 1m<sup>2</sup> luokkaa oleva tutkapaikkipinta-ala ei tuo ilmataistelu-



suorituskykyyn vielä ratkaisevaa etua, mutta se ei myöskään välttämättä ole ratkaiseva tekijä esimerkiksi BVR-ilmataistelun tapauksessa, kuten seuraavan luvun analyysistä selviää.<sup>82</sup>

## 4. HÄIVEHÄVITTÄJÄ NYKYAIKAISESSA ILMATAISTELUSSA

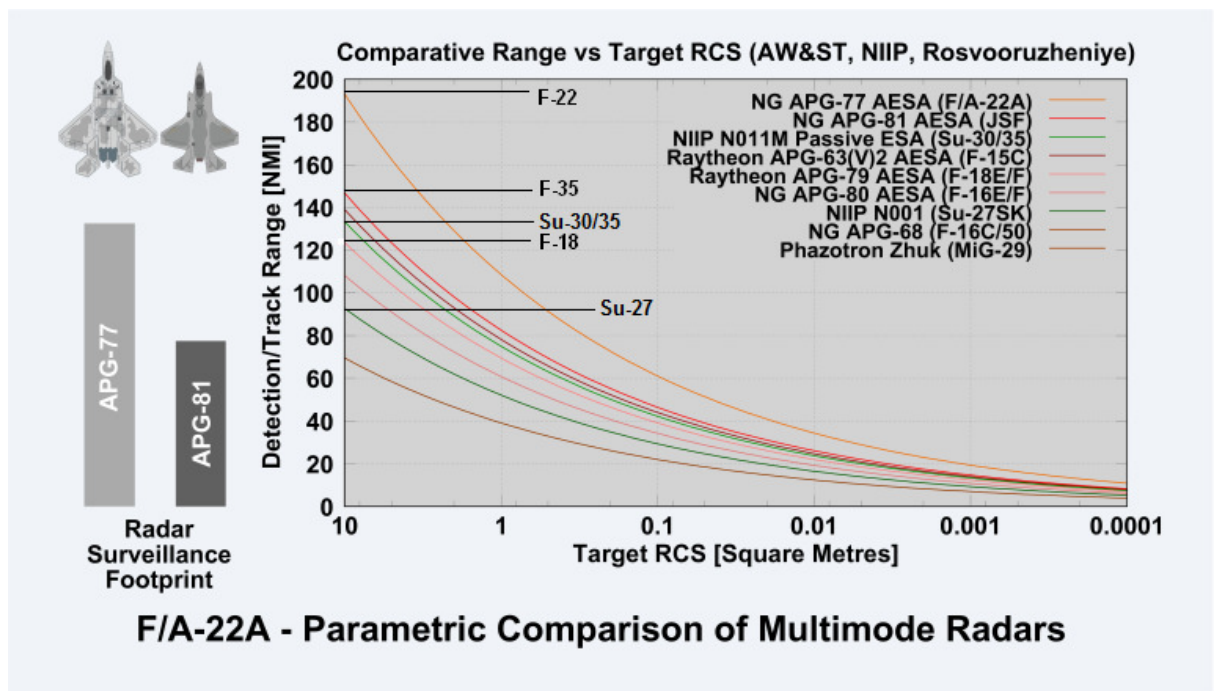
### 4.1 Viidennen sukupolven häivehävittäjien ominaisuuksien vaikutus ilmataistelutaktiikkaan

Vaikka F-22:sta ja muista kehitteillä olevista koneista käytetään julkisuudessa usein termiä häivehävittäjä, on tarkempi termi kuvaamaan niiden suorituskykyä ja ominaisuuksien kokonaisuutta ilmataistelussa, kutsua niitä viidennen sukupolven häivehävittäjiksi.<sup>83</sup> Viidennen sukupolven häivehävittäjissä häiveominaisuudet ovat vain yksi vaikuttava tekijä, vaikkakin näkyvin, niiden ilmataistelusuorituskykyyn ja – taktiikkaan. Viidennen sukupolven hävittäjissä eri ominaisuuksien yhdistelmästä muodostuu kokonais-suorituskyvyn kasvu ja ne mahdollistavat erilaisia sovelluksia ilmataistelutaktiikkaan. Häivehävittäjien suunnittelufilosofinen tavoite on ollut taata käyttäjälleen tilannetietoisuusetu ja laadullinen suorituskykyetä kaikissa tilanteissa.

Tilannetietoisuudella on erittäin tärkeä merkitys ilmataistelussa, kuten jo aiemmin todettiin. Häiveominaisuuksien suora ja välitön vaikutus ilmataistelun kulkuun on vastustajan tilannetietoisuuden pienentyminen. Häivehävittäjä kiistää vastustajan kyvyn havaita ja tunnistaa maali ajoissa, ja tuottaa käyttäjälleen suoran taktisen tilannetietoisuusedun. Toisin sanoen häiveominaisuudet ovat hävittäjän puolustuksellisia ominaisuuksia, joiden tarkoitus on mahdollistaa ilmataistelun voittaminen estämällä vastustajalta mahdollisuus käyttää niiden pääasejärjestelmää eli BVR-ilmataisteluohjusta. On huomioitavaa, että WVR-ilmataistelussa häivehävittäjä on kuitenkin huomattavasti haavoittuvampi, koska lämpöjälkeä johon lyhyen kantaman infrapunaohjukset haakeutuvat ei häivehävittäjissäkään kyetä poistamaan yhtä tehokkaasti kuin tutkakaikua<sup>84</sup>.

Ongelma ilmataistelussa häivehävittäjää vastaan voidaan havainnollistaa yksinkertaistetussa 1vs1 ilmataistelukohtaamisskenaariossa, jossa konventionaalinen hävittäjä F-18E/F, jonka RCS on arviolta n. 1-2m<sup>2</sup> luokkaa ja sen tutka on AN/APG-79, lentää kohtisuorassa ilmataistelukohtaamisessa viidennen sukupolven häivehävittäjä F-35:tä vastaan (RCS arvioitu n. 0.0015m<sup>2</sup>, tutka AN/APG-81).<sup>85</sup> Skenaariossa on käytetty yksinkertaistamisen vuoksi seuraavia olettamuksia: 1.

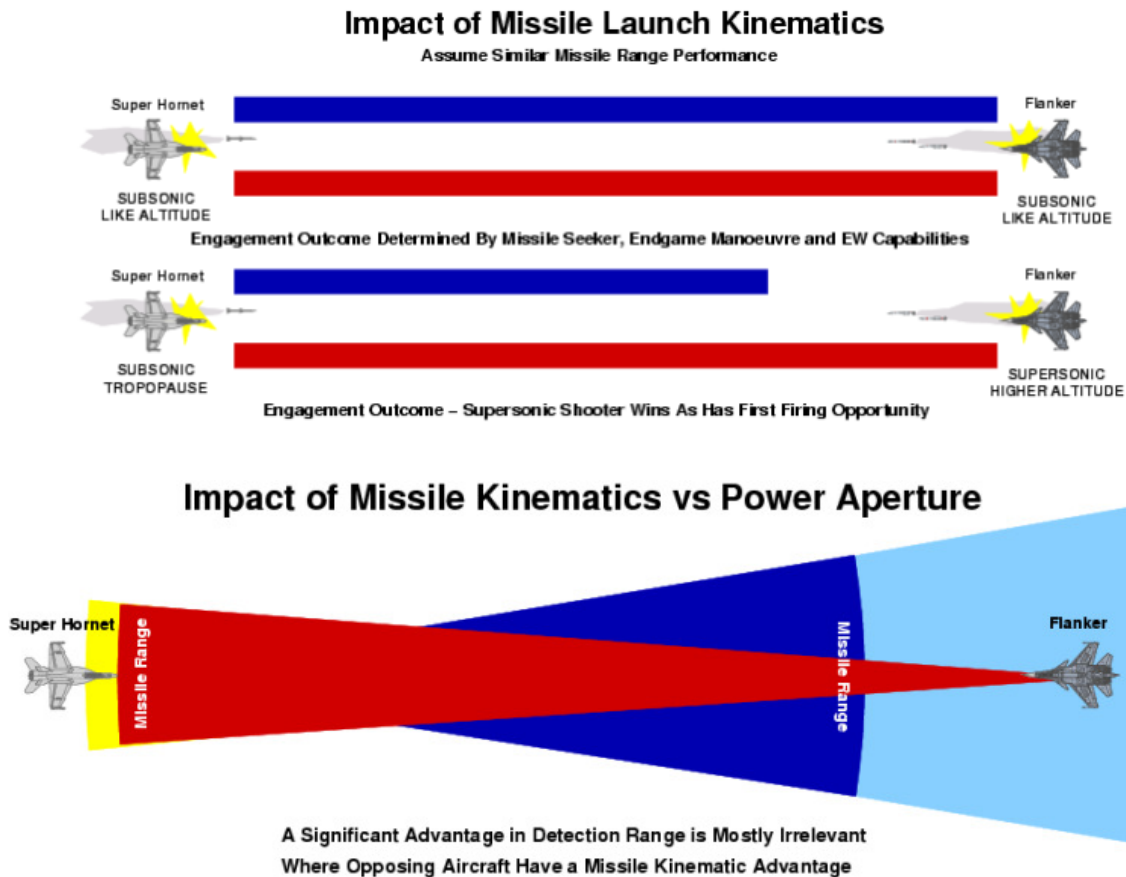
Molemmilla hävittäjillä on yhtäläinen BVR-aseistus (AIM-120C), 2. Elektronisen häirinnän käyttöä (esimerkiksi AESA-tutkalla ohjuksen lentosuuntapäivitystä vastaan) ei huomioida ja 3. F-18:sta ei ole esimerkiksi passiivista infrapunasensoria, jolla se voisi havaita F-35:den ja sen ampujan ohjuksen aikaisemmin käyttäen tietoa hyväksi liikehtimällä pois aseiden osuma-alueelta.<sup>86</sup>



Kuva 9. Tutkan tunnistusetäisyyden suhteessa kohteen tutkapaikkipinta-alaan<sup>87</sup>

Kaaviossa olevista arvoista voidaan nähdä, että F-35:n tutka havaitsee F-18:sta kohteena n. 80 NMI (=150km) etäisyydeltä, kun taas F-18:ta tutka havaitsee F-35:n n. 20NMI (=32,5km) etäisyydeltä. Tämä johtaa tilanteeseen, jossa häivehävittäjä F-35 kykenee järjestämään ja suorittamaan tutka-ammunnan BVR-etäisyydeltä ja irtaantumaan ennen kuin F-18:ta tutka havaitsee sitä. Suoran johtopäätöksen vetäminen siitä, että suurempi tutkan havaintoetäisyys johtaisi jokaisessa tilanteessa voittoon ilmataistelussa, on kuitenkin väärä. Mikäli ero havaintoetäisyyksissä on pienempi kuin esimerkkinä esitetty, esimerkiksi tapauksessa F-18 vastaan Su-27, tutkaa ratkaisevampi tekijä BVR-ammunnassa on ilmataisteluohjuksen kineettinen suorituskyky. Paremman kineettisen suorituskyvyn takia ohjuksella on pidempi kantama ja täten se myös saavuttaa aiemmin laukaisumahdollisuuden kohteeseen. Kineettisen energian määrä riippuu pääosin kolmesta seikasta: 1. ohjuksen tekniikka (muotoilu ja työntövoiman sisältämä energiamäärä), 2. laukaisulavettina toimivan hävittäjän kineettinen energia laukaisuhetkellä ja 3. laukaisulavetin potentiaalienergia suhteessa maaliin (potentiaalienergia kasvattaa kineettistä energiaa mikäli hävit-

täjä on maalia korkeammalla). Esimerkiksi Eurofighter Typhoon ja Sukhoi Su-30 on suunniteltu tämä periaatteen mukaan kineettisen suorituskyvyn maksimoimiseksi BVR-ammunnassa.<sup>88</sup>



Kuva 10. Ohjuksen laukaisukinematikan vertailu eri tilanteissa, ja vertailu ohjuksen kinematikan ja tutkan havaintoetäisyyden välillä.<sup>89</sup>

Tilannetietoisuuteen liittyvä keskeinen ongelma, johon lentäjä nykyaikaisessa ilmataistelussa törmää on niin sanottu informaatioylikuormitus. Tällä tarkoitetaan, että lentäjän tulee ilmataistelun aikana kyetä kokoamaan tarvittava tieto päätöksien ja toiminnan tueksi useista eri sensorilähteistä, ja lisäksi soveltamaan saatu kaksikulotteisesti esitetty informaatio 3D-avaruuteen. Viidennen sukupolven häivehävittäjissä on puututtu kehittämällä integroitu avioniikkajärjestelmä, joka esimerkiksi F-22:ssa kokoaa informaatiota koneen omilta sensoreilta, muilta ulkopuolisilta tiedustelu- ja tarkkailusensoreilta, tietokannoista sekä muilta tehtävätukikoneilta, kuten E-3 AWACS:lta. Avioniikkajärjestelmä prosessoi tämän jälkeen taistelukentän tiedoista tarkan kuvan, niin sanotun jumalan perspektiivin näkymän, jossa tarvittava tieto on esitetty helposti ymmärrettävänä näkymänä. Ilmataistelussa järjestelmän hyöty on se, että lentäjän ei tarvitse koota

informaatiota eri sensorinäytöistä vaan hän voi keskittyä omaan taistelutaktiikkaan/-tekniikkaan ja asejärjestelmän käyttöön. Datalinkin avulla ilmatilannekuvaa keskenään jakavat koneet kykenevät toimimaan tehokkaammin taistelukentällä ja hävittäjäparin tai -parven johtaminen helpottuu.<sup>90</sup>

Kolmas ilmataistelutaktiikkaan vaikuttava ominaisuus viidennen sukupolven hävittäjissä on supercruise – ominaisuus, kyky lentää ylitääninopeutta ilman jälkipolton käyttöä. Tällä ominaisuudella on useita ilmataistelutaktisia sovelluksia. Taistelukenttää ajatellen ylitääninopeuksinen matkalento mahdollistaa hävittäjälle laajemman partiointialueen, josta seuraa pienentynyt konetarve toiminta-alueita kohti, nopean siirtymisen ja irtaantumisen toiminta-alueella pienentäen näin ollen aikaa jonka hävittäjä viettää korkean riskin toiminta-alueella ja omien tappioiden todennäköisyyttä. Ylitääninopeuksinen matkalento on lisäksi huomattavasti polttoainetaloudellisempi ja se mahdollistaa suuremman toimintakorkeuden kasvattaen näin ilmataisteluohjusten kantamaa sekä koneen käytössä olevaa energiavarantoa liikehtimistä varten. Lisäksi vähentynyt jälkipolton tarve vähentää koneen infrapunajälkeä huomattavasti, tehden siitä vaikeammin havaittavan infrapunasensoreilla sekä vähemmän haavoittuvaisen lämpöhakuisia ilmatorjunta- ja ilmasta-ilmaan ohjuksia vastaan.<sup>91</sup>

Neljäs ja selkeästi perinteisin ominaisuusparannus on uusien ilmaherruushävittäjien tehostettu liikehtimiskyky, ns. supermaneuverability. Tätä ominaisuutta ei voida eritellä vain viidennen sukupolven häivehävittäjien ominaisuudeksi, koska se löytyy mm. Sukhoi-35/37 hävittäjistä, jotka ovat ns. 4.5 sukupolven hävittäjiä. Tehostetulla liikehtimiskyvyllä tarkoitetaan suihkuvirtauksen ohjauksella saavutettua erittäin tehokasta kaartokykyä. Tämä mahdollistaa mm. paremman liikehtimisen ylitääninopeuksilla ja WVR-ilmataistelussa kyvyn saada nopeasti kone käännettyä kohti maalia. On kuitenkin kyseenalaista millaista käytännön hyötyä tällä ominaisuudella on ilmataistelun kokonaisuuden kannalta, koska WVR-ilmataistelua pidetään nykyaikana viimeisenä mahdollisuutena, jota tulisi välttää mahdollisimman pitkään. Lisäksi uusien lyhyen kantaman ilmataisteluohjusten liikehtimiskyky ylittää minkä tahansa hävittäjän liikehtimiskyvyn, joten mikään hävittäjä ei kykene pelkästään liikehtimällä väistämään häntä kohti ammuttua ohjusta.

## 5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen tavoite oli antaa lukijalle perusteltu kuva mitä nykyaikainen ilmataistelu ilmasta-ilmaan tapahtuvana tulenkäytönmuotona on, sekä siitä, miten uutta häiveteknologiaa hyväksikäyttävät viidennen sukupolven hävittäjät vaikuttavat siihen. Kuten sodankäynnin kaikkia muotoja, myös ilmasotakäyntiä koskeva yleishuomio on, että lähitulevaisuudessa taistelemisen teknisyys entistä nopeampaa tahtia. Uuden sukupolven hävittäjät ja -asejärjestelmät, elektroninen vaikuttaminen ja tukitoimintojen monipuolistuminen luovat pohjan ilmataistelun uudelle toimintaympäristölle, jossa taisteluiden lopputuloksen ratkaisee kyky käyttää optimaalisesti teknisiä järjestelmiä toteuttaakseen OODA-loopin mukaista toimintaketjua ilmapuolustusjärjestelmän kokonaisuudessa. Ilmataistelutaktiikan kehittyminen on suoraa seurausta tämän tapaisesta muutoksesta. Tulevaisuuden ilmataistelutaktiikkaa arvioitaessa tulee pohtia sitä mikä on mahdollista toteuttaa, ei ainoastaan sitä, minkä oletetaan toteutuvan. Tutkimuksen tuloksena voidaan todeta, että nykyisten kehityslinjojen perusteella todennäköisin skenaario tulevaisuuden ilmataistelusta on seuraavanlainen: modernit verkoitetut ilmataistelujärjestelmät tarvitsevat toimiakseen tietoa, joten informaation keräämisen, käsittelemisen ja kontrolloinnin rooli taistelussa tulee olemaan erittäin tärkeä. Informaatiosta koostuu tilannetietoisuus taistelukentästä toimintaympäristönä sekä toimijoista siinä, ja tämän kautta toiminta eli tulenkäyttö on mahdollista. Tilannetietoisuudella on ratkaiseva merkitys sekä operatiivisella että taktisella tasolla. Toiminnassa tavoite on minimoida omat tappiot teknisin keinoin esimerkiksi häivehävittäjien käytöllä sekä taistelutaktisesti käyttämällä asejärjestelmää pääasiassa BVR-etäisyyksiltä pyrkien näin saavuttamaan ensimmäisenä havainto, ammunta ja pudotus. Tässä kontekstissa viidennen sukupolven häivehävittäjien vaikutus ilmataisteluun on, että ne estävät vastustajaa saamasta informaatiota niistä ja siten pääsemästä toimintavaiheeseen eli tulenkäyttöön niitä aiemmin. Toisin sanoen häivehävittäjät heikentävät vastustajan tilannetietoisuutta hankkien näin itselleen tilannetietoisusedun, joka useimmiten ratkaisee ilmataistelun voittajan.

On kuitenkin huomioitava, että koska tässä tutkimuksessa on kyse osin tulevaisuuden ilmiöistä, on todennettujen johtopäätösten saaminen häivehävittäjien vaikutuksesta ilmataisteluun tämän hetkisen materiaalin pohjalta ongelmallista. Tutkimuksessa käytetyn materiaalin perusteella voidaan kuitenkin arvioida että häivehävittäjien vaikutus tulee olemaan suuri, koska niiden ominaisuudet takaavat niille tulevaisuuden ilmataistelussa erityisesti seuraavat kaksi asiaa: 1. mahdollisuuden ampua ennen vastustajaa ja 2. huomattavasti suuremman selviytymiskyvyn ilmataistelus-

sa. Tämän johtopäätökset puolesta puhuu se, että kaikki kehitteillä olevat ilmataisteluun suunnitellut hävittäjät käyttävät häiveteknologiaa. Yhdysvallat pitää esimerkiksi F-22 Raptorin roolia niin merkittävänä sen kansalliselle turvallisuudelleen, että se ei ole suostunut myymään niitä edes lähimmille liittolaismailleen Australialle ja Japanille. On todennäköistä, että häivehävittäjät tulevat muodostamaan tulevaisuuden ilmapuolustuksen taistelujärjestelmän rungon moderneissa ilmavoimissa ympäri maailmaa. Toisaalta faktanäkökulmasta voidaan todeta, ettei todennettua johtopäätöstä siitä, kuinka hyvin viidennen sukupolven häivehävittäjät todella toimivat oikeassa ilmataistelussa ennen kuin ne ovat olleet siinä osallisena, voida tehdä. Tutkimustulokset ja arviot häivehävittäjien suorituskyvystä puoltavat kuitenkin sitä käsitystä, että häivehävittäjillä on selkeä laadullinen ylivoima tulevaisuuden ilmataisteluissa konventionaalisia hävittäjiä vastaan. Suurempi kysymys onkin, että kuinka suuri tämä laadullinen ylivoima on, ja riittääkö se korvaamaan mahdollisen määrällisen alivoiman?

Tutkimuksen havaintoja rajoittaa se, että siinä käytetyt lähteet ovat kaikki julkisesti saatavilla. Aihetta käsittelevä tarkempi materiaali esimerkiksi eri ilmataisteluskenaarioista tai häivekoneista on turvaluokiteltua. Lähdekritiikin kannalta tutkimuksen lähteiksi kuitenkin onnistuttiin kokoaan hyvin ne oleellimmat julkiset kirja- ja internetlähteet, joiden voidaan katsoa täyttävän tieteellisen lähdekritiikin vaatimukset. Huomioitavaa lukijalle kuitenkin on, että esimerkiksi suuri osa internetlähteissä viitatuista kirjoituksista ovat asiantuntijoiden tai ilmailun alan analyttikoiden kirjoituksia, jotka eivät aina perustu tarkkaan tieteelliseen tietoon vaan julkisuudessa esitettyihin arvioihin ja arvioihin, ja ovat näin ollen osittain subjektiivisia näkemyksiä aiheesta. Näiden arvioiden todenperäisyyttä ei myöskään ole mahdollista tarkistaa muuten kuin tutkimuksessa käytetyn lähteiden ristikkäisvertailun kautta, koska tähän tarvittaisiin turvaluokiteltua materiaalia. Esitetyistä arvioista voidaan kuitenkin nähdä ne seikat, jotka ovat tutkimuksen kannalta oleellisia. Tutkimuksessa onnistuttiin tavoitteen mukaisesti esittelemään ilmiötä yleisellä ja helposti ymmärrettävällä tasolla sekä vastamaan tutkimusongelmiin johdonmukaisen kaavan mukaan teoriaan pohjautuen. Tutkimuksen tuloksia tarkastellessa tulee ottaa huomioon kaksi seikkaa: 1. tutkimuksessa esitetyt havainnot on rajattu käsittelemään ilmataistelutaktiikan teoriaa, ei käytäntöä (ilmataistelutaktiikka on käytännössä huomattavasti monipuolisempaa ja monimutkaisempaa kuin pelkistetyssä teorialuodossa), 2. tutkimuksessa esitetyt ilmataisteluskenaariot on rajattu käsittelemään ainoastaan hävittäjien ominaisuuksia eikä niissä ole huomioitu muita ilmapuolustusjärjestelmän toimijoita, kuten esimerkiksi elektronista vaikuttamista.

Tutkimusta tehdessä on käynyt selvästi ilmi, että aiheeseen liittyvien lisätutkimusta vaativien ongelmien kirjo on laaja. Selvimmin tämän tutkimuksen pohjalta lisäselvitystä vaativat seuraavat kysymykset: 1. Mitä taktisia ja teknisiä vastakeinoja on ilmataisteluun häivehävittäjää vastaan?, 2. Miten häivekoneiden käyttö vaikuttaa Suomen ilmapuolustusjärjestelmän toimivuuteen, sekä erityisesti valvontajärjestelmän toteutukseen? ja 3. Millainen on häivehävittäjien välinen ilmataistelu? Muita yleisiä taktiikantutkimuksen kysymyksiä, jotka eivät liity varsinaisesti häivekoneisiin, mutta ovat selvittämisen arvoisia, ovat: 1. Onko WVR-ilmataistelussa hävittäjän liikehtimiskyvyllä enää merkitystä nykyaikaista kypärätähtäinjärjestelmää ja ilmataisteluohjusta vastaan? ja 2. Mikä on laadullisen ja määrällisen ylivoiman välinen suhde nykyaikaisessa ilmataistelussa?

Tämä tutkimus soveltuu yleisluontoiseksi katsaukseksi nykyaikaisesta ilmataistelusta sekä viidennen sukupolven häivehävittäjistä ja niiden toiminnasta. Tutkimus vanhentuu nopeasti erityisesti teknisten tietojen ja niiden pohjalta tehtyjen skenaarioarvioiden osalta, koska häivehävittäjien tekniikkaa ja taktista käyttöä koskevaa tietoa tulee jatkuvasti lisää häivehävittäjien tullessa operatiiviseen käyttöön. Voidaan kuitenkin todeta, että ilmataistelun teoreettiselta pohjalta tutkimus on relevantti lähitulevaisuudessa.

## LÄHTEET

Aerospaceweb: <http://www.aerospaceweb.org>. Ilmailualan internetsivusto.

Air Combat Command: <http://www.acc.af.mil/>. USA:n ilmavoimien johtamisjärjestelmän virallinen internetsivusto.

Airforce-Magazine: <http://www.airforce-magazine.com/Pages/default.aspx>. USA:n ilmavoimien yhdistyksen internetsivusto.

Air Force Times: <http://www.airforcetimes.com>. USA:n ilmavoimia käsittelevä internetsivusto.

Air Power Australia: <http://www.ausairpower.net/index.html>. Ilmasodankäyntiä käsittelevä internetsivusto.

Alasuutari Pertti: Laadullinen tutkimus, Vastapaino, Tampere 1999

Aviation Week: <http://www.aviationweek.com/aw/>. Ilmailualan aikakauslehdien internetsivusto.

Britannica: <http://www.britannica.com/>. Internetin englanninkielinen sivistyssanakirja.

Center for Defence Information: <http://www.cdi.org/>. Turvallisuusalan tietopankkisivusto.

Coram Robert: Boyd: The fighter pilot who changed the art of war, Back Bay Books, New York 2002

Crenshaw Dan: How to Live and Die in the Virtual Sky. Julkaistu internetlähteenä:  
<http://www.sci.fi/~fta/index.htm>

Defence Update: <http://www.defense-update.com/index.html>. Sotilasalan uutissivusto.

Diehl BGT Defence: <http://www.diehl-bgt-defence.de/index.php?id=534&L=1>. Valmistajan internetsivusto.



Eurofighter GMBH. Eurofighter Typhoon valmistajan internetsivusto:

<http://www.eurofighter.com/default.asp>

F-22 Raptor: <http://www.f22-raptor.com>. Valmistajan internetsivusto.

Federation of American Scientist: <http://www.fas.org>. Yhdysvaltalainen turvallisuusalan tietopankkisivusto.

Fighter Tactics Academy: <http://www.sci.fi/~fta/index.htm>. Ilmasodankäyntiin keskittynyt kotimainen internetsivusto.

Flightglobal: <http://www.flightglobal.com/home/default.aspx>. Ilmailualan aikakauslehdien internetsivusto.

Globalsecurity.org: <http://www.globalsecurity.org>. Turvallisuusalan internetsivusto.

Grant Rebecca: The Bekaa Valley War, Air Force Magazine Online 85, 2002. Julkaistu internetlähteenä: [http://www.geocities.com/d\\_elazar/USA/bekaa.pdf](http://www.geocities.com/d_elazar/USA/bekaa.pdf)

Grining Peter: Situation Awareness in Air Combat, 2000. Julkaistu internetlähteenä: <http://www.users.globalnet.co.uk/~dheb/2300/Articles/PG/PGSA.htm>

Hurley Matthew M.: The Bekaa Valley Air Battle, Airpower Journal 1989. Julkaistu internetlähteenä: <http://www.airpower.maxwell.af.mil/airchronicles/apj/apj89/win89/hurley.html>

Institute for National Strategic Studies: McNair Paper Number 52, Chapter 9: SITUATION AWARENESS IN AIR-TO-AIR COMBAT AND FRICTION, 1998. Julkaistu internetlähteenä: <http://www.ndu.edu/inss/mcnair/mcnair52/m52c9.html>

Karhu Seppo: Stealth-lentokoneiden havaitseminen tutkalla, VTT 1988

Keijsper Gerard: Joint Strike Fighter: Design and Development of the International Aircraft, Pen & Sword 2007

Kopp Carlo: Active Electronically Steered Arrays, Sukhoi Flanker: The Shifting Balance of Regional Air Power, The Russian Philosophy of BVR-Combat. Julkaistu internetlähteenä <http://www.ausairpower.net/index.html>.

Lockheed Martin: <http://www.lockheedmartin.com/index.html>. Valmistajan internetsivusto.

MiG Russian Aircraft Corporation: [http://www.migavia.ru/eng/military\\_e/MiG\\_35\\_e.htm](http://www.migavia.ru/eng/military_e/MiG_35_e.htm). Valmistajan internetsivusto.

Military.com: <http://www.military.com/>. Sotilasalan internetsivusto.

Nichols Stuart O.: 21<sup>st</sup> Century Air-to-Air Short Weapon Requirements, Air Command and Staff Collage, Maxwell AFB 1998. <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/ac/docs/98-210.pdf>

Niemi Samuli: Stealth-teknologian merkitys ilmataistelussa 2000-luvulla, MPKK 1998

Raatikainen Timo: Tulevaisuuden taistelukone – Venäläinen näkökulma, MPKK 2004

RAND Corporation: The Netherlands F-16 Comparative Analysis. Julkaistu internetlähteenä: [http://www.defensie.nl/\\_system/handlers/generaldownloadHandler.aspx?filename=/media/2008%2012%2018%20Kamerbrief%20Kandidatenvergelijking%20-%20bijlage%20RAND%20Report\\_tcm46-125484.pdf](http://www.defensie.nl/_system/handlers/generaldownloadHandler.aspx?filename=/media/2008%2012%2018%20Kamerbrief%20Kandidatenvergelijking%20-%20bijlage%20RAND%20Report_tcm46-125484.pdf)

RAND Corporation Study: Air Combat – Past, Present and the Future. Julkaistu internetlähteenä: <http://www.flightglobal.com/blogs/the-dewline/2008/09/download-infamous-rand-air-pow.html>

Raytheon: <http://www.raytheon.com>. Valmistajan internetsivusto.

Richardson Doug: Stealth Warplanes, Salamander Book Ltd., London 2001

RIA Novosti: <http://en.rian.ru/russia/>. Venäläinen uutissivusto.

Spick Mike: *The Ace Factor*, Airlife Publishing Ltd., 1988

Spick Mike: *Brassey's Modern Fighters - The Ultimate Guide to In-Flight Tactics, Technology, Weapons, and Equipment*, Pegasus Publishing Ltd., 2000

Strat Thomas M.: *Precision Target Identification*. Julkaistu internetlähteenä:  
[http://www.darpa.mil/DARPATech2002/presentations/ixo\\_pdf/speeches/STRAT.pdf](http://www.darpa.mil/DARPATech2002/presentations/ixo_pdf/speeches/STRAT.pdf)

Sweetman Bill: *YF-22 and YF-23 Advanced Tactical Fighters*, Motorbooks International 1991

The Times of India: <http://timesofindia.indiatimes.com/>. Uutislehden internetsivusto.

Thornborough Anthony: *Modern Fighter Aircraft Technology and Tactics*, Patrick Stephens Limited 1995

Tuomi Jouni ja Sarajärvi Anneli: *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi*, Tammi 2002

U.S. Department of Defence: <http://www.defenselink.mil>. USA:n puolustusministeriön internetsivusto.

United States Air Force: <http://www.af.mil/>. USA:n ilmavoimien virallinen internetsivusto.

Walker J.R.: *Air Superiority*, Brassey's 1989

Warfare.ru: <http://warfare.ru/>. Venäläinen turvallisuusalan internetsivusto.

## VIITTEET

- 
- <sup>1</sup> [http://www.globalsecurity.org/military/ops/allied\\_force.htm](http://www.globalsecurity.org/military/ops/allied_force.htm),  
<http://www.defenselink.mil/specials/kosovo/>, [Viitattu 21.8.2008]
- <sup>2</sup> <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/ac/f-117.htm>,  
[http://www.globalsecurity.org/military/ops/just\\_cause.htm](http://www.globalsecurity.org/military/ops/just_cause.htm), [Viitattu 21.8.2008]
- <sup>3</sup> Doug Richardson: *Stealth Warplanes*, Salamander Book Ltd., Lontoo 2001, s. 33, s. 58-67
- <sup>4</sup> Doug Richardson: s. 120–123
- <sup>5</sup> Giulio Douhet: *The Command of the Air*
- <sup>6</sup> <http://www.skygod.com/quotes/airpower.html>, [Viitattu 15.1.2009]
- <sup>7</sup> <http://www.globalsecurity.org/military/world/iraq/air-force-equipment-intro.htm>,  
<http://www.fas.org/man/dod-101/sys/ac/docs/98-210.pdf>, [Viitattu 15.1.2009]
- <sup>8</sup> Jouni Tuomi, Anneli Sarajärvi: *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi*, Tammi 2002, s. 17-18
- <sup>9</sup> Jouni Tuomi, Anneli Sarajärvi: s. 97
- <sup>10</sup> Jouni Tuomi, Anneli Sarajärvi: s. 73
- <sup>11</sup> Jouni Tuomi, Anneli Sarajärvi: s.105–115
- <sup>12</sup> Pertti Alasuutari: *Laadullinen tutkimus*, Vastapaino, Tampere 1999, s. 90-92
- <sup>13</sup> [http://www.sci.fi/~fta/JohnBoyd\\_fin.htm](http://www.sci.fi/~fta/JohnBoyd_fin.htm), [http://www.sci.fi/~fta/JohnBoyd\\_fin\\_2.htm](http://www.sci.fi/~fta/JohnBoyd_fin_2.htm), [Viitattu 22.8.2008]
- <sup>14</sup> Pertti Alasuutari: s.38
- <sup>15</sup> <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/10885/air-warfare>, [Viitattu 24.8.2008]
- <sup>16</sup> Doug Richardson: s. 14–57, Samuli Niemi: *Stealth-teknologian merkitys ilmataistelussa 2000-luvulla*, MPKK 1998, s. 2-5, Timo Raatikainen: *Tulevaisuuden taistelukone – Venäläinen näkökulma*, MPKK 2004, s. 21–24
- <sup>17</sup> <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/580081/tactics>, [Viitattu 24.8.2008]
- <sup>18</sup> <http://www.sci.fi/~fta/chap6.htm>, [Viitattu 24.8.2008]
- <sup>19</sup> RAND Study: *Air Combat – Past, Present and the Future*, s.4,  
<http://www.flightglobal.com/blogs/the-dewline/2008/09/download-infamous-rand-air-pow.html>, [http://www.eurofighter.com/et\\_sr\\_as\\_bv.asp](http://www.eurofighter.com/et_sr_as_bv.asp) [Viitattu 24.8.2008]
- <sup>20</sup> Mike Spick: *Brassey’s Modern Fighters - The Ultimate Guide to In-Flight Tactics, Technology, Weapons, and Equipment*, Pegasus Publishing Ltd., 2000, s. 31-34

- 
- <sup>21</sup> Dr Carlo Kopp: Active Electronically Steered Arrays - <http://www.ausairpower.net/aesa-intro.html>, [Viitattu 4.4.2009]
- <sup>22</sup> <http://www.defense-update.com/products/m/mig35.htm>,  
[http://www.migavia.ru/eng/military\\_e/MiG\\_35\\_e.htm](http://www.migavia.ru/eng/military_e/MiG_35_e.htm),  
<http://www.raytheon.com/capabilities/products/aesa/>, Jane's – AMSAR radar [Viitattu 24.8.2008]
- <sup>23</sup> <http://www.sci.fi/~fta/chap6.htm>, [Viitattu 24.8.2008]
- <sup>24</sup> Mike Spick: Brassey's Modern Fighters, s. 127-128
- <sup>25</sup> [http://www.darpa.mil/DARPAtech2002/presentations/ixo\\_pdf/speeches/STRAT.pdf](http://www.darpa.mil/DARPAtech2002/presentations/ixo_pdf/speeches/STRAT.pdf), [Viitattu 24.8.2008]
- <sup>26</sup> Anthony Thornborough: Modern Fighter Aircraft Technology and Tactics, Patrick Stephens Limited 1995, s.16
- <sup>27</sup> J R Walker: Air Superiority, Brassey's 1989, s. 64-65
- <sup>28</sup> <http://www.globalsecurity.org/military/world/europe/bvraam.htm>,  
[http://www.raytheon.com/capabilities/products/stellent/groups/rms/documents/content/cms01\\_054563.pdf](http://www.raytheon.com/capabilities/products/stellent/groups/rms/documents/content/cms01_054563.pdf), <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/missile/row/aa-10.htm>,  
<http://www.fas.org/man/dod-101/sys/missile/row/aa-12.htm>, [Viitattu 15.1.2009]
- <sup>29</sup> Dr Carlo Kopp: Sukhoi Flanker: The Shifting Balance of Regional Air Power – <http://www.ausairpower.net/APA-Flanker.html>, [Viitattu 4.4.2009]
- <sup>30</sup> <http://www.sci.fi/~fta/chap6b.htm>, [Viitattu 24.8.2008]
- <sup>31</sup> Mike Spick: Brassey's Modern Fighters, s. 116, <http://www.sci.fi/~fta/score.htm>, [Viitattu 15.1.2009]
- <sup>32</sup> RAND Study: Air Combat – Past, Present and the Future, s. 20, s. 24-25
- <sup>33</sup> (<http://www.fas.org/man/dod-101/sys/ac/docs/98-210.pdf> s.9, [Viitattu 15.1.2009])
- <sup>34</sup> Robert Coram – Boyd: The fighter pilot who changed the art of war, s. 146-148,  
<http://www.airforce-magazine.com/MagazineArchive/Pages/2008/February%202008/0208reformers.aspx>,  
[http://www.sci.fi/~fta/JohnBoyd\\_fin.htm](http://www.sci.fi/~fta/JohnBoyd_fin.htm), [Viitattu 15.1.2009]
- <sup>35</sup> RAND Study: Air Combat – Past, Present and the Future, s. 79

- 
- <sup>36</sup> Timo Raatikainen: Tulevaisuuden taistelukone – venäläinen näkökulma, s.19,  
<http://www.fas.org/man/dod-101/sys/missile/aim-9.htm>, <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/missile/row/aa-11.htm>, <http://www.diehl-bgt.de/index.php?id=561&L=1>, [Viitattu 24.8.2008]
- <sup>37</sup> Mike Spick: Brassey's Modern Fighters, s. 116,  
[http://www.raytheon.com/capabilities/rtnwcm/groups/rms/documents/content/rtn\\_rms\\_ps\\_aim9x\\_datasheet.pdf](http://www.raytheon.com/capabilities/rtnwcm/groups/rms/documents/content/rtn_rms_ps_aim9x_datasheet.pdf), <http://www.ausairpower.net/API-ASRAAM-Analysis.html>, [Viitattu 20.4.2009]
- <sup>38</sup> RAND Study: Air Combat – Past, Present and the Future, s. 27-28
- <sup>39</sup> Robert Coram: Boyd: The fighter pilot who changed the art of war, s. 114-115
- <sup>40</sup> Mike Spick: Brassey's Modern Fighters, s. 16, [http://www.sci.fi/~fta/JohnBoyd\\_fin.htm](http://www.sci.fi/~fta/JohnBoyd_fin.htm), [Viitattu 15.1.2009]
- <sup>41</sup> Robert Coram: s. 327
- <sup>42</sup> Mike Spick: The Ace Factor, Airline Publishing Ltd. 1988, epilogue
- <sup>43</sup> Robert Coram: s. 332
- <sup>44</sup> Robert Coram: s. 332, 339
- <sup>45</sup> Robert Coram: s. 344
- <sup>46</sup> Robert Coram: s. 334-339
- <sup>47</sup> [http://www.geocities.com/d\\_elazar/USA/bekaa.pdf](http://www.geocities.com/d_elazar/USA/bekaa.pdf),  
<http://www.airpower.maxwell.af.mil/airchronicles/apj/apj89/win89/hurley.html>, [Viitattu 15.1.2009]
- <sup>48</sup> Mike Spick: Ace Factor, s. 153-156, [http://www.geocities.com/d\\_elazar/USA/bekaa.pdf](http://www.geocities.com/d_elazar/USA/bekaa.pdf),  
<http://www.airpower.maxwell.af.mil/airchronicles/apj/apj89/win89/hurley.html>, [Viitattu 16.1.2009]
- <sup>49</sup> <http://www.ndu.edu/inss/mcnair/mcnair52/m52c9.html>, [Viitattu 16.1.2009]
- <sup>50</sup> RAND: The Netherlands F-16 Comparative Analysis, s.48,  
[http://www.defensie.nl/\\_system/handlers/generaldownloadHandler.ashx?filename=/media/2008%2012%2018%20Kamerbrief%20Kandidatenvergelijking%20-%20bijlage%20RAND%20Report\\_tcm46-125484.pdf](http://www.defensie.nl/_system/handlers/generaldownloadHandler.ashx?filename=/media/2008%2012%2018%20Kamerbrief%20Kandidatenvergelijking%20-%20bijlage%20RAND%20Report_tcm46-125484.pdf), [Viitattu 22.1.2009]
- <sup>51</sup> Mike Spick: Brassey's Modern Fighters, s. 40-41
- <sup>52</sup> RAND Study: Air Combat – Past, Present and the Future, s. 31-35

- 
- <sup>53</sup> Dr Carlo Kopp: The Russian Philosophy of BVR-Combat; <http://www.ausairpower.net/APA-Rus-BVR-AAM.html>, [Viitattu 23.1.2009]
- <sup>54</sup> RAND Study: Air Combat – Past, Present and the Future, s. 31-34 ja 56, Mike Spick: Brassey's Modern Fighters, s. 41
- <sup>55</sup> Dr Carlo Kopp: The Russian Philosophy of BVR-Combat; <http://www.ausairpower.net/APA-Rus-BVR-AAM.html>, [Viitattu 4.4.2009]
- <sup>56</sup> Dr Carlo Kopp: The Russian Philosophy of BVR-Combat; <http://www.ausairpower.net/APA-Rus-BVR-AAM.html>, [Viitattu 23.1.2009]
- <sup>57</sup> Seppo Karhu: Stealth-lentokoneiden havaitseminen tutkalla, VTT 1998, s.2, Samuli Niemi: Stealth-teknologian merkitys ilmataistelussa 2000-luvulla, s.2-3
- <sup>58</sup> Doug Richardson: Stealth warplanes, s. 25-27
- <sup>59</sup> Doug Richardson: Stealth warplanes, s. 57
- <sup>60</sup> Doug Richardson: Stealth warplanes, s. 34
- <sup>61</sup> Doug Richardson: Stealth warplanes, s. 48, <http://www.aeronautics.ru/plasma04.htm>, [Viitattu 16.1.2009]
- <sup>62</sup> Doug Richardson: Stealth warplanes, s. 49, <http://www.european-defence.co.uk/jsf.html>, [Viitattu 16.1.2009]
- <sup>63</sup> Doug Richardson: Stealth warplanes, s. 50
- <sup>64</sup> <http://www.aerospaceweb.org/aircraft/fighter/f22/>, [http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Two\\_F-22A\\_Raptor\\_in\\_column\\_flight\\_-\\_\\_\(Noise\\_reduced\).jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Two_F-22A_Raptor_in_column_flight_-__(Noise_reduced).jpg), [Viitattu 28.1.2009]
- <sup>65</sup> Doug Richardson: Stealth Warplanes, s.120, Bill Sweetman: YF-22 and YF-23 Advanced Tactical Fighters, s.13
- <sup>66</sup> <http://www.f22-raptor.com/technology/data.html>, [Viitattu 16.1.2009], , Bill Sweetman: YF-22 and YF-23 Advanced Tactical Fighters, s.32-42, s.56, s.62-63, s.75
- <sup>67</sup> Bill Sweetman: YF-22 and YF-23 Advanced Tactical Fighters: Stealth, Speed and Agility for Air Superiority, s. 55
- <sup>68</sup> <http://www.afa.org/magazine/april2006/0406raptor.asp>, [Viitattu 20.9.2008]
- <sup>69</sup> [http://www.airforcetimes.com/news/2007/07/airforce\\_raptor\\_070730/](http://www.airforcetimes.com/news/2007/07/airforce_raptor_070730/), <http://www.af.mil/news/story.asp?storyID=123029412>, [Viitattu 20.9.2008]
- <sup>70</sup> <http://www.acc.af.mil/news/story.asp?id=123041831>, [Viitattu 20.9.2008]
- <sup>71</sup> <http://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/f-35-design.htm>, [www.jsf.mil](http://www.jsf.mil), [Viitattu 20.9.2008], Gerard Keijsper: Joint Strike Fighter, Pen & Sword 2007, - kansilehti

---

<sup>72</sup> Gerard Keijsper, s.259-270

<sup>73</sup> <http://www.flightglobal.com/articles/2008/09/29/316556/leaked-rand-analysis-questions-usaf-fighter-strategy-sparks-inadvertent-f-35.html>,  
[http://www.cdi.org/program/document.cfm?documentid=4370&programID=37&from\\_page=../friendlyversion/printversion.cfm](http://www.cdi.org/program/document.cfm?documentid=4370&programID=37&from_page=../friendlyversion/printversion.cfm),  
[http://www.lockheedmartin.com/news/press\\_releases/2008/0919ae\\_f-35settingrecordstraight.html](http://www.lockheedmartin.com/news/press_releases/2008/0919ae_f-35settingrecordstraight.html),  
<http://www.aviationweek.com/aw/blogs/defense/index.jsp?plckController=Blog&plckScript=logSc-ript&plckElementId=blogDest&plckBlogPage=BlogViewPost&plckPostId=Blog:27ec4a53-dcc8-42d0-bd3a-01329aef79a7Post:831c7114-2eaa-4e2f-84ec-057b9edf5bd1>, [Viitattu 22.1.2009]

<sup>74</sup> Gerard Keijsper, s. 169-180, s. 249-252

<sup>75</sup> Bill Sweetman: JSF Leaders Back in the Fight:

<http://www.aviationweek.com/aw/blogs/defense/index.jsp?plckController=Blog&plckScript=logSc-ript&plckElementId=blogDest&plckBlogPage=BlogViewPost&plckPostId=Blog%3A27ec4a53-dcc8-42d0-bd3a-01329aef79a7Post%3Ab1c3536a-8d96-481f-aef5-d6428ec6f9ca>, [Viitattu 16.1.2009]

<sup>76</sup> Bill Sweetman: Six Shooting Lightning:

<http://www.aviationweek.com/aw/blogs/defence/index.jsp?plckController=Blog&plckScript=blogSc-ript&plckElementId=blogDest&plckBlogPage=BlogViewPost&plckPostId=Blog%3a27ec4a53-dcc8-42d0-bd3a-01329aef79a7Post%3a4f04259d-8fca-4e42-8e17-44f5dca7edf4>, [Viitattu 5.4.2009]

<sup>77</sup> <http://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/f-35-design.htm>,

<http://www.ausairpower.net/APA-JSF-Analysis.html>, [Viitattu 22.1.2009]

<sup>78</sup> <http://www.aerospaceweb.org/aircraft/fighter/f35/>,

[http://www.lockheedmartin.com/data/assets/aeronautics/products/f35/f35\\_2.jpg](http://www.lockheedmartin.com/data/assets/aeronautics/products/f35/f35_2.jpg), [Viitattu 28.1.2009]



- 
- <sup>79</sup> Timo Raatikainen: Tulevaisuuden taistelukone – Venäläinen näkökulma, s. 47,  
[http://timesofindia.indiatimes.com/India/India\\_Russia\\_to\\_develop\\_fifth-generation\\_stealth\\_fighter/articleshow/2471943.cms](http://timesofindia.indiatimes.com/India/India_Russia_to_develop_fifth-generation_stealth_fighter/articleshow/2471943.cms),  
<http://www.globalsecurity.org/military/world/russia/pak-fa.htm>,  
<http://warfare.ru/?catid=255&linkid=2280>, <http://en.rian.ru/russia/20071206/91196743.html>  
[Viitattu 21.8.2008]
- <sup>80</sup> [http://www.air-attack.com/news/news\\_article/2469/Picture-Russian-Sukhoi-T-50-fighter-images-emerge.html](http://www.air-attack.com/news/news_article/2469/Picture-Russian-Sukhoi-T-50-fighter-images-emerge.html), <http://www.npo-saturn.ru/new/photoshow.php?slang=0&id=29>, [Viitattu 28.1.2009]
- <sup>81</sup> Doug Richardson: Stealth Warplanes, s. 112-115  
<http://www.flightglobal.com/articles/2009/03/17/323962/pictures-boeing-unveils-upgraded-f-15-silent-eagle-with-fifth-generation.html>, [Viitattu 5.4.2009]
- <sup>82</sup> Doug Richardson: s. 56, Mike Spick: Brassey's Modern Fighters, s. 26
- <sup>83</sup> <http://www.aerospaceweb.org/question/history/q0182.shtml>, [Viitattu 29.1.2009]
- <sup>84</sup> Mike Spick: Brassey's Modern Fighters, s. 116, F-22 Shootdown by T-38:  
<http://www.flightglobal.com/blogs/the-dewline/2009/04/video-youtube-clip-purports-f-22-shootdown-by-t-38.html>  
[Viitattu 20.4.2009]
- <sup>85</sup> Doug Richardson: Stealth Warplanes, s. 87,  
<http://www.users.globalnet.co.uk/~dheb/2300/Articles/PG/PGSA.htm>, [Viitattu 28.1.2009]
- <sup>86</sup> <http://www.ausairpower.net/APA-Flanker-Radars.html>, [Viitattu 5.4.2009]
- <sup>87</sup> <http://www.ausairpower.net/APA-JSF-Analysis.html>, [Viitattu 5.4.2009] – Muokattu tutkijan toimesta
- <sup>88</sup> <http://www.military.com/features/0,15240,186349,00.html?ESRC=navynews.RCC>,  
<http://www.ausairpower.net/APA-Flanker-Radars.html>, [Viitattu 5.4.2009]
- <sup>89</sup> <http://www.ausairpower.net/APA-Flanker-Radars.html>, [Viitattu 5.4.2009]
- <sup>90</sup> Bill Sweetman: YF-22 and YF-23 Advanced Tactical Fighters: Stealth, Speed and Agility for Air Superiority, s. 75-76, <http://www.f22-raptor.com/technology/avionics.html>, [Viitattu 28.1.2009]
- <sup>91</sup> Bill Sweetman: YF-22 and YF-23 Advanced Tactical Fighters: Stealth, Speed and Agility for Air Superiority, s. 58, <http://www.f22-raptor.com/technology/supercruise.html>,  
<http://www.ausairpower.net/APA-Raptor.html>, [Viitattu 5.4.2009]