

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

**TEKNIIKAN RAJOITUKSET ILMATAISTELUOHJUSTEN SUORITUSKYKYYN,
UUDET ILMATAISTELUOHJUKSET JA OHJUSTEKNIIKAN TULEVAISUUDEN
NÄKYMÄT**

Pro gradu-tutkielma

Kadetti
Arto Ukskoski

Kadettikurssi 90
Ohjaajalinja

Maaliskuu 2007

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi Kadettikurssi 90	Linja Ilmavoimien ohjaajalinja	
Tekijä Kadetti Arto Ukskoski		
Opinnäytetyön nimi Tekniikan rajoitukset ilmataisteluohjusten suorituskykyyn, uudet ilmataisteluohjukset ja ohjustekniikan tulevaisuuden näkymät		
Oppiaine, johon työ liittyy Tekniikka	Säilytyspaikka Kurssikirjasto (MpKK:n kirjasto)	
Aika: Maaliskuu 2007	Tekstisivuja: 65	Liitesivuja: 0
TIIVISTELMÄ <p>Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää nykyaikaisten ilmataisteluohjusten tekniikka ja tulevaisuuden näkymät. Tutkimuksen lähtökohtana oli tutkia ohjusten tekniikkaa ja ominaisuuksia siten, että tuloksista voidaan päätellä tekniikan asettamat vaatimukset ohjuksin käytävälle ilmataistelulle, sekä mahdolliset tekniikan tuomat muutokset ohjustekniikkaan lähimmän kymmenen vuoden aikana.</p> <p>Aihetta lähestyttiin kvalitatiivisella tutkimusotteella kirjallisuustutkimuksen ollessa tärkein tutkimusmenetelmä. Tutkimuksessa käytettiin myös kvalitatiivista sisällönanalyysiä ja asiantuntijahaastatteluja vahvistamaan saatuja tuloksia.</p> <p>Tutkimuksen tulokset osoittivat ohjusten suorituskyvyn riippuvan tietyissä olosuhteissa enemmän muista teknisistä järjestelmistä kuin itse ohjuksen tekniikasta. Lisäksi tutkimustulokset osoittivat sen, että ilmataistelua käydään tulevaisuudessa yhä enemmän näköetäisyyden ulkopuolella. Koska tulokset osoittavat uusimpien ohjusten kyvyn tuhota maali lähes sadan kilometrin päästä ja lähellä jopa laukaisevan koneen takasektorista, täytyy tekniikan sovelluksia kehittää vastaamaan ohjusten suorituskykyä. Tämänkaltaisia järjestelmiä on nykyaikaiseen hävittäjään integroitava, jotta ohjusten kaikkia ominaisuuksia voidaan täysin hyödyntää.</p>		
Avainsanat ilmataisteluohjukset, infrapunahakupäät, ohjukset, tutkahakupäät		

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	1
1.1	TUTKIMUKSEN TAUSTA.....	1
1.2	TUTKIMUSONGELMA JA TUTKIMUKSEN TAVOITTEET	1
1.3	TUTKIMUKSEN RAJAUKSET JA KÄSITTEET	2
1.4	TUTKIMUSMENETELMÄT	6
1.5	AINEISTO JA AIKAISEMMAN TIEDON KUVAUS	7
1.6	KRIITTISTÄ POHDINTAA JA LÄHDEKRIITTIKKIÄ.....	8
2	ILMATAISTELUOHJUSTEN TEKNIikka JA TEKNIKAN RAJOITUKSET OHJUSTEN SUORITUSKYKYYN.....	10
2.1	OHJUSTEKNIikka.....	10
2.1.1	Ohjuksen hakupää	11
2.1.2	Infrapunasäteily ja hakupää	12
2.1.3	Tutkasäteily ja hakupää.....	15
2.1.4	Runko ja ohjausjärjestelmä	20
2.1.5	Moottorit ja voimantuotto	23
2.1.6	Ohjautusmenetelmä	26
2.1.7	Tuhovaikutusjärjestelmä.....	27
2.1.8	Ohjusten asettamat vaatimukset lentokoneelle.....	30
2.1.9	Muita ohjusten suorituskykyyn vaikuttavia tekijöitä	31
3	VERTAILU JA YHTEENVETO ERI OHJUKSISTA.....	35
3.1	INFRAPUNAHAKUISET OHJUKSET	35
3.1.1	AIM-9M ja aikaisemmat versiot	35
3.1.2	AA-11 Archer (R73M1&2)	37
3.1.3	AIM-9X.....	39
3.1.4	ASRAAM, IRIS-T, A-DARTER	41
3.1.5	Python 4/5	43
3.1.6	Yhteenveto ja tulokset infrapunahakuisista ohjuksista.....	46
3.2	TUTKAHAKUISIA OHJUKSIA	49
3.2.1	AIM-120 AMRAAM	49
3.2.2	MICA.....	52
3.2.3	AA-12 ADDER (R-77).....	52
3.2.4	DERBY, R-DARTER	54
3.2.5	METEOR	55
3.2.6	Yhteenveto tutkahakuisista ohjuksista	57
4	TULOKSET OHJUSTEN SUORITUSKYKYYN VAIKUTTAVISTA TEKIJÖISTÄ	58
5	TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT JA JOHTOPÄÄTÖKSET	62
5.1	TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT	62
5.2	TUTKIMUKSEN JOHTOPÄÄTÖKSET JA VISIOITA TULEVAISUUDESTA	64
6	LÄHTEET	66

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Ilmasodankäynti on viimeisen viidenkymmenen vuoden aikana kokenut suuria muutoksia. Aikaisemmin käytettyjen ammusaseiden rinnalle ovat tulleet lentokoneissa käytettävät ohjukset. Nykyaikaisessa ilmataistelussa ohjukset ovat lähes kokonaan korvanneet ammusaseet. Lentokoneissa on vielä tykki, mutta sitä käytetään nykyaikaisessa ilmataistelussa hyvin vähän. Tykin roolia ilmataistelussa ovat vähentäneet uusimpien ohjusten parantuneet laukaisuetäisyydet, paremmat havainnointisensorit sekä hyvät osumatodennäköisyydet.

Lentäjälle on erittäin tärkeää tietää ohjusten tekniikka ja suorituskyky, koska ohjusten merkitys ilmataistelussa on hyvin suuri. Omien ohjusten ominaisuudet on tiedettävä hyvin tarkasti, jotta niitä voidaan tehokkaasti käyttää. Myös vastustajan ohjukset on tunnettava, jotta vastustajaa vastaan osataan toimia mahdollisimman tehokkaasti ja mahdollisimman turvallisesti. Nykyaikaisista ohjuksista ei ole olemassa julkista suomenkielistä lähdettä, joka sisältäisi riittävän tuoretta tietoa. Tämän takia on tärkeää että ohjuksia tutkitaan ja niistä saadaan koottua yhtenäinen suomenkielinen tietopaketti. Tällä hetkellä eri ohjuksista on olemassa julkisella tasolla lähes ainoastaan yksittäisiä lehtiartikkeleita ja ne ovat yleensä englannin kielellä.

Eri ohjuksista on tehty paljon tutkimuksia ohjusten kehitysvaiheissa esimerkiksi koeammunnoissa ja kaikki tämä tieto on hyvin tarkkaa. Tämän tutkimuksen tarkoituksena ei ole perehtyä yksittäiseen ohjukseen tai ohjusten tarkkoihin arvoihin, vaan parantaa sekä kirjoittajan että lukijan kokonais käsitystä ilmataistelusta ja ohjusten suorituskykyyn vaikuttavista tekijöistä. Ohjustekniikan perusasioiden ymmärtäminen on tärkeää, jotta jokainen tämän tutkimuksen lukenut voi riittävällä kritiikillä suhtautua esimerkiksi eri ohjusten mainospuheisiin ja ilmoitettuihin suoritusarvoihin.

1.2 Tutkimusongelma ja tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, mikä on lentokoneissa käytettävien ilmataisteluojusten tekniikka ja miten tekniikka rajoittaa ohjusten suorituskykyä (Luku 2).

Lisäksi on tarkoitus selvittää mikä on eri ohjusten tekniikka ja arvioitu suorituskyky verrattuna muihin ohjuksiin (Luku 3). Tutkimuksen lopussa pyritään esittämään perusteltuja arvioita siitä, mitä muutoksia tulevaisuus tuo ohjustekniikkaan. (Luku 5) Tutkimuksen tärkeimmät tulokset ovat johtopäätöksiä tekniikan asettamista rajoituksista ohjusten suorituskyvylle. Nämä tulokset ja johtopäätökset esitetään luvuissa 4-5.

Tutkimuksen tärkeimpänä tavoitteena on lisätä tutkijan omaa tietoa tutkittavasta asiasta. Seuraavaksi tärkein tavoite on pohtia tekniikan rajoituksia, jotka heikentävät ohjusten suorituskykyä. Tutkimuksen tavoitteena on lisäksi vertailla eri ohjuksia ja pohtia tulevaisuuden vaikutuksia ohjustekniikkaan. Tutkimus on tärkeä, koska vastaavasta aiheesta ei ole riittävän tuoretta tutkimusta suomenkielisenä ja tämä tutkimus kokoaa tiedon eri lähteistä yksien kansien sisälle helpottaen lukijan perehtymistä tietoon.

1.3 Tutkimuksen rajaukset ja käsitteet

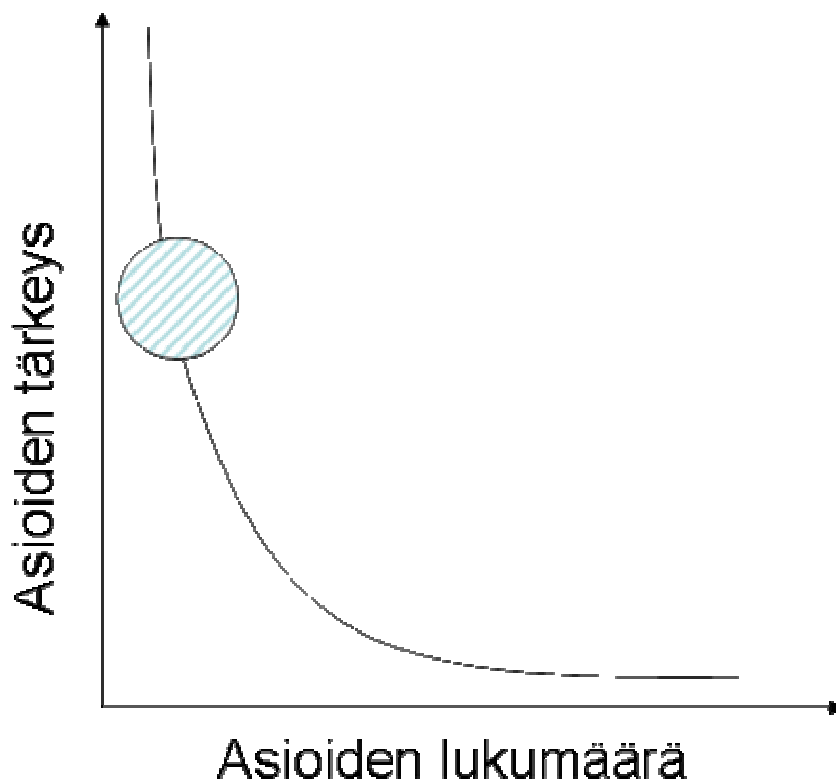
Tutkimus ei tule käsittelemään tarkkoja arvoja eri ohjusten suorituskyvyistä, koska tämä vaatisi salaisen työn tekemistä ja sitä ei ole tässä tutkimuksessa nähty tarpeelliseksi. Ohjusten suoritusarvot esitetään sellaisella tarkkuudella, että lukija ymmärtää ohjusten erot ja kykenee annetuista arvoista luomaan mielikuvan ohjusten käytettävyydestä eri tehtäviin.

Tutkimus rajataan yleisen ohjustekniikan osalta koskemaan tietoa, joka oleellisesti vaikuttaa ohjuksen suorituskykyyn. Ohjustekniikan lisäksi ohjuksen yleinen toimintaperiaate selvitetään. Lentokoneen järjestelmät vaikuttavat oleellisesti ohjuksen suorituskykyyn ja sen vuoksi tutkimus rajataan koskemaan myös merkittävimpiä koneessa olevia laitteita.

Tutkimus käsittää lisäksi kaikki uusimmat käytössä olevat ohjukset ja perusteltuja arvioita niiden suorituskyvyistä ja niihin vaikuttavista tekijöistä. Aihe on rajattu varsin laajaksi, koska tutkimuksessa ei ole mahdollisuutta paneutua yksittäiseen ohjuksen turvaluokitusten vuoksi vaan tavoitteena on nimenomaan esitellä ohjustekniikkaa ja eri ohjuksia laajassa mittakaavassa, painopisteenä tulosten kannalta tärkeät asiat.

Uudet ohjukset esitellään tutkimuksessa siten, että painopisteenä on Suomella käytössä olevat ja käyttöön lähiaikana tulevat ohjukset sekä tällä hetkellä Venäjällä käytössä olevat uusimmat ohjukset. Tutkimuksessa esitellään uusimmat infrapuna- ja tutkaohjukset. Tutkaohjuksista esitellään ainoastaan aktiiviset tutkaohjukset. Tulevaisuuden näkymät rajataan siten että ohjustekniikan kehittymistä peilataan tutkimuksessa saataviin tuloksiin ohjustekniikan rajoituksista ohjusten suorituskykyyn.

Tutkittava asia on hyvin laaja-alainen ja siitä on saatavilla paljon tietoa. Tämän takia tutkimus täytyy rajata koskemaan tärkeitä asioita. Kuvasta 1 käy ilmi tapa jolla tutkimus suoritetaan. Kuvassa oleva käyrä osoittaa tutkimuksen laajuuden (sivumäärä) ja viivalla oleva ympyrä osoittaa asioiden tärkeyden ja asioiden lukumäärän painotuksen. Tutkimuksen ulkopuolelle on rajattu asiat, jotka ovat ohjusten toiminnan kannalta tärkeitä, mutta joiden toiminnan kehittäminen ei merkittävästi paranna ohjusten suorituskykyä.



Kuva 1: Tutkimus rajataan koskemaan pientä määrää tietoa, mutta tämä tieto on tutkittavan asian kannalta tärkeää tietoa

Tutkimuksessa käytetään käsitteitä, joita lukijan tulee ymmärtää tutkimusta lukiesaan. Seuraavasta listasta selviää käsitteet, joita ei ole tekstissä erikseen selvennetty:

AWACS tulee sanoista Airborne Warning And Control Systems. Tarkoittaa lentokonetta, jonka avulla ilmatilaa pystytään valvomaan koneessa olevan tutkan avulla. AWACS kykenee myös johtamaan ilmassa olevien koneiden taistelua.

Datalinkki tarkoittaa laitteita, jonka avulla pystytään vaihtamaan tietoa eri osapuolten välillä. Tämä tarkoittaa että esimerkiksi lentokoneet voivat keskustella datalinkin välityksellä esimerkiksi toisten koneiden, AWACS:n ja ohjuksen tietokoneen välillä.

Elektroninen häirintä tarkoittaa häirintää, jolla pyritään häiritsemään tai lamauttamaan vihollisen laitteita, jotka käyttävät hyväkseen elektromagneettista säteilyä.

Ennakkopiste tarkoittaa tässä tutkimuksessa avaruudellista pistettä, johon ohjus ensisijaisesti hakeutuu. Usein viimeistään ennakkopisteellä ohjuksen oma hakupää aktivoituu ja tämän jälkeen ohjus pyrkii löytämään maalin itsenäisesti.

Home-on-jam on uusimmissa tutkaohjuksissa oleva ominaisuus, joka mahdollistaa ohjuksen hakeutumisen häirintälähetteen mikäli ohjuksen hakupäätä häiritään. Tällä tavalla hakeutuva ohjus osuu maaliin vaikka maalina toimiva kone häiritsisi sitä voimakkaasti.

Hävittäjä tarkoittaa lentokonetta, jonka tehtävänä on suorittaa toista konetta vastaan suunnatut operaatiot. Näistä operaatioista yksi esimerkki on ilmataisteluohjusten avulla käytävä ilmasota.

Ilmataisteluohjus (ohjus) on ase, jonka tarkoituksena on tuhota ilmassa lentävä maali, esimerkiksi toinen lentokone, lennokki tai ohjus. Ilmataisteluohjus laukaistaan aina ilmassa lentävästä ilma-aluksesta.

Infrapunahakuinen ohjus (infrapunaohjus) tarkoittaa tässä tutkimuksessa ilmataisteluohjusta, joka hakeutuu maaliin infrapunahakupään avulla.

IRST (InfraRed Search and Track) on laite, joka sijaitsee esimerkiksi koneen nokassa ja etsii infrapunäsäteilyä. Laitetta voi tietyiltä osin verrata tutkaan, sillä erolla että IRST ei yleensä lähetä säteilyä vaan toimii passiivisesti.

Kypäretähtäin on laite, joka mahdollistaa aseiden laukaisun suurille off-boresight-kulmille. Kypäretähtäimen avulla voidaan myös ohjata esimerkiksi koneen tutkaa.

LOAL (Lock On After Launch) tarkoittaa moodia, jossa ohjus voidaan laukaista. Kun ohjus laukaistaan tässä moodissa, se ei laukaisuhetkellä näe maalia vaan hakeutuu kohti ennakkopistettä ja yrittää lennon aikana etsiä maalin.

LOBL (Lock On Before Launch) tarkoittaa moodia, jossa ohjus näkee maalin omilla sensoreillaan ennen laukaisua.

Ohjaaja tarkoittaa ilma-aluksen lentäjää.

Maali tarkoittaa tässä tutkimuksessa kohdetta johon ilmataisteluoetus hakeutuu.

Maalin valaisu tarkoittaa esimerkiksi toimintaa, jossa maalia seurataan tutkalla ja ohjus hakeutuu passiivisesti tähän maalista heijastuvaan tutkasäteilyyn.

Maasijoitteinen tutka tarkoittaa tässä tutkimuksessa tutkaa, joka on sijoitettu maan pinnalle. Tutka voi olla valvonta- tai seurantatutka.

No escape zone tarkoittaa aluetta, josta maali ei voi väistää ohjusta liikehtimisen avulla, eli koneen lentoradoilla ei ole vaikutusta ohjuksen osumiseen. Ainoa tapa välttää ohjuksen osuminen no escape zonella on käyttää elektronisia tai muita vasta-toimenpiteitä ohjusta vastaan.

Off-boresight tarkoittaa kulmaa verrattuna koneen aseakseliin. Koneen aseakseli tarkoittaa suoraa linjaa koneesta eteenpäin. Esimerkiksi tykki on usein kohdistettu samaan linjaan aseakseliin nähden.

Ohjuksen maksimilaukaisuetäisyys (maksimietäisyys) tarkoittaa etäisyyttä josta ohjus voidaan laukaista kohti maalia.

Ohjuksen minimilaukaisuetäisyys (minimietäisyys) tarkoittaa pienintä mahdollista etäisyyttä josta ohjus kykenee hakeutumaan ja tuhoamaan maalin.

Ohjuksen päivitys on nykyaikaisissa ohjuksissa tärkeä ominaisuus ennakkopisteelle hakeuduttaessa. Ohjuksen ennakkopistettä täytyy päivittää, mikäli maali liikehtii ja ennakkopiste muuttuu.

SEAD (Suppression of Enemy Air Defence) tarkoittaa toimintaa, jolla vihollisen ilmapuolustus lamautetaan.

Silppu tarkoittaa pienikokoisia hiukkasia joita levitetään ilmaan tutkan harhauttamiseksi. Ohjuksia vastaan silppua käytetään ohjuksen tutkahakupään harhauttamiseen.

Soihtu on kuuma harhautin, jonka tarkoituksena on harhauttaa infrapunasensoria ohjuksen hakupäässä. Hakupää saattaa lukittua soihtuun jolloin maali pääsee karhuun ohjusta.

Tutkahakuinen ohjus (tutkaohjus) tarkoittaa tässä tutkimuksessa ilmataisteluoohjusta, joka hakeutuu maaliin tutkahakupään avulla.

1.4 Tutkimusmenetelmät

Tämä tutkimus suoritetaan kvalitatiivisena kirjallisuustutkimuksena ja kvalitatiivisena sisällönanalyysinä. Näiden tutkimusmenetelmien avulla saavutetaan tälle tutkimukselle asetetut tavoitteet. Tutkimuksessa käytetään myös asiantuntijahaastatteluja tukemaan kirjallisuudesta saatavia tuloksia. Tämä on hyvä tapa varmistaa kirjallisuudessa esiintyvät väitteet, koska kaikkia tietoja ei välttämättä ole paperilla. Tutkimuksen lähteiden epäluotettavuudesta johtuen kvalitatiivinen sisällönanalyysi antaa luotettavia tuloksia tutkimuksessa. Tällä tavalla varmistetaan tutkimustulosten luotettavuus ja tutkimuksen tieteellisyys.

Kirjallisuustutkimuksessa aikaisemmin tuotettua tietoa etsitään, analysoidaan, luokitellaan ja käytetään oman työn pohjana [42]. Kirjallisuustutkimuksessa kertyy suuri määrä tietoa, josta suuri osa on tutkimuksen kannalta epäoleellista. Tärkeät tiedot saadaan seulottua epäoleellisista tiedoista kvalitatiivisen sisällönanalyysin avulla.

Kvalitatiivinen sisällönanalyysi menetelmänä voidaan jakaa joko aineisto- tai teorialähtöiseen sisällönanalyysiin [59]. Tässä tutkimuksessa käytetään aineistolähtöistä sisällönanalyysia. Aineistolähtöisellä sisällönanalyysillä tarkoitetaan metodia, jonka tavoitteena on löytää tutkimusaineistosta toiminnan logiikka tai tutkimusaineiston ohjaamana jonkinlainen tyypillinen kertomus. Aineistolähtöisen sisällönanalyysin lähtökohtana on tutkimusaineiston keräämisen jälkeen päättää mistä toiminnan logiikkaa tai tyypillistä kertomusta lähdetään etsimään. Tämän jälkeen tutkimusaineistoa pelkistetään ja karsitaan siitä ylimääräinen ja epäolennainen tieto pois. Tärkeä tieto etsitään tutkimusongelman ja tutkimuskysymysten avulla ja tieto ryhmitellään johdonmukaiseksi kokonaisuudeksi. Uusi kokonaisuus ryhmitellään etsittävän tiedon mukaan ja ryhmien sisältö määritellään ”kattokäsitteiden” alle. Saatujen tulosten avulla pyritään ymmärtämään tutkittavan asian merkityskokonaisuutta [58].

Asiantuntijahaastattelut suoritetaan ns. strukturoimattoman haastattelun tavalla, jossa haastatteluissa käytetään erikoistuneita henkilöitä (informanteja). Haastattelut ovat syvähaastatteluja, joilla tarkoitetaan haastateltavan henkilön syvällistä ja perinpohjaista haastattelua. Syvähaastattelussa käytetään avoimia kysymyksiä, joilla pyritään syventämään haastateltavan vastauksia ja rakentamaan haastattelun jatko niiden varaan [10]. Tällä tavalla saadaan varmistettua kirjallisuustutkimuksen ja kvalitatiivisen sisällönanalyysin antamat tulokset ja tutkimusta voidaan pitää tieteellisesti luotettavana.

1.5 Aineisto ja aikaisemman tiedon kuvaus

Ohjustekniikasta on olemassa joitain kirjoja ja sähköisiä opetuspaketteja, joiden avulla ohjustekniikasta saadaan tietoa, mutta itse ohjuksista on vaikeampia saada luotettavaa tietoa. Eri ohjusten tekniikkaa tutkittaessa painopiste tulee olemaan lehdissä julkaistut artikkelit eri ohjuksista. Lisäksi ohjusvalmistajien esitelehdet ovat yksi tärkeä lähde, mutta valmistajat haluavat kehua omaa tuotettaan ja siksi ne ovat usein luonteeltaan suoritusarvoja liioittelevia ja eivät yksinään sovellu käytettäväksi tieteellisessä tutkimuksessa. Esitelehdistä näkee kuitenkin ohjuksen perusrakenteen ja toimintatavan varsin tarkasti ja tämän takia ne ovat tärkeitä lähteitä tutkimuksen kannalta.

Tutkimuksen aiheesta on olemassa paljon tietoa. Kaikkein tarkin tieto on esimerkiksi ohjusten valmistajilla, koelentäjillä ja käyttäjämilla, mutta tiedon arkaluonteisuudesta johtuen se on varsin vaikeasti saatavilla. Julkisista lähteistä on vaikea löytää primäärilähteitä, jotka antaisivat selviä ja luotettavia tietoja eri ohjuksista. Usein lähteet ovat sekundäärilähteitä, joissa esiintyy eri lukuarvoja samoista ohjuksista ja siksi luotettavuus on varsin huono. Kvalitatiivinen sisällönanalyysi tutkimusmenetelmänä parantaa lähteistä saatavan tiedon luotettavuutta.

1.6 Kriittistä pohdintaa ja lähdekritiikkiä

Ohjusten ominaisuudet halutaan pitää viholliselta salattuna. Tämä on suurin tiedon- saantia rajoittava tekijä tällaista työtä tehdessä. On hyvin vaikeaa saada luotettavaa tietoa julkisista lähteistä, jos tieto on alun perin tarkoitettu salaiseksi. Työtä kirjoitta- essa pyritään varmistamaan tietojen luotettavuus käyttämällä alkuperäisiä ja hyvin tunnettuja lähteitä.

Ulkoisen lähdekritiikin huomioiminen on oleellista, koska eri lähteet saattavat sisältää propagandaa, omien järjestelmien kehumista ja kilpailevien järjestelmien aliarvi- ointia. Tämän takia on tärkeää varmistaa lähteen luotettavuus ennen tieteellisen kir- joituksen laatimista. Kun tutkimuksessa esitetään esimerkiksi lukuarvoja, on arvot tarkastettu ainakin kahdesta luotettavasta lähteestä. Mikäli on olemassa epäsel- vyyksiä lukuarvojen varmoista tiedoista, tämä tehdään selväksi lukijalle.

Myös sisäinen lähdekritiikki on tärkeää ja esimerkiksi eri lukuarvoja tarkasteltaessa on oltava tarkkana mitä arvolla tarkoitetaan. Esimerkiksi laukaisuetäisyydet vaihtele- vat hyvin paljon sen suhteen, miltä korkeudelta ja mistä vauhdista ohjus laukaistaan. Mitä korkeammalla ja ohuemmassa ilmassa sekä mitä suuremmalta nopeudelta oh- jus laukaistaan, sitä pidempi on ohjuksen maksimilaukaisuetäisyys. Yleisimmin val- mistajat kuitenkin haluavat kehua ohjustensa ominaisuuksia ja siksi kertovat lau- kaisuetäisyydeksi korkealla ja kovaa lentävästä koneesta ammutun ohjuksen mak- simikantaman toiseen korkealla ja kovaa lähestyvään koneeseen.

Hyvä esimerkki sisäisen lähdekritiikin soveltamisesta ovat amerikkalaiset lähteet, joissa lähes poikkeuksetta ylistetään omia aseita. Useissa artikkeleissa ylistetään

esimerkiksi F-15-koneen ja sen aseiden ylivertaisuutta vastaaviin venäläisiin verrattuna. Kuitenkin aikaisemmin salaisiksi luokiteltujen simulaatioiden tulokset osoittavat aivan muuta. Simulaatioissa on todettu, että venäläinen SU-30MK, varustettuna kypärätähtäimellä, voittaa jokainen kerta F-15C koneen, ampumalla ensin tutkahakuisen ohjuksen ja tämän perään infrapunahakuisen ohjuksen [47, 51].

Myös hakupään off-boresight arvoja tarkasteltaessa on huomioitava mitä arvoja kyseisellä luvulla tarkoitetaan. Kulman pitäisi kertoa kuinka suurella kulmalla maali voi olla laukaisuhetkellä koneen aseakselin suhteen. Eri lähteistä löytyy erilaisia kulma-arvoja, kuten hakupään suurin mahdollinen kääntymiskulma, hakupään suurin alistuskulma sensorille (esim. kypärätähtäin), hakupään suurin kääntymiskulma lukituksen jälkeen, hakupään suurin kulma laukaisuhetkellä ja suurin kulma laukaisuhetkellä maaliin nähden (hakupää ei vielä näe maalia, vaan etsii sen lennon aikana) [41]. Nykyaikaiset ohjukset ovat lock-on-after-launch (LOAL)-kyvyn omaavia, eli ne pystyvät lukittumaan maaliin laukaisun jälkeen, kun taas vanhemmat ohjukset ovat lock-on-before-launch (LOBL)-tyyppisiä, eli niiden hakupään täytyy lukittua maaliin ennen laukaisua.

2 ILMATAISTELUOHJUSTEN TEKNIikka JA TEKNIKAN RAJOITUKSET OHJUSTEN SUORITUSKYKYYN

2.1 Ohjustekniikkaa

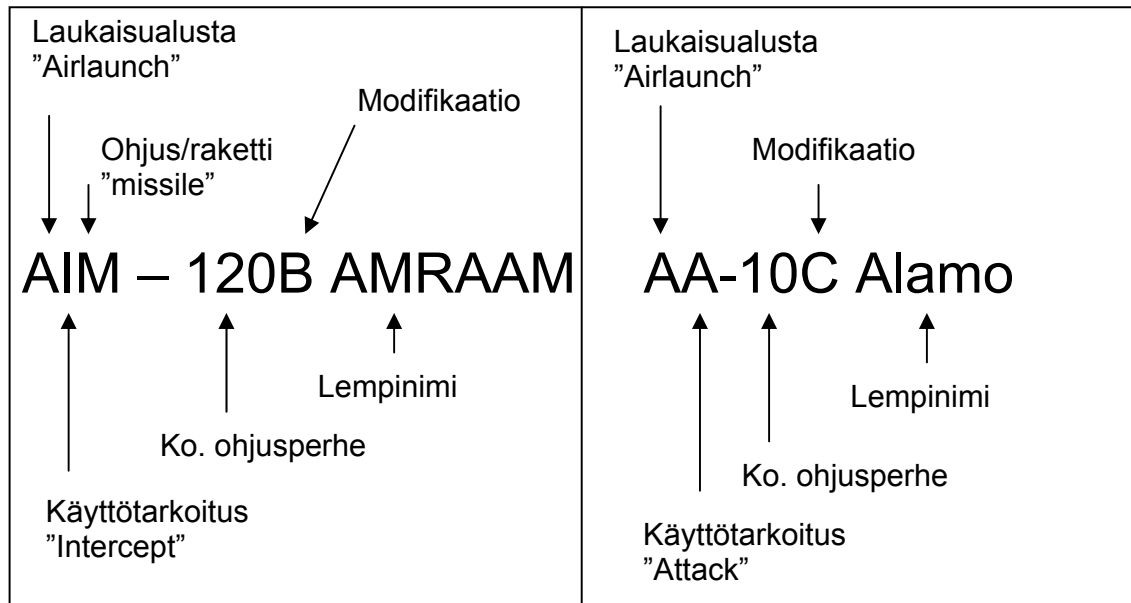
Lentokoneissa käytettävät ohjukset voidaan karkealla jaolla jakaa infrapunahakuisiin ja tutkahakuisiin ohjuksiin. Ohjukset voidaan jakaa myös ulottuvuuden mukaan lyhyen-, keski- tai pitkänkantaman ohjuksiin. Tämän tutkimuksen painopisteenä ovat infrapuna- ja tutkahakuiset ohjukset ja niistä käsitellään pääasiassa lyhyen- ja keskipitkänkantaman ohjuksia. Ainoastaan joitain uusimpia tutkahakuisia ohjuksia voi pitää pitkänkantaman ohjuksina.

Yleisesti vertailtaessa eri ohjuksia keskenään on otettava huomioon mihin tarkoitukseen ohjus soveltuu, miten kaukaa ohjus voidaan laukaista, miltä kulmilta tai mistä asennosta ohjus voidaan laukaista, mikä on ohjuksen nopeus, miten kaukaa ohjus näkee maalin ja muita vastaavia asioita. Usein kuitenkin joudutaan tekemään kompromisseja eri asioiden välillä. Ohjuksia vertaillessa tuleekin aina ottaa huomioon mihin tarkoitukseen ohjus on kehitetty ja palveleeko ohjus sen käyttäjän toiveita.

Suurin osa nykyaikaisista IP-ohjuksista on lyhyenkantaman ohjuksia, jotka on tarkoitettu näköetäisyyden sisällä (NES/WVR) tapahtuvaan taisteluun. Uusimmat, kuvaa muodostavalla hakupäällä varustetut IP-ohjukset, kykenevät myös hieman näköetäisyyden ulkopuolella (NEU/BVR) tapahtuvaan taisteluun. Suurin ongelma infrapunahakupäässä on kantaman kasvattaminen, koska herkimmätkään IP-sensorit eivät kykene erottamaan sopivia maaleja kovin kaukaa.

Tutkahakuiset ohjukset on tarkoitettu pääasiassa näköetäisyyden ulkopuoliseen taisteluun. Tyypillisesti ohjukset hakeutuvat alkulennon komento-ohjattuna datalinkin ja omien inertiasuunnistuslaitteiden avulla. Loppulennon ohjukset hakeutuvat itsenäisesti oman tutkan avulla. Tutkaohjuksia käytetään yleensä kohti lentäviin maaleihin ja ne voidaan laukaista useiden kymmenien kilometrien päässä lentäviin maaleihin. Pitkä etäisyys asettaa suuria vaatimuksia ohjuksen ja laukaisevan koneen tutkalle, sekä luonnollisesti ohjuksen rakettimoottorille.

Ohjusten nimet ovat monille epäselviä ja monesti samasta ohjuksesta puhutaan eri nimillä. NATO- luokittelu menee länsimaisille ohjuksille hieman eri tavalla kuin esimerkiksi itämaisille ohjuksille. Oheisessa kuvassa on esitetty nimeämistapa AIM-120B AMRAAM ohjuksesta. Vertailun vuoksi toisessa kuvassa on venäläisten käyttämä AA-10C ALAMO, mistä venäläiset itse käyttävät nimeä R-27.



Kuva 2a. Esimerkki länsimaisten ohjusten (AIM-120B AMRAAM) nimeämisestä Nato-luokittelun mukaisesti

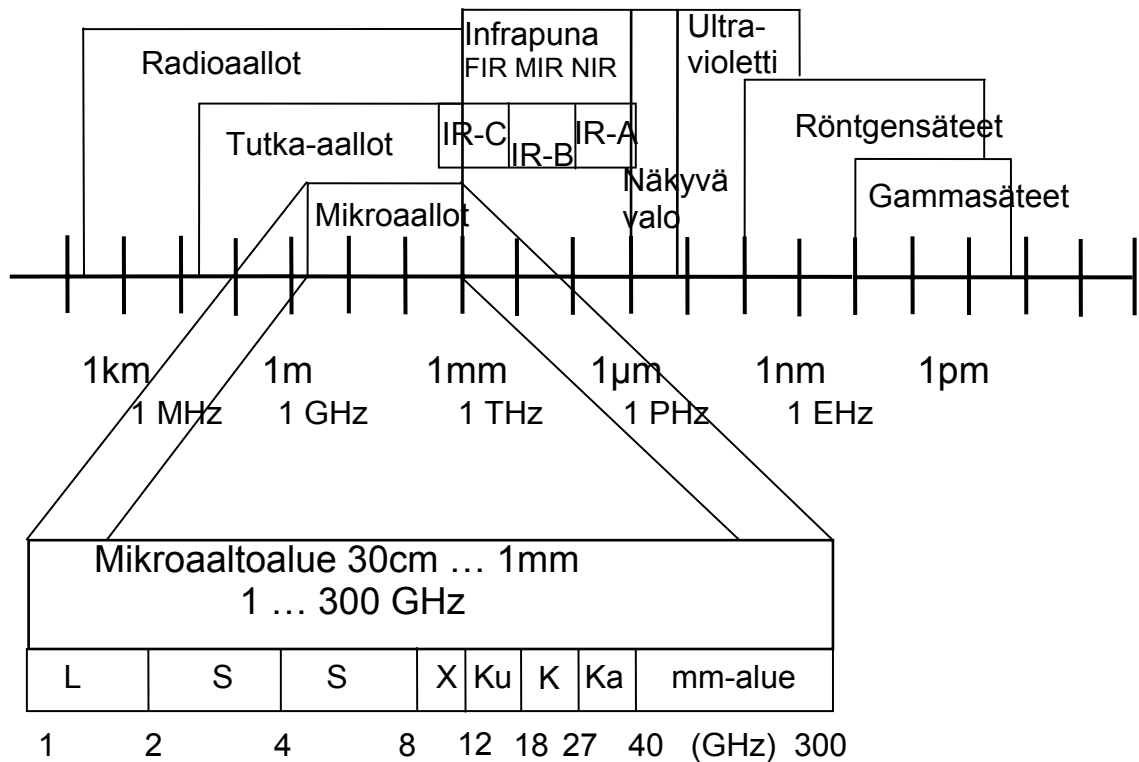
Kuva 2b. Esimerkki itämaisten ohjusten (AA-10C ALAMO) nimeämisestä Nato-luokittelun mukaisesti

2.1.1 Ohjuksen hakupää

Hakupää on hakeutumismenetelmiä soveltavien ohjusten tärkein komponentti. Hakupään tehtävä on lukittua maaliin ja antaa ohjuksen ohjausyksikölle tietoa maalin sijainnista. Hakupää voi olla mekaaniselta rakenteeltaan keilaava tai perustua kiinteään, tietyn katselukulman tarjoavaan ratkaisuun [8, 60]. Keilaavissa tutkahakupäissä voidaan käyttää elektronista tai mekaanista keilausta. Mekaaninen keilaus on hidas verrattuna elektroniseen keilaukseen. Elektronisella keilauksella saavutetaan myös muita etuja mekaaniseen keilaukseen verrattuna ja siksi elektronisesti keilaavat tutkat yleistyvät koko ajan tutkatekniikassa.

Ohjuksissa voidaan käyttää useita eri hakupäitä. On olemassa tutka-, infrapuna-, TV- ja lasertekniikkaan perustuvia hakupäitä. Ilmataisteluohjuksissa käytetään yleisesti tutka- tai infrapunahakupäitä.

2.1.2 Infrapunasäteily ja hakupää



Kuva 3: Spektrin osa-alueet

Infrapunasäteily on sähkömagneettista säteilyä, joka ulottuu millimetriaalloista aina näkyvän valon aallonpituuteen asti. Infrapuna voidaan jakaa kolmeen osaluueeseen. IR-A-alue on välillä 780–1400 nm, IR-B alue välillä 1,4–3,0 μ m ja IR-C alue välillä 3 μ m- 1mm [39]. Infrapunasäteily on säteilyä joka voidaan havaita lämpötilaa aistivilla sensoreilla. Ohjustekniikassa infrapunasäteilyä sovelletaan ohjusten hakupäissä, jotka hakeutuvat lämpölähteeseen.

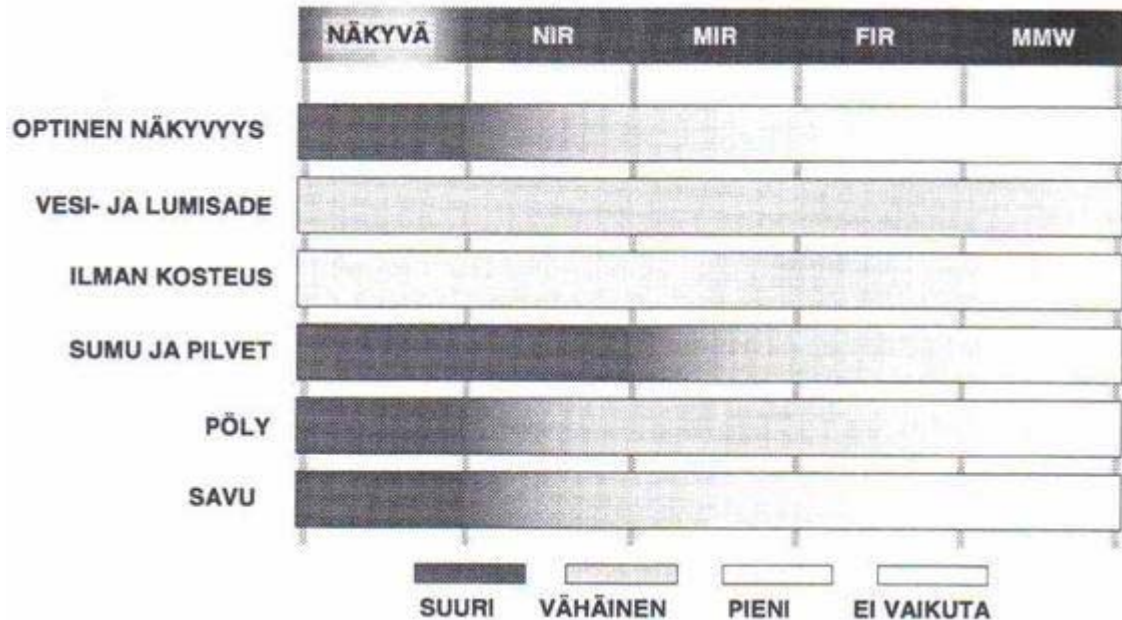
Infrapunahakuiset ohjukset hakeutuvat kohteeseensa infrapuna-alueella toimivan sensorin avulla. Infrapunasensorin tehtävänä on muuttaa silmälle näkymätön infrapuna- eli lämpösäteily sähköiseksi suureksi, joka voidaan edelleen muuntaa näkyväksi kuvaksi tai tulkita sitä suoraan tietokoneen avulla [56]. Karkealla jaolla Infra-

punasensorit voidaan jakaa jäädytettyihin tai jäädyttämättömiin sensoreihin. Ilmastaisteluohjuksissa käytetään hyvin yleisesti jäädytettyjä sensoreita [37].

Infrapunasensoreilla on monia hyviä puolia, mutta osaltaan myös heikkouksia ja vaikeuksia esimerkiksi ilmastaisteluohjusten hakupäässä käytettynä. Suurimpia etuja IP-sensoreissa on erittäin hyvä tarkkuus ja passiivisuus. Uusimpien kuvaa muodostavien sensoreiden avulla saadaan hyvin tarkka muotokuva esimerkiksi lentokoneesta, ilman että tarkkailtava kone saa mitään signaalia mahdollisesta sensorin lukittumisesta.

IP-sensorijärjestelmän suurin heikkous on niiden suorituskyvyn melko voimakas riippuvuus vallitsevista sääolosuhteista. Erityisesti ilman sisältämän veden määrä sekä ilmassa leijuvien aerosolihiukkasten koko ja määrä vaikuttavat IP-sensoreiden suorituskykyyn. Ilmassa olevan vesihöyryn vaikutus voidaan laskea melko helposti suhteellisen kosteuden ja lämpötilan avulla, mutta aerosolien vaikutuksen huomioiminen on yleisesti hankalaa [56].

Yksinkertainen esimerkki infrapunasensorille haitallisista asioista on tiivis pilvi. Täytyy kuitenkin muistaa että suurin osa infrapuna-alueella toimivista ohjuksista on tarkoitettu näköetäisyyden sisällä käytävään taisteluun, jossa vihollinen nähdään silmällä ja siksi pilven muodostama haitta on pieni. Ilman sisältämän veden määrä kuitenkin pienenee ylemmäksi mentäessä ja siksi edellä mainitut heikkoudet ovat varsin pieniä, varsinkin jos hakupäitä käytetään suurissa korkeuksissa.



Kuva 4: Signaalin etenemisreitien eri parametrien vaikutus eri aallonpituusalueilla toimivien sensoreiden toimintaan [40]

Infrapunahakuisissa ohjuksissa hakupäänä käytetään pyörivään rakolevyyn eli retikkeliin perustuvaa ratkaisua tai erilaisia mosaiikkiantureita. Retikkeliin perustuvat hakupäät ovat käytössä lähinnä vanhemmissa ohjuksissa (esim. AIM-9M). Uusissa ohjuksissa käytetään kiinteitä, puolijohdeilla toteutettuja mosaiikkisensoreita (esim. AIM-9X). Mosaiikkisensoreiden avulla saavutetaan varsin hyvä hahmontunnistuskyky, jonka avulla ohjus kykenee säilyttämään lukituksen häiriöissäkin olosuhteissa.

Vanhemmissa ohjuksissa oleva pyörivä retikkeli antaa pulssimodulaatiolla tiedon hakupään asennosta infrapunälähteeseen nähden. Hakupään signaalinkäsittelyelektroniikka määrittelee lämpölähteen kulmapoikkeaman retikkelin keskipisteestä ja antaa tarvittavat korjauskomennot ohjuksen ohjausjärjestelmälle. Hakupäät on yleensä valmistettu lyijysulfidista tai indiumin ja antimonin seoksesta. Niitä jäähdytetään ilmalla tai kylmällä nestemäisellä kaasulla herkkyuden parantamiseksi.

Uudet ohjukset käyttävät pääsääntöisesti mosaiikkiantureita, joissa on suuri määrä pieniä, infrapunasäteilyä havainnoivia puolijohdesensoreita. Kyseinen hakupää ei keilaa, vaan sillä on tietty katselualue, jonka puitteissa näkyvää infrapunakuvaa tutkitaan. Puolijohdesensorit muodostavat havainnoimastaan alueesta kuvan, jota tutkimalla ohjuksen ohjausyksikkö kääntää ohjusta haluttuun suuntaan. Ohjus voi lisäksi verrata hakupään muodostamaa kuvaa sen muistiin syötettyihin kuviin ja säilyttää lukituksen alussa valittuun kohteeseen vaikka ohjusta häiritäisiin voimakkaasti.

2.1.3 Tutkasäteily ja hakupää

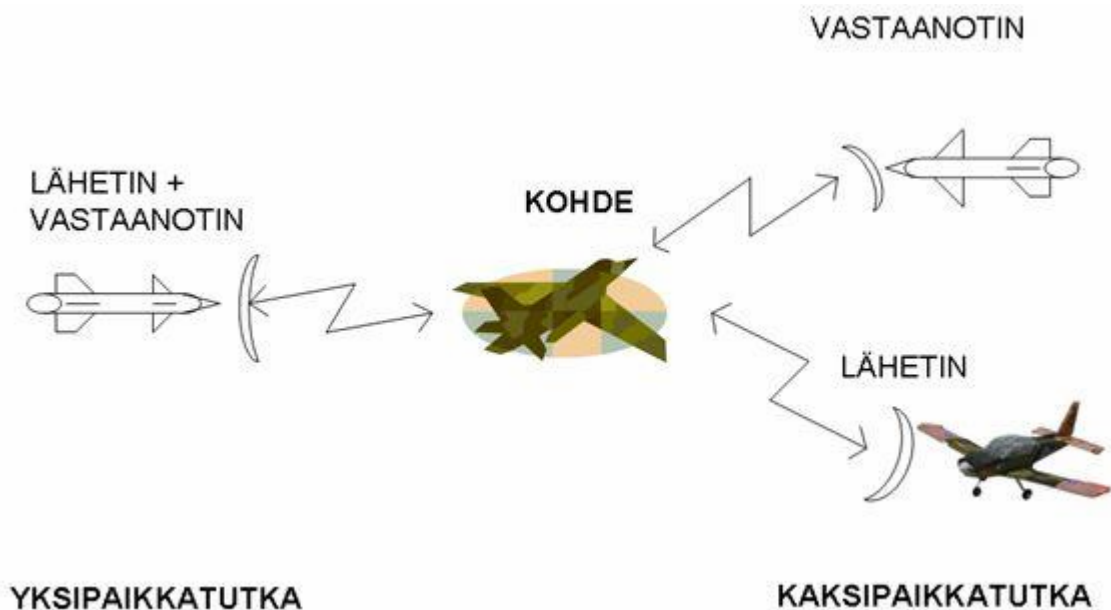
Tutkan, englanniksi radar (Radio Detecting And Ranging) toiminta perustuu sähkömagneettisen säteilyn suuntaamiseen, lähettämiseen ja vastaanottamiseen. Suunnattu säteily lähetetään kohteeseen ja kohteesta heijastunut sekä sironnut säteily vastaanotetaan niin, että sen perusteella voidaan määrittää kohteen suunta ja etäisyys. Tutkan toimintaperiaate on varsin yksinkertainen; lähettimessä muodostettu pulssi lähetetään antennin kautta ilmaan. Lähetetty pulssi osuu kohteeseen, ja tämän seurauksena säteily siroaa. Tästä siroavasta säteilystä osa palaa takaisin tutkan vastaanottimeen ja antaa tutkalle tiedon maalista. Vaikka periaate on hyvin yksinkertainen, voidaan tutkaa pitää tekniikkansa osalta koko taistelukentän monimutkaisimpana laitteena [40].

Tutkat voidaan jaotella useilla eri tavoilla. Yksi tapa on jakaa tutkat valvonta- ja seurantatutkiin. Valvontatutka käyttää tyypillisesti pienempää taajuutta ja suurempaa aallonpituutta kuin seurantatutka. Tämän takia valvontatutka on tyypillisesti iso ja lähetysteholtaan suuri. Valvontatutka kykenee näkemään maaleja useiden satojen kilometrien päästä. Ohjustekniikassa yleisemmin ovat käytössä seurantatutkat, joiden tarkoitus on lukittua maaliin ja seurata liikkeitä mahdollisimman tarkasti. Seurantatutkan taajuus on huomattavasti suurempi kuin valvontatutkalla; monet niistä toimivatkin $K_u - K_a$ -alueilla. Suuren taajuuden takia antenni voidaan tehdä pieneksi, jolloin laitteisto voidaan sijoittaa esimerkiksi ohjuksen hakupäähän. Seurantatutkalta vaadittu kantama on vain muutamia kymmeniä kilometrejä ja se vuoksi lähetystehon ei tarvitse olla kovin suuri. Samasta syystä pulssintoistotaajuus voi olla useita kilohertsejä [39].

Tutkat voidaan jaotella myös lähettimen ja vastaanottimen sijoituspaikan mukaan. Yksipaikka- eli monostaattitutkassa lähetin ja vastaanotin ovat samassa paikassa. Kaksipaikkaisessa- eli bistaattisessa tutkassa lähetin ja vastaanotin ovat eri paikoissa. Monipaikka- eli multistaattisessa tutkassa on yksi lähetin ja useampia vastaanottimia [39]. Yksi- ja kaksipaikkatutkan toimintaperiaate on esitetty kuvassa 5.

Ohjustekniikassa käytetään sekä yksipaikka- että kaksipaikkatutkia. Yksipaikkatutkaa käytetään yleisesti aktiivisissa tutkaohjuksissa. Aktiivisten ohjusten toiminta perustuu siihen, että ohjuksen oma tutka valaisee kohteen ja samassa tutkassa sijaitseva lähetin vastaanottaa säteilyn. Aktiivisen ohjuksen hyvä puoli on siinä, että am-

puvan koneen ei tarvitse valaista maalia ohjuksen osumiseen asti vaan se voi irtautua taistelusta ohjuksen jatkaessa itsenäisesti kohti maalia. Kaksipaikkatutkan toimintaperiaatteella toimiva puoliaktiivinen ohjus ei kykene itsenäisesti hakeutumaan kohteeseen, koska ohjuksen tutkahakupäässä ei ole omaa lähetintä. Tämän vuoksi kohdetta täytyy valaista jolloin muulla tutkalla. Yleisimmin puoliaktiivista ohjusta valaistaan laukaisevasta koneesta, joka aiheuttaa laukaisevan koneen joutumisen lähemmäksi vihollista [39].

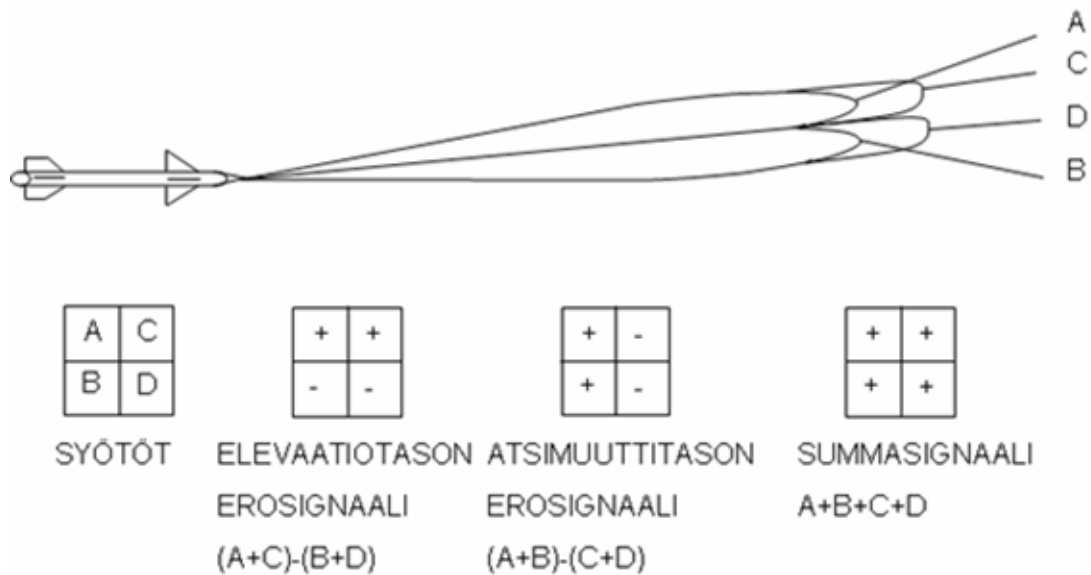


Kuva 5: Yksipaikka- ja kaksipaikkatutkan toimintaperiaate ohjustekniikassa

Puoliaktiiviset ohjukset ovat jo häviämässä aktiivisten ohjusten vallatessa markkinoita. Puoliaktiivisilla ohjuksilla on kuitenkin yksi merkittävä etu aktiivisiin verrattuna. Häiveteknologiaa käyttävät kohteet pyritään suunnittelemaan siten, että mahdollisimman pieni osa säteilystä heijastuu takaisin lähettimen suuntaan. Aktiivinen ohjus sekä lähettää että vastaanottaa säteilyä ja siksi sen on vaikea löytää häiveteknologiaa hyödyntävää kohdetta. Puoliaktiivinen ohjus löytää kohteen huomattavasti paremmin, koska lähetin voi olla eri suunnassa kuin ohjuksen hakupää ja siksi vastaanottoimeen heijastuu enemmän säteilyä.

Ilmataisteluohjus on varsin kapea ja ohjuksen koko ei mahdollista suuren antennin käyttöä hakupäässä. Tutkahakupäässä käytetyn antennin pieni koko mahdollistaa lyhyen aallonpituuden ja tarkan erottelukyvyn, mutta pieni antenni aiheuttaa sen, että tutka ei näe kovin kauas. Nykyaikaiset tutkahakupäät käyttävät ns. tasoantenneja, jotka kykenevät muodostamaan terävän keilakuvion. Terävän keilan ansiosta tutkan erottelukyky on hyvä. Nämä tutkat toimivat yleensä K_u - millimetrialueella.

Tutkahakuisten ohjusten hakupäässä käytetään yleisesti doppler-ilmiöön perustuvaa monopolssitutkaa. Doppler-tutkan avulla kyetään erottamaan myös matalalla lentävät maalit, koska maavälke suodatetaan pois tietokoneen avulla. Monopulssiseuranta taas kykenee suureen tarkkuuteen ja sitä kautta ohjuksen osumatodennäköisyys kasvaa. Monopulssitutka on myös varsin vaikea häiritävä [27].



Kuva 6: Monopulssiseurannan toimintaperiaate

Monopulssiseurannan toimintaperiaate on esitetty kuvassa 6. Tavallisin monopulssimenetelmä perustuu amplitudien vertailuun. Jos maalin suunta halutaan määrittää kahdessa tasossa, tarvitaan neljä samanaikaista keilaa. Jokaista keilaa on kallistettu hieman antennin keskiakselista poispäin. Keilojen keskinäisten amplitudierojen perusteella maalin paikka saadaan selville. Syöttönä voidaan käyttää esim. neljää eri syöttötorvea tai monimuototorvea, jossa synnytetään korkeampia aaltomuotoja haluttujen signaalien muodostamiseksi. Maalin paikka saadaan muodostamalla erosignaaliat atsimuutti- ja elevaatiotasossa. Maalin etäisyys määritellään keilojen summasignaalin avulla [39].

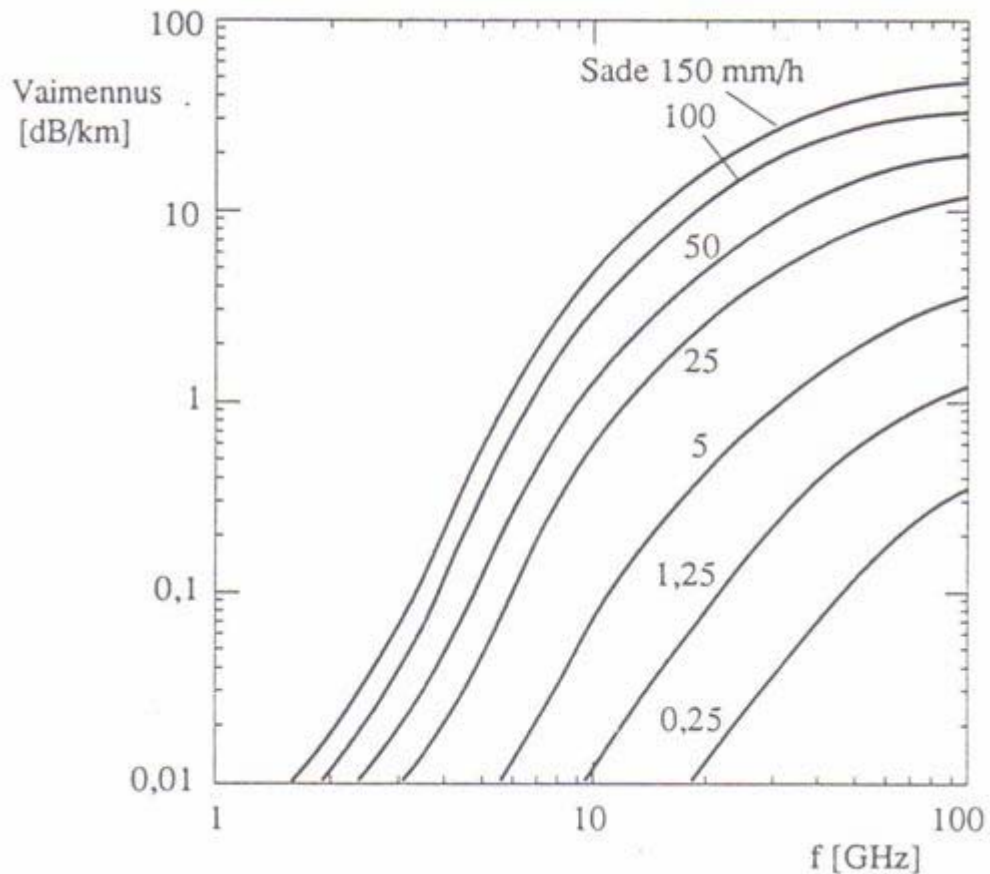
Muissa seurantamenetelmissä vaaditaan neljä pulssia, jotta maalin paikka pystytään hahmottamaan kahdessa tasossa. Lisäksi esimerkiksi maalin liikehdintä aiheuttaa eroja tutkapoikkipinta-alaan ja tämä huonontaa tutkan erottelutarkkuutta koska pulssin modulaatio saattaa vaihdella. Monopulssitutkan vahvuus on siinä, että se saa tarkan tiedon maalista jo yhdellä pulssilla.

Aktiivinen ohjus voidaan laukaista koneeseen saadun tutkahavainnon perusteella kohti maalia ja laukaiseva kone voi irtautua tilanteesta heti ohjuksen laukaistuaan.

Tällöin ohjus hakeutuu inertian avulla kohti ennakkopistettä ja avaa ennakkopisteellä oman tutkansa. Ohjuksen tutka aktivoituu ohjuksesta riippuen noin 10–40 km päässä kohteesta. Tällainen laukaisutapa antaa varsin pienen osumatodennäköisyyden. Maali saattaa liikehtiä laukaisun jälkeen ja ohjukselle annettu ennakkopiste on väärä suhteessa maalin uuteen sijaintiin.

Varmempi tapa osua kohteeseen on päivittää ohjuksen maalitietoa koneesta data-linkin avulla, jolloin ohjuksen saaminen oikealle ennakkopisteelle on varmempaa. Kun ohjus avaa oman tutkansa se näkee maalin suuremmalla todennäköisyydellä ja osuu kohteeseensa. Uusimmat ohjukset etsivät maalia suurella pulssintoistotaajuudella ja lähettävät näin suuren määrän energiaa, jotta maali saadaan erotettu välkkeen seasta [4]. Löydettyään kohteen uusimmat ohjukset voivat laskea pulssintoistotaajuutta tarpeen mukaan. Pulssintoistotaajuudella ja sen muutoksilla on suuri merkitys tutkan optimaalisen käytön kannalta. Optimaalisella pulssintoistotaajuudella voidaan parantaa tutkan maksimimitäisyyttä ja maalin erottamista välkkeen seasta varsinkin dopplertutkissa [54].

Ohjuksen hakupäässä olevan tutkan suurimpia ongelmia ovat tutkaan saatava varsin heikko teho, maalin pieni poikkipinta-ala ja ilmakehässä aiheutuva säteilyn vaimeneminen. Sotilaskäytössä olevat lentokoneet on pyritty suunnittelemaan siten, että tutkapoikkipinta-ala olisi mahdollisimman pieni. On helppo ymmärtää miksi maalin havaitseminen ohjuksen tutkalla on vaikeaa, kun tähän yhdistetään sateen mahdollinen vaimennus ja ohjuksessa olevan tutkan pieni teho. Edellä mainittujen asioiden lisäksi myös ilmakehän ominaisuudet vaikuttavat tutkahakupään suorituskykyyn. Yksi suurimmista suorituskykyyn vaikuttavista tekijöistä on sade. Sade vaimentaa sähkömagneettista säteilyä ja heikentää tutkan toimintaa kuvassa 7 esitetyllä tavalla.



Kuva 7: Sateen aiheuttama vaimennus sähkömagneettiseen säteilyyn [44]

Tutkan maksimimittausetäisyys voidaan laskea tutkayhtälön avulla [53]. Kun käytetään hyväksi taulukkoa sateen aiheuttamasta vaimennuksesta, voidaan laskea paljonko sade vaikuttaa esimerkiksi ohjuksen hakupäähän. Otetaan laskuesimerkkiin ohjus, jonka tutkan taajuus on 20 GHz ja maksimimittausetäisyys optimaalisissa olosuhteissa 30 km. Oletetaan että sadetta esiintyy 10 km:n matkalla ja sateen voimakkuus on 5 mm/h. Seuraavassa laskuesimerkissä lasketaan, paljonko on ohjuksen tutkahakupään uusi maksimimittausetäisyys kun sateen vaimennus otetaan huomioon.

Esimerkki 1: Sateen vaikutus tutkan maksimimittausetäisyyteen

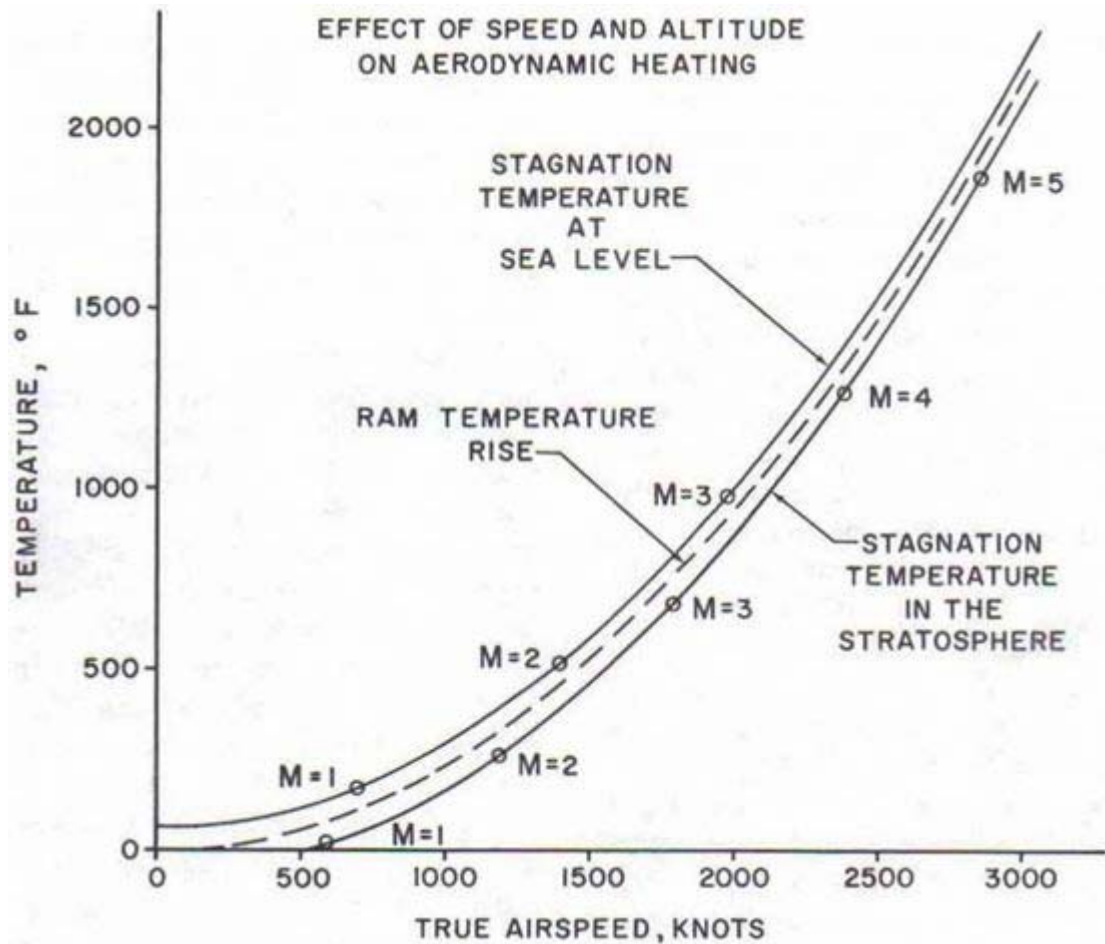
Laskuesimerkki on hyvin pelkistetty ja antaa vain summittaisen kuvan sateen vaikutuksesta tutkahakupäähän. Esimerkistä käy kuitenkin ilmi sään kiistaton vaikutus oh-

juksen tutkahakupään toimintakykyyn. Mitä korkeammalla taajuudella tutkan hakupään toimii, sitä enemmän sade heikentää sen ominaisuuksia.

2.1.4 Runko ja ohjausjärjestelmä

Ohjuksen runko toimii kantavana rakenteena kaikille osajärjestelmille ja lisäksi momenttivartena ohjusta ohjattaessa. Ohjuksen runko joutuu kovalle rasitukselle lennon aikana, koska rungon täytyy kestää kitkan aiheuttama lämpö, kaartelun aiheuttamat G-voimat ja lisäksi rungon on kuljetusten aikana suojattava iskuille ja tärähdyksille herkkiä osia ohjuksen sisällä. Suurilla nopeuksilla ja vaihtelevissa toimintaolosuhteissa lentävät ohjukset vaativat materiaalikseen korkeita lämpötiloja sietäviä metalleja, kuten erilaisia seosteräksiä, joiden lämmönsietokyky lähenee tuhatta astetta. [8]

Lämpötila vaikuttaa rungon rakenteen lisäksi siihen, kuinka paljon hakupää lämpee. Hakupään lämpötilalla on suuri vaikutus maalin havaittavuuteen varsinkin infrapunahakupäissä. Tämän takia ohjusten lentonopeutta voidaan joutua rajoittamaan maalin havaittavuuden parantamiseksi. Kuvasta 8 voidaan havaita nopeuden vaikutus ohjuksen lämpenemiseen. Lentonopeuden lisäksi merkittävä tekijä on myös lentokorkeus [34].



Kuva 8: Nopeuden vaikutus lämpötilaan [34]

Siivet toimivat ohjuksissa aerodynaamisesti aivan samalla tavalla kuin siipi lentokoneessa. Tosin ohjuksen nopeus on huomattavasti suurempi kuin lentokoneen, jolloin siipipinta-alaa tarvitaan paljon vähemmän. Käytännössä ohjukselle riittävän nostovoiman synnyttää pelkkä runko ja siipiä käytetään lähinnä ohjuksen ohjaamiseen haluttuun suuntaan. Mikäli ohjus käyttää siipiä ohjaamiseen, täytyy muistaa että ohjuksen on lennettävä riittävän tiheässä ilmassa, jotta haluttu aerodynaaminen ohjaus toteutuu. Lisäksi ohjuksen on lennettävä riittävän suurella nopeudella, jotta pienet siivekkeet toimivat tarkoitetulla tavalla.

Ohjuksen ohjaussiivekkeet voidaan asentaa painopisteeseen tai sen molemmin puolin. Etu- ja keskisiivekkeillä saavutetaan nopea ohjausvaikutus, mutta ohjuksen vakauttaminen on vaikeampaa. Takasiivekeohjaus on vakaa, mutta toiminnaltaan hitaana se aiheuttaa suuret liikeradat ohjukselle [8]. Edessä sijaitsevat ohjaussiivekkeet ovat tyypillisiä lyhyenkantaman ilmataistelu- ja ilmatorjuntaohjuksille. Edessä olevat siivekkeet tekevät ohjuksesta epävakaa ja siksi usein tarvitaan taakse isommat siivekkeet, jotka vakauttavat ohjuksen lentoa. Edessä olevat ohjaussiivek-

keet myös vievät tilaa muilta laitteilta ohjuksen etuosasta ja saattavat rajoittaa esimerkiksi ohjuksen hakupään kokoa [8].

Ohjuksen lentosuunnan ohjauksesta huolimatta ohjus pyrkii kuitenkin lennossa pyörimään pituusakselinsa ympäri muun muassa valmistusvirheistä johtuvan epäsymmetrian ja liikehtimisessä muodostuvien kallistusmomenttien seurauksena sekä ilmakehän häiriöiden vaikutuksesta. Pyöriminen ei välttämättä ole haitaksi, mutta tällöin ohjuksen ohjausjärjestelmän tulee tietää ohjuksen asento tarkasti, saadakseen ohjattua ohjusta haluttuun suuntaan [8]. Usein kuitenkin pyörimisestä halutaan päästä eroon. Yksinkertainen ja hyvin yleisessä käytössä oleva menetelmä on asentaa ohjuksen siipiin kallistuksenvaimennusperäsimet eli rolleronit, joissa sijaitsevat hammastetut kiekot pyörivät ilmapirran vaikutuksesta. Ohjuksen kallistuessa hammaspyörät toimivat hyrränä, joka pyrkii säilyttämään asentonsa avaruudessa, kääntäen samalla vakauttavaa peräsintä [8].



Kuva 9: AIM-9M-ohjuksessa olevat rolleronit vakauttavat ohjuksen lentoa

Vaihtoehto siivillä toteutetulle ohjaukselle on ohjaus suihkuvirtauksen suuntausmenetelmillä. Tämä menetelmä voidaan toteuttaa joko kääntämällä koko suihkusuutinta tai kääntämällä suihkusuuttimen takana olevia pieniä ohjauslevyjä, jotka pakottavat suihkuvirtauksen haluttuun suuntaan. Suihkuvirtauksen etuna on ohjuksen hyvä liikehtimiskyky. Haittoina ovat liikehtimisen aiheuttama vastuksen kasvu sekä ohjuksen kyvyttömyys ohjautua maaliin moottori sammuttua. Usein nykyaikaisissa ohjuk-

sisä käytetäänkin sekä suihkunsuuntausta (TVC = thrust vectoring control) että perinteistä siivekeohjausta.

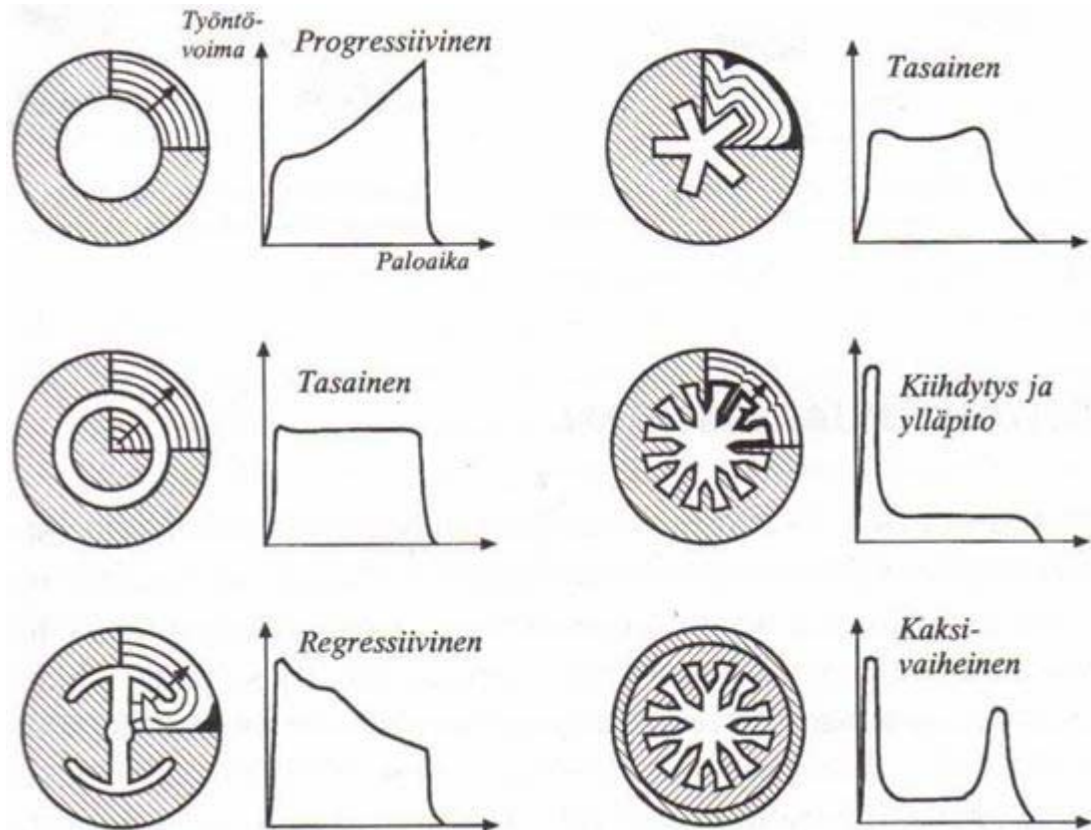
2.1.5 Moottorit ja voimantuotto

Kaikki ohjuksissa käytettävät moottorit ovat reaktiomoottoreita. Tällaisen moottorin toiminta perustuu Newtonin mekaniikan kolmanteen liikelakiin, jossa todetaan, että jokaiseen vaikutukseen (aktio) liittyy samansuuruinen, mutta vastakkaissuuntainen vaikutus (reaktio). Reaktiomoottorin toimintaidea on lähettää ainesuihku tiettyyn suuntaan, jolloin siihen itseensä kohdistuu vastakkaiseen suuntaan vaikuttava voima [8]. Yleisesti kuvitellaan että tällä periaatteella toimiva moottori ”työntää” itseään ilmaan nojaten, mutta kyseessä on puhtaasti systeemin sisäinen reaktio. Tämä mahdollistaa moottorin käytön myös tyhjiössä tai hyvin korkealla, missä ilman tiheys on pieni.

Moottorit jaetaan niiden toimintaperiaatteiden mukaan kahteen luokkaan; rakettimoottoreihin, jotka kuljettavat hapettimen mukanaan sekä ilmareaktiomoottoreihin, jotka käyttävät ulkoilman happea. Rakettimoottorit voidaan jakaa ruutiraketti- ja nesteraketimoottoreihin. Ilmareaktiomoottorityypit ovat suihkuturbiini, ohivirtaus- ja patomoottori [60].

Ohjuksissa moottorityyppejä on kolme erilaista. Ulosheittomoottorit työntävät ohjuksen ulos laukaisuputkesta tai ohjussäiliöstä halutulla nopeudella sellaiselle etäisyydelle, että lähtö- tai matkamoottori voidaan käynnistää ampujan tai laukaisulavetin kannalta turvallisesti. Lähtömoottorin tehtävänä on kiihdyttää ohjus sellaiseen nopeuteen, että matkamoottorin käynnistyminen ja/tai ohjuksen aerodynaaminen ohjaus on mahdollista. Matkamoottorin tehtävänä on saattaa ohjus maksiminopeuteen ja/tai ylläpitää haluttua matkanopeutta [60].

Ulosheitossa ja lähtökiihdytyksessä käytetään yleensä ruutiraketimoottoria ja nopeassa matkantekovaiheessa rakettimoottoria tai patomoottoria. Ruutiraketimoottorissa on ajoaineena palotilaan sijoitettu, sopivaan muotoon valettu ruuti tai muu kiinteä seosaine, jonka pinnalla palamisreaktio sytyttämisen jälkeen tapahtuu [8]. Usein ruutiraketimoottori on suunniteltu siten, että se sisältää kaksi eri toiminnallista vaihetta, esimerkiksi lähtö- ja matkamoottorivaiheen. Tämä on toteutettu suunnittelemalla ruutitilatauksen muoto sellaiseksi, että palopinta-ala on suurempi lähtövaiheessa [60].



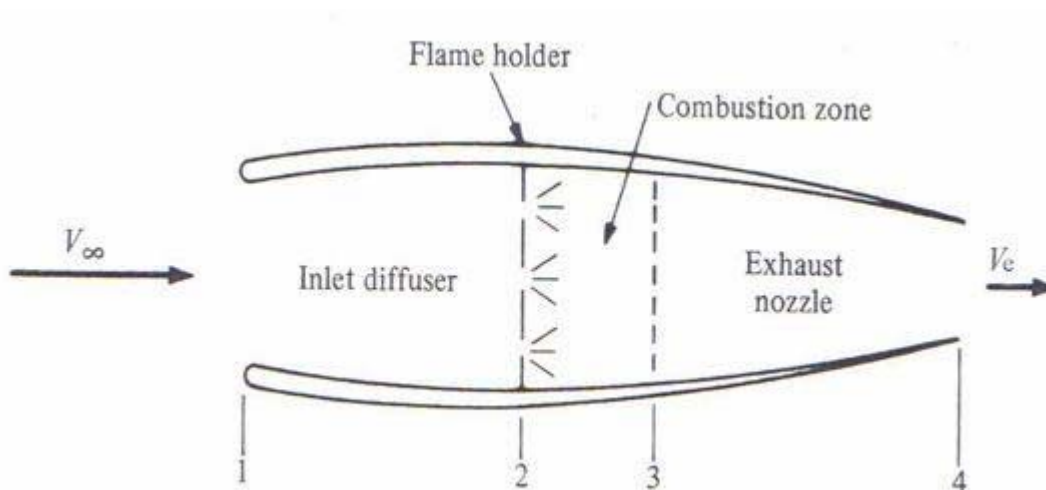
Kuva 10: Ruutilatauksen muodon vaikutus työntövoimaan [60]

Ruutirakettimoottorin hyviä puolia ovat yksinkertaisuus, turvallisuus ja luotettavuus. Moottorissa ei tarvita erillisiä pumppuja eikä monimutkaisia mekaanisia laitteita. Moottorit ovat lisäksi saatavaan energiamäärään nähden varsin pieniä ja niitä voidaan varastoida pitkiäkin aikoja ilman huoltoa. Osa ruutirakettimoottoreista voidaan varastoida useita vuosikymmeniä.

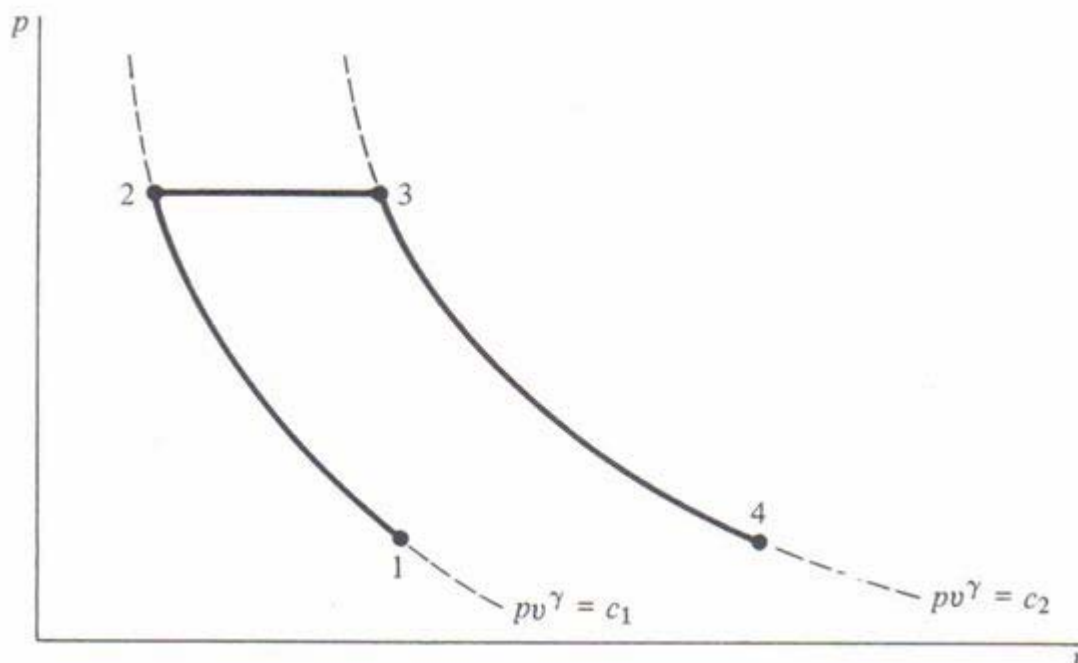
Ruutirakettimoottorin heikkoudet eivät ole kovin merkittäviä ohjusten kannalta. Suurimmat heikkoudet ovat impulssin vaihtelevuus ja se, ettei moottoria voida sammuttaa kun se on kerran sytytetty. Lisäksi työntövoimaa ei voida säädellä millään tavalla vaan ruuti palaa loppuun kerralla ja tämän jälkeen työntövoimaa ei voida samasta moottorista enää saada. Nämä eivät kuitenkaan ohjusten kannalta ole kovin merkittäviä ja ruutirakettimoottorin hyvät puolet ovat huomattavasti tärkeämpiä kuin huonot ja siksi moottoriratkaisu on hyvin yleinen ohjuksissa. [3]

Toinen täysin erilainen moottori ohjuksissa on ramjet- eli patomoottori. Patomoottorin toimintaperiaate on varsin yksinkertainen. Kuvassa 11 ja kuvassa 12 on esitetty patomoottorin toiminta. Kun ilma johdetaan sisään nopeudella V_{∞} , se hidastuu pisteiden 1 ja 2 välillä. Pisteiden 2 ja 3 välillä ilman sekaan johdetaan polttoaineseos, joka syttyessään purkautuu ulos ja kiihtyy pisteiden 3 ja 4 aikana. Tämä nopeuden lisäys antaa moottorille työntövoiman, jonka avulla ohjus liikkuu eteenpäin. [3]

Optimaalisen patomoottorin paineen ja nopeuden suhde on esitetty kuvassa 12. Paineen kasvu saadaan aikaan diffuuserissa jossa nopeus pienenee ja paine kasvaa. Tämän jälkeen polttoaine suihkutetaan palotilaan, jossa seoksen paine ei kasva, mutta nopeus kasvaa. Tämän jälkeen suihkusuuttimen avulla virtauksen paine pienennetään alkuperäisen virtauksen tasolle. Tämä aiheuttaa nopeuden kasvun, ja tämä nopeuslisä tuottaa moottorin työntövoiman. [3]



Kuva 11: Patomoottorin toimintaperiaate [3]



Kuva 12: Paineen ja nopeuden suhde optimaalisessa ramjet-moottorissa [3]

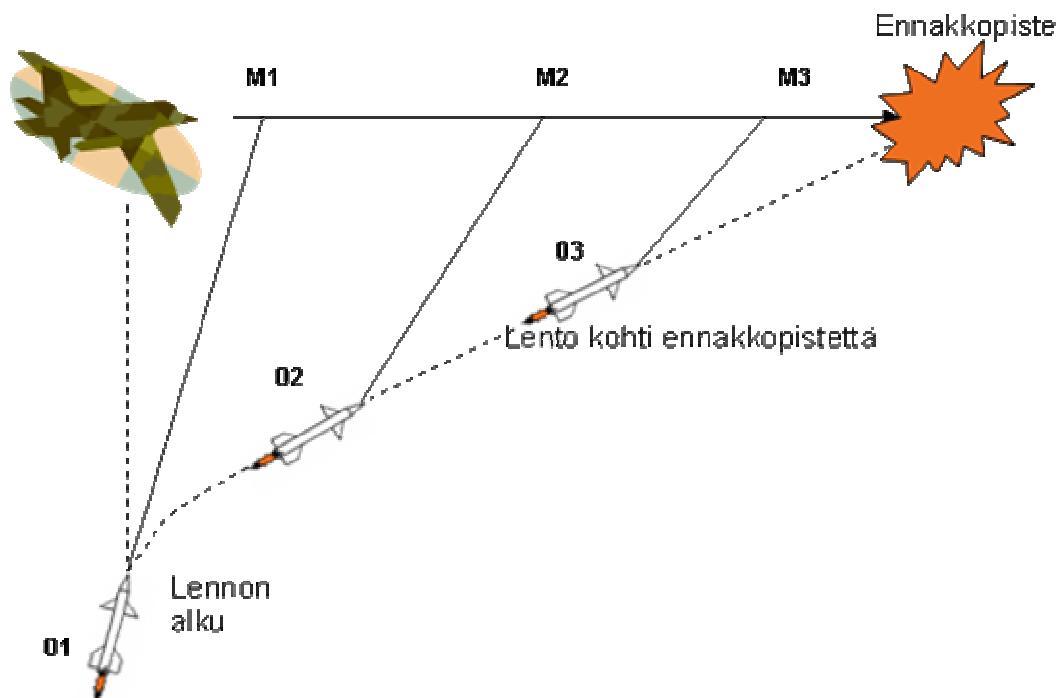
Patomoottorin toimintaperiaate on varsin yksinkertainen, mutta sillä on kuitenkin yksi vakava puute: moottorin täytyy olla liikkeessä ennen kuin moottori alkaa toimia. Patomoottorin ominaisuuksia voidaan hyödyntää täysipainoisesti vasta yliäänipuolella

ja siksi ohjuksessa on välttämätöntä olla erillinen lähtömoottori, joka antaa ohjukselle riittävän nopeuden matkamootoria varten [3]. Tämän takia nykyaikaisissa ohjuksissa (esim. MBDA Meteor) ohjus kiihdytetään lähtömoottorin (ruutirakettimeoottori) avulla yläpuolelle, jonka jälkeen patomoottori ylläpitää ohjuksen matkanopeuden. Ohjuksen ruutirakettimeoottorin täytyy palaa ensin loppuun, koska patomoottorin palotilana käytetään tyhjentyntä ruutirakettimeoottoria. Patomoottorit mahdollistavat pidemmän kantaman ja tulevat yleistymään erilaisissa ohjuksissa.

2.1.6 Ohjautusmenetelmä

Ohjautuksella tarkoitetaan ohjuksen lentoreitin määrittämistä ja korjaamista tietyn periaatteen mukaisesti. Ohjuksen lentoreitti maaliinsa on kolmiulotteinen ja risteilygeometrian matemaattinen käsittely etukäteen on usein mahdotonta. Käyttöön valitusta reititysmenetelmästä riippuen ohjus laukaistaan joko maalia kohti tai halutun ennakon mukaiseen suuntaan [8].

Ilmataisteluohjuksen ohjautuksessa käytetään hyvin yleisesti kulmanopeusreititystä. Kulmanopeusreitityksen periaate on, että ohjuksen hakupää mittaa jatkuvasti ohjuksen ja maalin välistä suuntaa. Ohjus reagoi tämän suunnan muutoksiin muuttamalla etenemissuuntaansa siten, että suunnan muutos on jollain kertoimella verrannollinen havaittuun suuntaeroon. Tämä kerroin, kulmanopeuskerroin, voi olla kiinteä tai lennon aikana vaihteleva. Kertoimen suuruus määrittää siis sen, miten voimakkaita korjauskomentoja ohjus saa [60].



Kuva 13: Kulmanopeusreitityksessä ohjuksen hakupää mittaa jatkuvasti maalin ja ohjuksen välistä suuntaa ja hakeutuu kohti ennakkopistettä

Kulmanopeusreititettyjä ohjuksia voi yrittää kinemaattisesti väistää vaihtelemalla koneen suuntaa. Tällöin ohjus ohjautuu aina kohti uutta ennakkopistettä ja tämä kasvattaa ohjuksen lentomatkaa. Myös ohjuksen kaartaminen kuluttaa energiaa ja ohjus lentää huomattavasti lyhyemmän matkan verrattuna alkuperäiseen suoraan lentoon kohti ennakkopistettä.

Ohjuksen ohjautusmenetelmän yksi oleellinen osa on laukaisevasta koneesta saatu, päivitetty maalitieto. Tutkahakuiset ohjukset hakeutuvat lennon alkuvaiheen kohti ennakkopistettä ja ennakkopisteen paikkaa täytyy muuttaa mikäli maali liikehtii. Myös LOAL-kyvyn omaavat infrapunaohjukset hakeutuvat ennakkopisteelle, mikäli eivät laukaisuhetkellä näe maalia. Tämä maalitieto välitetään ohjukselle hyvin yleisesti datalinkin välityksellä.

2.1.7 Tuhovaikutusjärjestelmä

Vaikutusjärjestelmä ohjuksessa suorittaa varsinaisen työn kohteella. Jos ohjausjärjestelmä ilmataisteluohjuksessa olisi erehtymätön ja osuisi 100 %:sesti maaliin, sytyttimenä riittäisi ainoastaan iskusytytin. Näin ei kuitenkaan ole, ja siksi vaikutusosa

sisältää seuraavat yksiköt: lähisytytin, suoritus- ja varmistuskoneisto sekä taistelulataus [43].

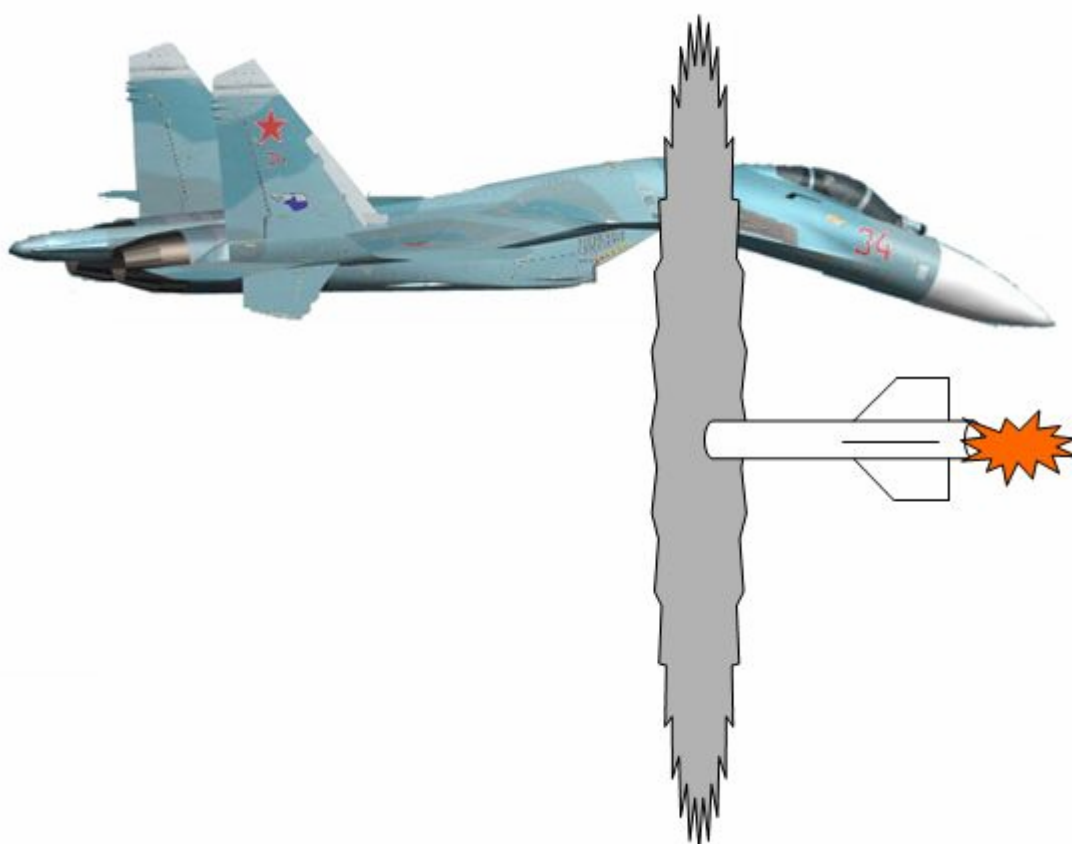
Ohjuksen taistelulataus voidaan laukaista joko kosketus- tai lähisytyttimen avulla. Kosketussytyttimet vaativat suoran osuman kohteeseen, mutta lähisytyttimet on sen sijaan suunniteltu räjäyttämään ohjus taistelulatauksen määrästä riippuen jopa 10–20 metrin etäisyydellä kohteesta, koska suoran osuman saavuttaminen liikkuvaan maaliin on vaikeaa. Lähisytyttimet ovat herättesytyttimiä, joiden toiminta voi perustua moneen eri periaatteeseen. Koska lähisytyttimet ovat vallitsevina ohjuskäytössä, tarkastellaan ainoastaan niiden toimintaa tarkemmin [8].

Tutkalähisytytin ilmataisteluojuksissa on toiminnaltaan aktiivinen, eli siinä on oma lähetin ja vastaanotin. Lähisytytin ei kaikissa ohjuksissa kytkeydy toimintaan heti laukaisun jälkeen, vaan tietyn lentoajan tai ulkopuolisen herätteen vaikutuksesta. Näin siksi, ettei maalille haluta antaa ennakkovaroitusta lähestyvistä ohjuksista, varsinkaan passiivista ohjusta käytettäessä. Tutkalähisytyttimessä voidaan käyttää tavanomaista pulssitutkaa, jolloin tutkalla mitataan ohjuksen ja maalin suhteellinen nopeus ja etäisyys, ja näiden perusteella määritetään suotuisin räjäyttämishetki. Yleisin tutkalähisytyttimen toiminta perustuu doppler-ilmiön hyväksikäyttöön, jolloin voidaan todeta minimietäisyys maaliin ja laukaista taistelulataus [43].

Laseriin perustuva lähisytytin toimii myös tutkaperiaatteella. Sytyttimessä on ohjukselle määritellystä lentoasennosta riippuen laseriodi tai – diodeja, jotka lähettävät kartiomaista säteilykeilaa ohjuksen etusektoriin. Vastaanottimena toimivat valodiodit ilmaisevat maalista takaisin heijastuvan säteilyn ja mikäli sen intensiteetti on riittävän suuri, suoritetaan sytytys [8].

Infrapunasytytin on toinen yleinen käytössä oleva sytytintyyppi tutkasytyttimen lisäksi. Sytyttimeen liittyy joukko ohjuksen ympärille sijoitettuja infrapuna-antureita, jotka toimivat pareittain. Kunkin anturiparin etummainen anturi on suunnattu eri kulmaan kuin takimmainen anturi. Kun etummainen anturi ilmaisee infrapunälähteen, kuten esimerkiksi lentokoneen kuuman pakokaasuvanan, se käynnistää ajastinpiirin. Jos takimmaiselta anturilta saadaan lämpölähteen ilmaisu ennen tietyn ajanjakson kulumista, on maali taistelulatauksen vaikutusalueella ja suoritetaan räjäytys. Oikea räjäytysetäisyys määritellään infrapunasäteilyn intensiteetin perusteella [60].

Taistelulatauksena voidaan ilmataisteluohjuksissa käyttää painevaikutukseen tai sirpalevaikutukseen perustuvaa räjäytystä. Painevaikutus on yksinkertaisin ja halvin ratkaisu [8]. Painevaikutteisilla taistelukärjillä ei kuitenkaan päästä haluttuihin tuloksiin ja siksi vaikutusperiaatteina käytetään lähes poikkeuksetta sirpalevaikutteisista taistelulatausta [60]. Sirpalevaikutukseen perustuvissa taistelulatauksissa käytetään räjähdysaineen ympärillä paksua metallivaippaa, joka muodostaa rikkoutuessaan sirpaleita. Tuhovaikutus kohteessa riippuu sirpaleiden koosta ja massasta sekä niiden iskunopeudesta. Merkitystä on luonnollisesti myös sirpaleiden lukumäärällä ja materiaalilla [8].



Kuva 14: Esimerkki taistelulatauksen sirpalevaikutuksesta

Vaikutuksen keskittämiseksi käytetään suunnatun sirpalevaikutuksen lisäksi tanko-taistelulatauksia. Nämä voivat muodostua jatkuvasta tai epäjatkuvasta tangosta. Jatkuvassa tangossa on nippu toisiinsa molemmista päistä kiinnitettyjä metallitankoja kiedottu tiiviiseen pakettiin räjähdysaineen ympärille. Metallitangot voivat olla muodoltaan pyöreitä, neliön tai suorakaiteen muotoisia. Metallinippu muodostaa räjähdyksessä yhtenäisen rakenteen, jolla on ilmamaaliin osuessaan huomattava tuhovaikutus. Jatkuvan tangon haittapuolia ovat rakenteen monimutkaisuus ja kalleus, pieni lähtö- ja iskunopeus, rajoitettu ulottuvuus sekä tehon riippuvuus rakenteen

koossapysymisessä. Viimeksi mainitun ongelman välttämiseksi ovat eräät taistelula-
taukset tehty sellaisiksi, että tangot eivät jää räjähdysten jälkeen toisiinsa kiinni. Täl-
laista rakennetta kutsutaan epäjatkovaksi tangoksi [60].

2.1.8 Ohjusten asettamat vaatimukset lentokoneelle

Nykyaikaisten ilmataisteluohjusten käyttöä eivät rajoita pelkästään ohjusten ominai-
suudet, vaan esimerkiksi koneen ja ohjaajan mahdollisuus osoittaa maali ohjukselle.
Tätä varten modernit hävittäjät tarvitsevat toimivan ja hyvän kypärätähtäimen. Kypä-
rätähtäimen perustarkoitus on mahdollistaa ohjuksen laukaisu normaaleja suurem-
mille off-boresight kulmille. Kypärätähtäimissä on useita mahdollisia versioita riippu-
en valmistajamaasta. Osassa kypärätähtäimiä on vain yksinkertainen hiusristikko,
jolla voi kääntää ohjuksen hakupäätä ja osa kypärätähtäimistä antaa ohjaajalle pal-
jon muutakin informaatiota.

Ensimmäinen palveluskäyttöön otettu (1985) kypärätähtäin on MiG-29:n kypärätäh-
täin. Kypärätähtäin on varsin yksinkertainen 300 gramman painoinen laite, jolla kye-
tään kääntämään ohjuksen hakupäätä, koneen IRST:ä ja tutkaa. Kypärätähtäimen
liikealue on n. +/- 60 astetta sivusuunnassa, mutta lukituksen saa +/- 45 asteen sek-
torista ja pystysuunnassa +60 ja -15 asteen sektorista. Kypärätähtäimistä on kehitet-
ty monia eri versioita ja uusimmat kypärätähtäimet kykenevät osoittamaan maalin
ohjuksen hakupään kääntymiskulman rajoissa.

Toinen merkittävä tekijä ohjusten käytön kannalta on koneen tutka. On ensiarvoisen
tärkeää saada maali näkyviin koneen tutkalla mahdollisimman aikaisin, jotta ohjus-
ten pitkiä maksimietäisyyksiä voidaan hyödyntää. FA-18E/F Super Hornetissa oleva
APG-79-tutka on tietävästi ensimmäinen länsimaisissa koneissa oleva tutka, joka
kykenee kaikissa tilanteissa näkemään maalin kauempaa kuin ohjus pystyy maaliin
vaikuttamaan [52]. Hävittäjien tutkat ovat kuitenkin varsin heikkoja varsinaiseen ilma-
tilan valvontaan. Nykyaikana käytetään hyvin yleisesti varsinaisia valvontatutkia
(esim. AWACS) ilmatilan valvontaan ja hävittäjien tehtävänä on löytää heille osoitet-
tu maali ja laukaista ohjus [7].

Sen lisäksi, että kone havaitsee maalin, on ohjuksen optimaalisen käytön kannalta ohjusta päivitettävä sen lennon aikana. Lähes kaikki nykyaikaiset tutkahakuiset ohjukset hakeutuvat alkulennon komento-ohjattuna datalinkin välityksellä. Koneessa täytyy olla riittävän tehokas lähetin, jotta ohjusta voidaan päivittää yli viidenkymmenen kilometrin päähän laukaisevasta koneesta. Nykyaikaisia ohjuksia (esim. METEOR) voidaan päivittää myös muista kuin laukaisevista koneista, esimerkiksi AWACS voi päivittää METEOR-ohjusta sen lennon aikana [36, 22]. Tämä ominaisuus on erittäin hyödyllinen, koska tällöin laukaiseva kone voi itse laukaista ohjuksen passiivisena ja täten päästä yllättämään vastustajan.

Yksi erittäin tärkeä koneen ominaisuus on tarjota ohjaajalle mahdollisimman hyvää tilannekuvaa, jotta ohjaaja kykenee ilmataistelussa mahdollisimman nopeisiin ja oikeisiin ratkaisuihin. Yksi esimerkki tällaisesta laitteesta on IFF-laite (=Identification Friend or Foe), jonka avulla ohjaaja näkee onko tutkassa näkyvä maali oma vai vihollinen [7].

Kaikki tilannekuvaa tarjoavat apuvälineet voidaan laskea kuulumaan oleellisena osana ohjusten avulla käytävään ilmataisteluun. Näitä apuvälineitä on paljon ja ne ovat erilaisia riippuen eri koneista (mm. tutkavaroitinimet). Tämän vuoksi niitä ei tässä tutkimuksessa tarkemmin esitellä. Yksi tulevaisuuden tärkeistä tutkimuksista on selvittää keinot, jolla ohjaaja kykenee hallitsemaan koko ajan teknistyvää ja monimutkaistuvaa ilmataistelua. Kaiken tämän tiedon hallitsemiseen tarvitaan laitteita, jonka avulla ohjaaja pystyy luomaan itselleen mahdollisimman hyvää tilannetietoisuutta ympäristöstä ja tätä kautta käyttämään lentokoneen asejärjestelmää mahdollisimman tehokkaasti.

2.1.9 Muita ohjusten suorituskykyyn vaikuttavia tekijöitä

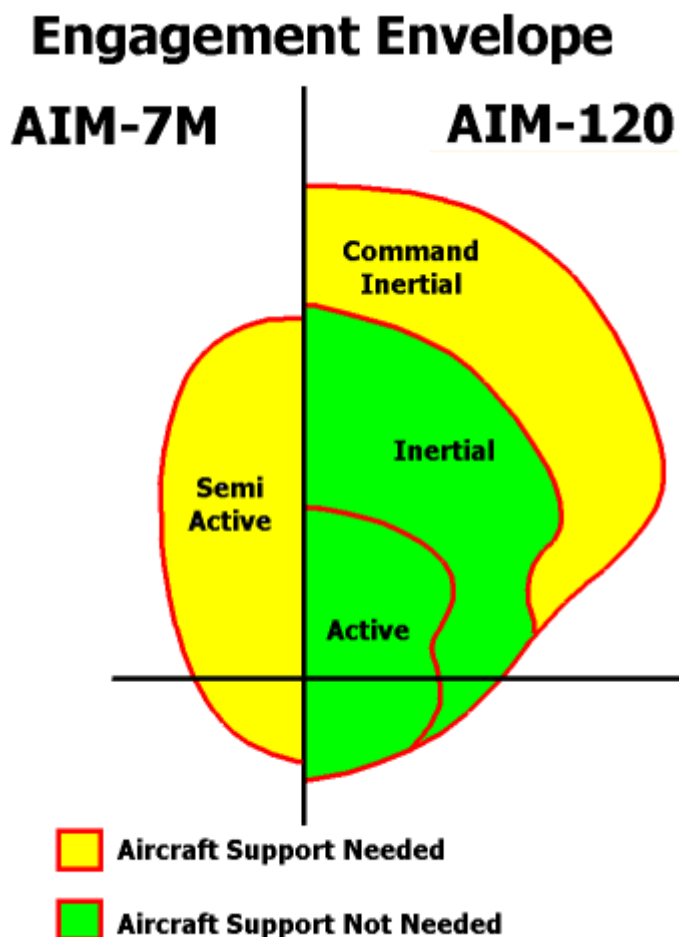
Tietyt ohjusten tekniset asiat eivät muutu, mutta saman ohjuksen ominaisuudet voivat muuttua hyvin paljon riippuen siitä, minkälaisesta tilanteesta ohjus laukaistaan. Yksi hyvin merkittävä asia on laukaisevan koneen ja maalin välinen nopeusero. Alla olevassa esimerkkikuvassa on laskettu kuvitteellisen ohjuksen maksimilaukaisuetäisyydet lähestyvään ja loittonevaan maaliin. Laskussa on käytetty ohjusta, jonka moottorin paloaika on kymmenen sekuntia, tästä kymmenestä sekunnista ensimmäiset kaksi kuluu ohjuksen kiihdytykseen. Tämän kymmenen sekunnin jälkeen oh-

juksen vauhti pienenee lineaarisesti kohti nolaa. Ohjuksen vauhti on täysin pysähtynyt 100 sekunnin päästä laukaisusta.



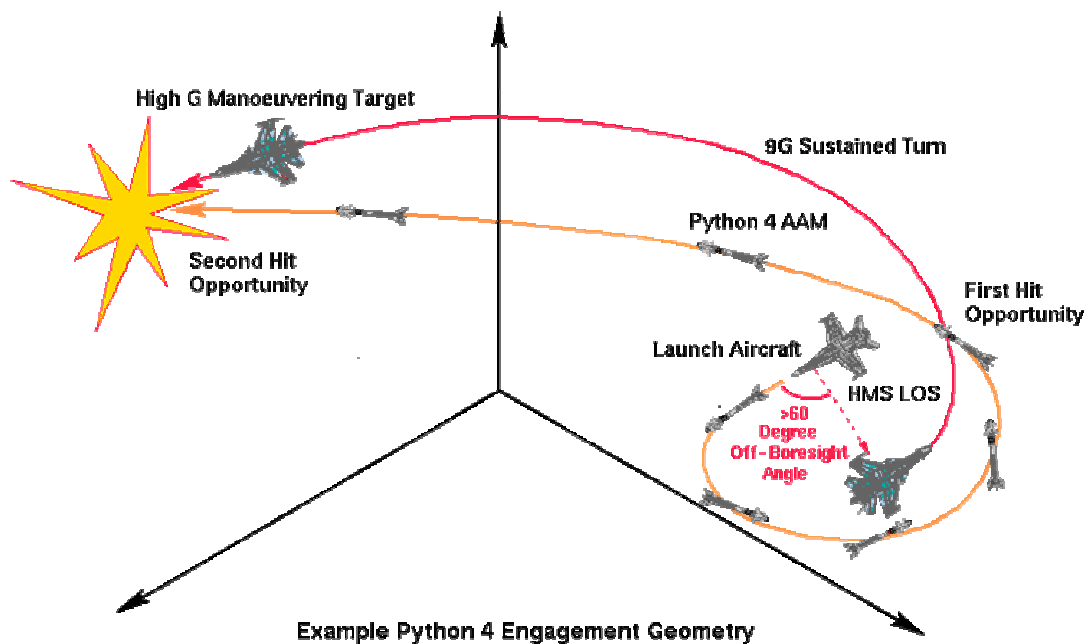
Kuva 15: Ohjuksen maksimilaukaisuetäisyys riippuen koneiden kohtaavasta nopeudesta

Kyseinen esimerkki on täysin kuvitteellinen ja laskettu tapahtuvan ilman lentokorkeuden muutoksen vaikutusta. Todellisessa tilanteessa saman ohjuksen laukaisuetäisyydet olisivat pienempiä, koska maali ei lentäisi aivan suoraan ja ohjus ei osuisi kohteeseen ohjuksen vauhdin pienentyessä kovin pieneksi. Seuraava esimerkki on AIM-120 AMRAAM ja puoliaktiivisen AIM-7 Sparrow-ohjusten vertailu. Esimerkistä ei käy ilmi maksimietäisyyksiä, mutta niiden suhde on varsin selvä. Kuvaa tulkitaan siten, että maali on kuvan keskellä olevassa ristikossa, kuvitteellinen lentosuunta ylöspäin. Torjuja on kuvan viivojen ulkokehällä nokka kohti maalia. Kuvasta käy myös ilmi AMRAAM-ohjuksen lennon eri vaiheissa tapahtuva maalin päivittystapa.



Kuva16: Maalin lentosuunnan vaikutus ohjuksen maksimilaukaisuetäisyyteen [19]

Maksimilaukaisuetäisyyden lisäksi ohjuksen laukaisussa on huomioitava minimilaukaisuetäisyys. Minimilaukaisuetäisyyttä rajoittaa ohjuksen taistelujärjestelmän aktivoituminen, joka estää ohjusta räjähtämästä niin, että räjähdyksestä aiheutuisi tuhoa laukaisevalle koneelle. Israelilaisvalmisteinen Python 4 on hyvä esimerkki lyhyen minimilaukaisuetäisyyden omaavasta ohjuksesta. Kohtilentävään maaliin Python 4-ohjuksen minimilaukaisuetäisyys on 700 metriä. Maali voi väistää ohjusta yhdeksän G:n kaarrolla, mutta ohjus osuu silti, mikäli se on laukaistu alle 60 asteen off-boresight kulmilta [9, 24].



Kuva 17: Python 4-ohjuksen hyökkäysgeometria [24]

Kolmas tärkeä asia ohjusten suorituskyvyssä on korkeusalue, josta laukaisu tapahtuu. Mitä korkeammalla ohjus laukaistaan, sitä ohuempaa ilma on. Ilman tiheydellä on oleellinen merkitys painevastuksen muodostumisessa, ja siksi mitä korkeammalle ohjus lentää, sitä vähemmän sillä on vastusta. Ruutirakettimoottorista saatava työntövoima ei muutu korkeuden mukaan ja siksi korkeammalla sytytetty moottori kiihdyttää ohjuksen nopeampaan vauhtiin.

3 VERTAILU JA YHTEENVETO ERI OHJUKSISTA

3.1 Infrapunahakuiset ohjukset

3.1.1 AIM-9M ja aikaisemmat versiot

AIM-9 Sidewinder ohjusperhe on maailmalla käytössä yli 40 valtiolla. Ensimmäinen ohjusperheen jäsen näki päivänvalon palveluskäytössä jo 1950-luvulla ja siitä asti ohjusperhe on kasvanut tasaisin väliajoin uudella modifikaatiolla vanhasta. Vietnamin ja Jom Kippurin sotakokemukset osoittivat, että tarvitaan uusi ohjus, joka pystyy paremmin toimimaan matalissa korkeuksissa ilman maasta, pilvistä ja auringosta heijastuvan taustasäteilyn vaikutusta. AIM-9L oli parannettu versio AIM-9H:sta, jonka suurimpia ongelmia oli taustasäteilyn suuri vaikutus osumatarkkuuteen ja lähisytyttimen toiminta. AIM-9L oli käytännössä AIM-9H parannetulla hakupäällä, paremmalla lähisytyttimellä ja uudella hakupään jäähdytyksellä, joka toteutettiin Argonkaasulla. Hakupään parannus mahdollisti sen, että kohdetta voitiin ampua myös etusektorista. Lisäksi pieni parannus etusiivekkeisiin paransi ohjuksen liikehtimiskykyä huomattavasti. AIM-9L:n tehokkuudesta aikaisempiin versioihin verrattuna kertoo paljon se, että vuosina 1965–1968 käytössä olleilla ohjustyypeillä saavutettiin sodassa 16 % tuhoamistodennäköisyys. Falklandin sodassa vuonna 1982 kuninkaalliset merivoimat saavuttivat AIM-9L-ohjuksella 80 %:n tuhoamistodennäköisyyden [31].

Hakupäässä käytetty Indiumin ja Antimonin (InSb) seos tarjosi mahdollisuuden käyttää pidempää aallonpituutta ja siksi hakupäällä pystyttiin saavuttamaan tarkempi erottelukyky. Lähisytyttimessä käytettiin Gallium ja Arseeni lasereita (GaAs), joilla oli parina Pii (Si)-diodit. Kohteesta piidiodeille heijastunut säteily aiheutti räjäytyksen, ja tämä toimintamalli oli varsin hyvin suojattu kaikelta mahdolliselta häirinnältä. Lisäksi uusi taisteluosa oli entistä tehokkaampi. Taisteluosassa on noin 200 pientä titaanisauvaa, jotka räjähtävät suunnatusti kohteen lähellä. Tämä tapa mahdollisti aiempaa tehokkaamman iskun, koska vaikutus ei ollut enää niin paljon riippuvainen iskukulmasta, kuten aiemmissa konventionaalisissa jatkuvan ketjun periaatteella toimivissa taisteluosissa.

Suomenkin ilmavoimilla toistaiseksi käytössä oleva AIM-9M on käytännössä hieman paranneltu versio AIM-9L-ohjuksesta. Siinä on parempi taustan suodatuskyky, pa-

rempi ECCM-kyky ja vähemmän savuttava moottori kuin AIM-9L-ohjuksessa. Ennen AIM-9X:n ja ASRAAM:n käyttöönottoa AIM-9M on ollut Nato-maissa ensilinjan hävittäjien infrapunahakuinen ohjus.

AIM-9M voi F-18 koneeseen sijoitettuna toimia kolmessa eri moodissa: alistettuna tutkalle, lukittuna asekselille tai itsenäisessä lukituksessa maaliin. Kun hakupää on alistettuna tutkalle, kääntyy hakupää osoittamaan valittua maalia. Ohjuksen ei välttämättä tarvitse saada IP-säteilyä kohteesta, vaan se voi seurata sitä pelkän tutkatiedon perusteella. Ohjus voidaan laukaista ennen IP-lukituksen saamista tutkan avulla. Tällöin ohjus lähtee lentämään kohti maalia ja yrittää etsiä ja lukittua lennon aikana IP-säteilyyn. Kun ohjus on lukittuna asekselille, voidaan hakupää (koneen nokka) osoittaa kohti maalia ja lukitusäänen jälkeen painaa liipaisinta. Jos ollaan vielä liian kaukana maalista, voidaan pelkkä hakupää lukita maaliin, jolloin se seuraa maalia alueensa rajoissa (+/- 40 astetta). Tämä mahdollistaa liikehtimisen koneella alueen rajoissa ja samaan aikaan tutkalla voidaan etsiä muita maaleja [41].

Kun ohjus laukaistaan nokan osoittaessa kohti maalia tai positiivisella ennakolla, voidaan ohjuksen minimilaukaisuetäisyyttä pitää varsin kohtalaisena. Negatiivista ennakkoa käytettäessä minimilaukaisuetäisyys kasvaa. Ohjuksen minimilaukaisuetäisyys on saatu kohtalaiseksi pienellä lähtöviiveellä ja lyhyellä varmistusajalla [41].

Ohjuksen käyttökykyä rajoittaa hakupää, jonka suurin ongelma on vanhaa tekniikkaa oleva yksielementtinen detektori. Lisäksi hakupään kääntymiskulma ei ole riittävä ohjuksen liikehtimiskykyyn nähden. Hakupään kääntymiskulma on yksi minimilaukaisuetäisyyttä kasvattavista tekijöistä. Ohjus ei voi hakupään puolesta kaartaa niin suurelle ennakolle kuin se liikehtimiskykynsä puolesta pystyisi. Hakupää ei kuitenkaan rajoita maksimilaukaisuetäisyyttä takaa ammuttaessa, vaan rajoitteena on ohjuksen kantaman riittävyys. Etusektorista ammuttaessa ohjuksen kantama on kuitenkin pidempi kuin hakupään näkökyky. Hakupäässä IP-säteily kohdistetaan pyörivän kallistetun toisiopelin avulla retikkelin kehälle. Retikkelin rakenneratkaisuilla ja hakupään toimintalogiikalla on toteutettu soihdun erottelu oikeasta maalista [41].



Kuva 18: AIM-9M-ohjus [13]

3.1.2 AA-11 Archer (R73M1&2)

Venäjää pidetään yleisesti ilmasta-ilmaan ammuttavien ohjusten kärkeä maailmassa. Useimpien länsimaisten ohjuskehittämien katalysaattorina on ollut uusi venäläinen ohjus tai sellaisen näköpiirissä oleva kehittäminen [55].

Länsimaat saivat 1980-luvun puolessa välissä tietoa uudesta ohjuksesta, jonka Neuvostoliitto silloin otti palveluskäyttöön. Neuvostoliiton hajottua ja Saksojen yhdistyttyä länsimaat pääsivät kokeilemaan AA-11 Archer (R-73)-ohjuksen eroja länsimaisiin lähitaisteluohjuksiin, lähinnä AIM-9M-sidewinderiin. Tämä kokeilu järkytti länsivaltoja. Ohjus oli maailman ensimmäinen ohjus, jossa käytettiin suihkusuuntausta lisänä perinteiselle siivekeohjaukselle. R-73-ohjuksen ominaisuuksia pidettiin ylivertaisena muihin infrapunahakuisiin ohjuksiin verrattuna ja ohjusten vertailu antoi syyksensä uusien, ns. neljännen sukupolven ohjusten kehittämiselle.

AA-11 Archer-ohjus on venäläisen Vympel suunnittelutoimiston 1980-luvulla suunnittelema lähitaisteluun tarkoitettu infrapunaohjus. Ohjuksesta on eri lähteiden tietojen mukaan jopa kolmea eri modifikaatiota (R-73, R-73M ja R-73M2?). Modifikaatioiden nimet vaihtelevat eri lähteissä, mutta tekniset tiedot eri modifikaatioista ovat kuitenkin varsin yhteneviä. Lisäksi venäläisillä on kehitteillä uusi R-74M2 modifikaatio, jo-

hon on kaavailtu pienempiä siivekkeitä, jotta ohjus mahtuisi uuden kehitteillä olevan (PAK-FA) konetyypin sisäisiin ripustimiin. Uuden modifikaation laukaisuetäisyyden arvioidaan uusien pienempien siivekkeiden ansiosta olevan noin 40 km [48].

Ohjuksen moottorina toimii kaksivaiheinen, kiinteää polttoainetta käyttävä rakettimoottori. Ohjuksen pääasiallinen ohjaus tapahtuu työntövoimaohjauksen avulla, mutta ohjuksessa on myös ohjaussiivekkeet edessä aerodynaamista ohjausta varten. Yleisesti ohjuksen suorituskykyä voidaan pitää varsin hyvänä. Kaikissa modifikaatioissa minimilaukaisuetäisyyden arvot useissa eri lähteissä ovat 600 metriä lähestyvään ja 300 metriä loittonevaan maaliin. Maalin väistö voi maksimissaan olla 12 G:tä ja korkeus modifikaatiosta riippuen 10–20 metriä. Ohjuksen kantama on vanhimmassa ohjuksessa 20 km:n luokkaa ja uusimmassa modifikaatiossa laukaisuetäisyyden väitetään olevan kaksinkertainen.

Ohjuksen vanhimmassa mallissa hakupää voi lukittua maaliin 60 asteen kulmalle saakka. Laukaisussa off-boresight kulma voi olla korkeintaan +/- 45 astetta. Hakupään häirinnänsieto ei todennäköisesti ole kovin hyvä [41]. Uusimman modifikaation MK-80 hakupää kykenee seuraamaan maalia +/- 75 asteen kulmille. Tämä mahdollistaa lukittumisen maaliin +/- 60 asteen kulmaan aseakselista [55]. Samalla hakupään herkkyys on kaksinkertaistunut ja se kykenee havaitsemaan lähestyvän maalin 10 km:n, optimioloissa jopa 15 km:n etäisyydeltä. Uusin kypärätähtäinversio kykenee siirtämään hakupäätä pystysuunnassa +60 ja -30 astetta. Hakupää on monielementtinen ja kuvanmuodostuskykyinen sekä mittaa kahta eri taajuusaluetta [41]. (1,7–2,85 mikrometriä ja 2,75–3,40 mikrometriä) [31].

Ohjuksen paino on mallista riippuen 105–110 kg. Ohjuksen tuhovaikutus perustuu jatkuvaan ketjuun, joka purkautuu taisteluosasta 7,4 kg räjähdemäärän avulla. Lähisyyttimenä ohjuksessa toimii aktiivinen tutka.



Kuva 19: Venäläinen AA-11-ohjus [21]

3.1.3 AIM-9X

Amerikkalainen AIM-9X on neljännen sukupolven ohjus, jonka kehitystyö on aloitettu vuonna 1988. Ohjusta alettiin kehittää AA-11 Archerin muodostamaan uhkaan tarkoituksena valmistaa tätä parempi ohjus. AIM-9X käyttää edeltäjänsä AIM-9M kanssa samaa taisteluosaa (WDU-17B), samaa lähisytytintä (DSU-36 AOTD) ja samaa moottoria. Uuden ohjuksen vastus on kuitenkin vain puolet entisestä, maksimietäisyys kasvanut puolella, G:n sietokyky on parantunut kaksinkertaiseen ja nopeus kasvanut 1,2 Mach [41].

Vastuksen vähentyminen on saatu aikaa pienentämällä siivekkeitä. Samalla ohjuksen etuosaan on asennettu kiinteät canardit, joiden tarkoitus on epävakauttaa ohjusta ja näin saada aikaan parempi liikehtimiskyky. Siivekkeiden pienentäminen on tehty F-22 ja F-35-koneiden vaatimusten takia, koska kyseisissä konemalleissa ripustimet ovat sisäisiä ja tarvitaan pienempi tila ohjuksille. Lisäksi AIM-9X on varustettu suihkusuuntauksella.

Kun ohjus integroidaan F-18-koneeseen, sitä voidaan käyttää kolmessa eri moodissa. Yksi tapa on lukita ohjus aseakselin suhteen, jolloin se käyttää omaa hakupäätä ja etsii sopivan maalin. Toinen tapa on alistaa ohjus koneen tutkalle. Kolmas tapa on

käyttää kypärätähtäintä maalin valintaan ja osoitukseen [31]. Lähivuosina suomalaisiin F-18-koneisiin tehtävän päivityksen jälkeen myös suomalaisilla on mahdollisuus käyttää ohjuksen mahdollistamia kulmia kun ohjus alistetaan kypärätähtäimelle. Suomeen AIM-9X-ohjuksia on tilattu kaikkiaan 150 kpl vuonna 2005 [2]. Lisäksi tilattiin yhteensä 51 harjoitusohjusta [18].

Hakupää muodostuu 128 x 128 detektori-elementtisestä matriisista. Samanlaista tekniikkaa käytetään myös ASRAAM:issa. Hakupään liikealue on +/- 90 astetta. Ohjus on koeammuttu 67 astetta asekselin sivussa olevaan maaliin 1.3 NM:n etäisyydellä. Lennon aikana hakupään suurin kääntymiskulma oli 72 astetta ja lennon kesto 9.2 sekuntia. Koelentoilla hakupään on todettu seuraavan maaleja ainakin 85 astetta asekselilta. AIM-9M-ohjukseseen verrattuna hakupään havaintoetäisyys on 2-3-kertainen ja laskennallinen havaintoavaruus 60-kertainen [41].



Kuva 20: AIM-9X ohjuksen hakupää kykenee muodostamaan tarkan kuvan kohdeesta [13]

Ohjuksen rakenne suunniteltiin vastaamaan F-22 ja F-35 koneiden vaatimuksia ja sitä, että ohjuksia voitaisiin käyttää rungon sisäisistä ripustimista. Ohjuksen käyttö sisäripustimista vaatii ohjukselta LOAL-kyvyn, koska hakupää ei voi nähdä kohdetta ollessaan koneen rungon sisällä. F-22-koneen kohdalla ongelma ratkaistiin sijoittamalla ohjukset rungon ulkopuolelle, jotta ohjuksen hyviä off-boresight ominaisuuksia voidaan hyödyntää. Tämä aiheuttaa eri lähteissä spekulatioita siitä, onko ohjus to-

della LOAL-kyvyn omaava. Amerikkalaiset ovat ilmoittaneet, että he eivät ole LOAL-kyvystä kiinnostuneita. Muut käyttäjämaat ovat kuitenkin kyvystä kiinnostuneita ja ohjuksen vientiversiosta ilmeisesti tämä ominaisuus löytyykin [48].



Kuva 21: AIM-9X ohjus [13]

3.1.4 ASRAAM, IRIS-T, A-DARTER

ASRAAM käyttää hakupäässä samalla Raytheonin tekniikalla valmistettua hakupäätä kuin AIM-9X. Ohjus voi lukittua maaliin aina 90 asteen kulmille asti ja se kykenee lukittumaan maaliin myös laukaisun jälkeen (LOAL). Tällä hetkellä ASRAAM-ohjuksen uskotaan olevan yksi nopeimpia operatiivisessa käytössä olevia lähitaisteluohjuksia. Ohjuksen suurin nopeus on yli 3,5 Mach [4]. Ohjuksen kantama on suuren nopeuden ja moottorin pitkän paloajan takia varsin pitkä. Tämän takia ohjusta voidaan pitää jo keskipitkänkantaman ohjuksena. Ohjuksen pitkän kantaman saavuttamiseksi on jouduttu tinkimään lyhyestä laukaisuetäisyydestä ja ASRAAM ei kykene yhtä pieniin laukaisuetäisyyksiin kuin muut ensilinjan lyhyenkantaman ohjukset. Minimilaukaisuetäisyys on edestä n. 1500 metriä ja takaa n. 300 metriä. Maksimietäis-

syys on yli 30 km lähestyvään maaliin korkealla ja 6 km loittonevaan maaliin matalalla.



Kuva 22: ASRAAM-ohjus [15]

IRIS-T (Infra-Red Imaging System – Tail control) on usean eri maan valmistama ohjus. Kehittelyssä ovat olleet mukana Saksa (45,5 %), Italia (19,9 %), Ruotsi (18,2 %), Kreikka (9 %), Kanada (3,9 %) ja Norja (3,5 %). Ohjuksen hakupää on 2x128 pikselinen tuijottava ja skannaava hakupää, joka kykenee muodostamaan 128x128 vastaavan kuvan. Hakupään ratkaisuun on päädytty, koska tällä tavalla ohjuksen kärjestä saatiin pienempi ja tämä vähentää kitkan aiheuttamaa lämpöä kun ohjus lentää suurella nopeudella. Tämä parantaa esimerkiksi hakupään herkkyyttä kaukana oleviin maaleihin, koska laukaisun jälkeen ohjuksen vauhti kiihtyy, kupu lämpenee, taustakohinan määrä kasvaa ja ohjus saattaa kadottaa maalin. Taustakohinan pienentäminen parantaa ohjuksen kykyä lukittua ja säilyttää lukitus vielä laukaisun jälkeen muihin ohjuksiin verrattuna [35].



Kuva 23: IRIS-T-ohjus [29]

V3E A-Darter on Eteläafrikkalainen ohjus, jonka kehittäminen aloitettiin 80-luvun lopulla. Ohjuksen hakupään on sanottu olevan parempi kuin Python 4-ohjuksen hakupää. Sen off-boresight kyky on +/- 90 astetta ja ohjus kykenee lukittumaan maaliin laukaisun jälkeen ja suihkunsuuntausta hyväksi käyttäen kykenee heti laukaisun jälkeen kääntymään 180 astetta 100 G:n alaisena alle kahdessa sekunnissa. Rahoitusvaikeuksien vuoksi ohjuksen testiohjelma on vielä kesken eikä ohjusta ole otettu operatiiviseen käyttöön vielä vuonna 2006 [36].



Kuva 24: A-DARTER-ohjus [20]

3.1.5 Python 4/5

Python 4 on israelilaisen Rafael yhtiön kehittämä ohjus. Ohjuksen suunnittelufilosofia heijastaa Israelin pienen maa-alueen rajoituksia, jossa laajamittainen BVR-taistelu ei ole mahdollista, sekä VID-taktiikkaa (Visual identification), jossa maali tunnistetaan silmällä ennen ampumalupaa [41].

Ohjuksessa on 18 ohjainpintaa, jotka liikuttavat ohjusta. Ohjus kykenee suuriin kohtauskulmiin, ja ohjuksen väitetään kestävän kiihtyvyyksiä 100 G:hen asti. Suuret ohjainpinnat aiheuttavat ohjukselle varsin suuren vastuksen ja tämän vuoksi ohjuksen huippunopeus ei ole kovin paljon 2 Machia parempi. Ohjuksen maksimilaukaisuetäisyys ei ole kovin suuri, mutta minimilaukaisuetäisyys kohti tulevaan maaliin on hyvä. Kun maali tulee kohti suurella nopeudella, ohjus lukittuu siihen ja lähtee laukaisun

jälkeen välittömästi seuraamaan maalia. Usein tämä tarkoittaa sitä, että ohjus osuu maaliin vasta koneiden ohitettua toisensa. (kts. kuva 17)

Python 4-ohjuksen hakupää on osittain kuvanmuodostuskykyinen. Hakupäässä on useita elementtejä, mutta ohjus ei kykene kovin tarkkaan kuvanmuodostukseen. Hakupäässä on erittäin hyvä häirinnänsieto ja herkkyys. Optimiolosuhteissa maalin voi havaita jopa 100 km etäisyydeltä [41]. Python 4-ohjuksen pohjalta on tehty seuraava versio, Python 5, joka käyttää suurelta osin Python 4-ohjuksen tekniikkaa.

Python 5 on todennäköisesti otettu palveluskäyttöön Israelin ilmavoimissa ja se on luultavasti tällä hetkellä maailman paras operatiivisessa käytössä oleva IP-ohjus. Python 5 käyttää samaa runkoa kuin Python 4 ja on kinematiikaltaan ja aerodynaamiikaltaan sama ohjus. Lisäksi ohjuksen painot ja painopisteet ovat yhtenevät. Hakupää on kuitenkin muuttunut ratkaisevasti. Hakupää on kahdella eri taajuusalueella toimiva 320 x 240 pikselinen täysin kuvanmuodostuskykyinen hakupää. Ohjus voidaan laukaista ilman lukitusta ja ohjus etsii maalin lennon aikana.



Kuva 25: Python 5-ohjuksen hakupää on kuvanmuodostuskykyinen [25]

Ohjuksessa on lisäksi uusittu inertiatyyppinen suunnistusyksikkö, joka mahdollistaa todellisen LOAL-kyvyn. Laukaisun jälkeen ohjus lentää kohti ennakkopistettä ja aloittaa maalin etsimisen oman hakupään avulla. Ohjuksen on siis mahdollista osua myös laukaisevan koneen takapuolella lentävään maaliin, jos vain ohjaaja pystyy tämän maalin ohjukselle osoittamaan.

Python 5 ohjuksessa on eri tavalla toteutettu moottori, joka kykenee tuottamaan ohjukselle energiaa paljon pitemmäksi aikaa kuin Python 4-ohjuksen moottori. Python 4 kykenee toimimaan 40 sekuntia laukaisun jälkeen kun Python 5 on vaarallinen vielä 90 sekuntia laukaisun jälkeen. Python 5:n maksimilaukaisuetäisyys on kasvanut yli puolella verrattuna Python 4:ään.



Kuva 26: Python 5-ohjuksessa on suuri määrä siivekkeitä, eikä lainkaan suihkusuuntausta [25]

3.1.6 Yhteenveto ja tulokset infrapunahakuisista ohjuksista

Infrapuna on yleisesti käytetty hakeutumistapa näköetäisyyden sisäpuolella käytävään ilmataisteluun. Näköetäisyyden sisäpuolella käytävän taistelun merkitys vähennee koko ajan, koska taistelut halutaan käydä näköetäisyyden ulkopuolella omien tappioiden välttämiseksi. Nykyaikaiset infrapunaohjukset ovat niin hyviä, että maali voidaan tuhota käytännössä aina, jos ohjaaja kykenee osoittamaan maalin ohjukselle. Infrapunaohjusten optimaalinen käyttö edellyttää laukaisevalta koneelta kypärätähtäintä.

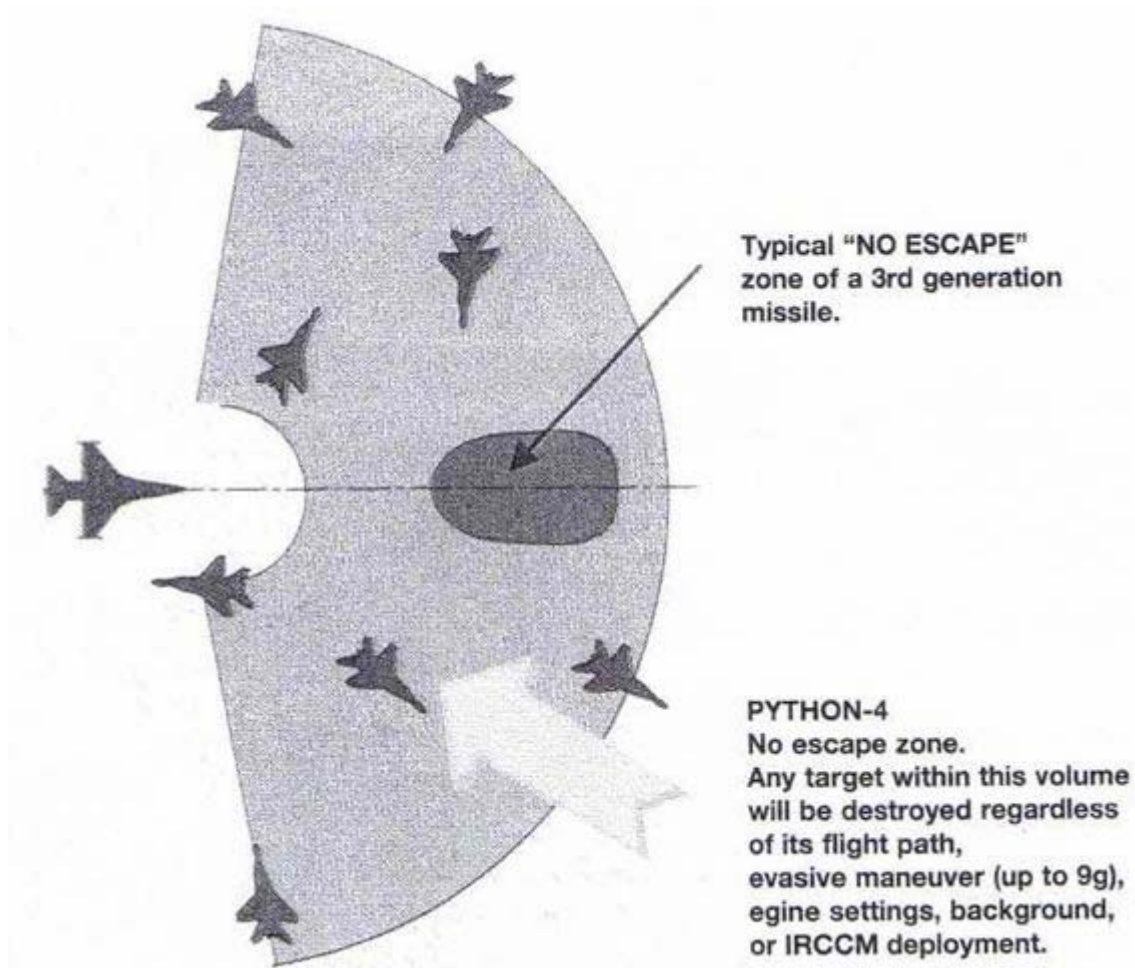
	AIM-9M	AA-11	AIM-9X	ASRAAM	IRIS-T	Python 4	Python 5
Paino	86 kg	105 / 110 kg	85 kg	88 kg	87,4 kg		103,6 kg
Pituus	285 cm	290 cm	302 cm	290 cm	293,6 cm	310 cm	310 cm
Hal- kaisija (runko)	12,7 cm	17 cm	12,7 cm	11,6 cm	12,7 cm	16 cm	16 cm
Hal- kaisija (siivek- keet)	63 cm	51 cm	28 cm	45 cm	44,7 cm	64 cm	64 cm
Nopeus	2,5 M	2,5 M	3,7 M	4 M			
Tst- kärki	9,4 kg (WDU- 17/B)	7,4 kg jatku- va ketju	9,4 kg (WDU- 17/B)	10 kg sir- paloitua	11,4 kg kaksi sir- paloituvaa kerrosta	11 kg	11 kg
Sytytin	laser	tutka	laser	laser / isku	tutka/isku		
Haku- pää		dual wave- band 1,7– 2,85 ja 2,75– 3,40 mik- romet- riä	128 x 128	128 x 128	2 x 128 skannaava + tuijottava hakupää		320 x 240 dual wave- band
Off- bo- resight	+/- 25	+/- 60	+/- 90	+/- 90	+/- 90	+/- 60	+/- 100

Taulukko 1: Infrapunaohjusten vertailu

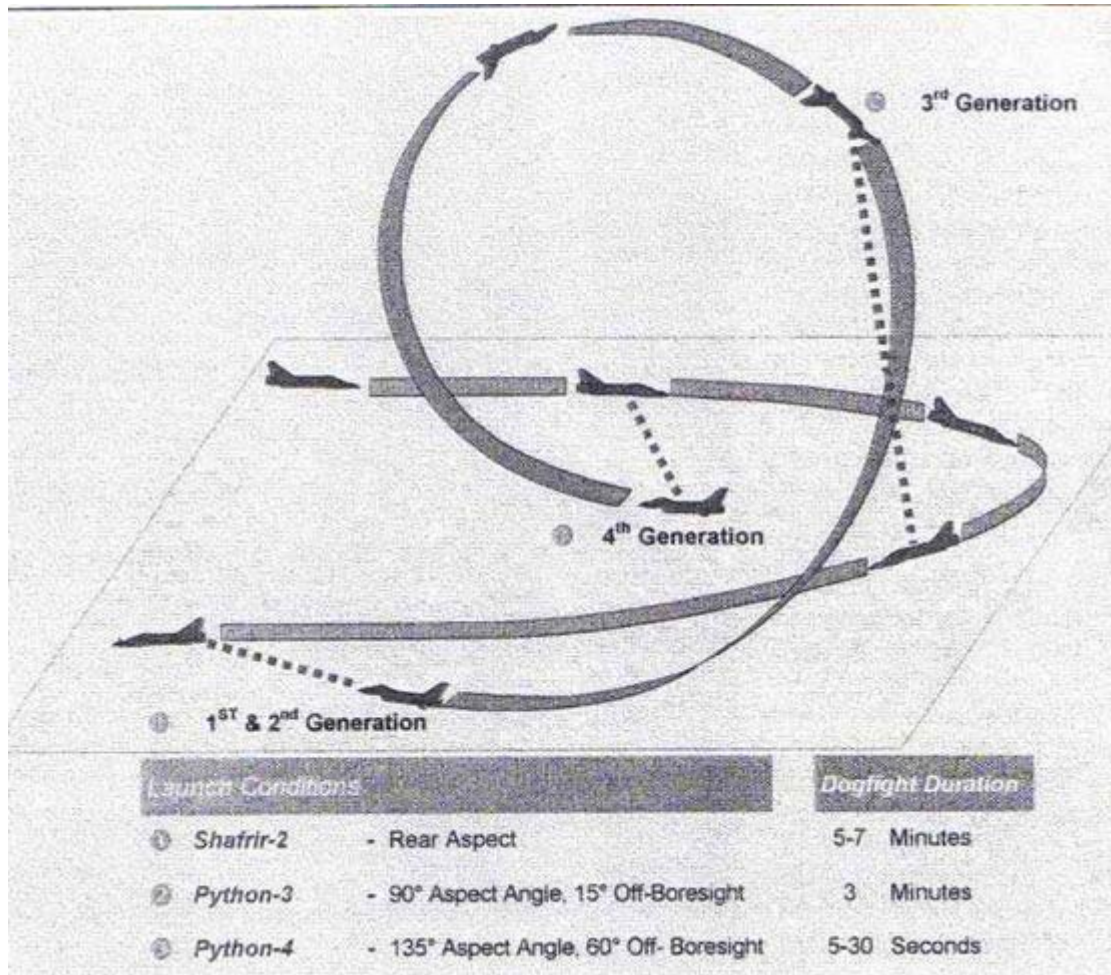
Yllä olevaan taulukkoon on koottu eri ohjusten ominaisuuksia. Kaikista ohjuksista ei tietoja ole saatu ja siksi jotkin kohdat taulukosta ovat tyhjiä. Eri ohjusten kantamia ei taulukossa ole, sillä ne vaihtelivat eri lähteissä hyvin paljon. Pisimmät kantamat lähestyvään maaliin ovat noin 30 km.

Taulukossa esiintyvät AA-11, AIM-9X, ASRAAM, IRIS-T ja Python 4-ohjukset ovat neljännen sukupolven ohjuksia, jotka kaikki kykenevät vähintään 60 asteen off-boresight kulmille. Näiden ohjusten suorituskykyä voidaan pitää jokseenkin samankaltaisina. Näitä ohjuksia selkeästi huonompi ohjus on AIM-9M, joka luetaan kolmannen sukupolven ohjukseksi.

Muutos ns. kolmannen sukupolven ohjuksista neljännen sukupolven ohjuksiin on suuri. Seuraavat kuvat antavat hyvän käsityksen siitä, mihin nykyaikaiset ohjukset pystyvät. Kuvat käsittelevät kaikki Python 4 ohjusta, mutta niitä voidaan verrata myös muihin neljännen sukupolven ohjuksiin.



Kuva 27: Neljännen sukupolven ohjuksen ylhäältäpäin kuvattu no-escape alue, josta ohjusta ei voi kinemaattisesti väistää [47]



Kuva 28: Eri sukupolven ohjusten laukaisun mahdollistavat vaiheet lähitaistelussa kuvattuna sivustapäin [47]

Infrapunahakuisista ohjuksista ainut viidennen sukupolven ohjus on Python 5. Tämän sukupolven ohjuksissa ohjustekniikka ei enää ole rajoittava tekijä vaan rajoitukset ovat maalinosoituksessa. Ohjus kykenee kaartamaan ennakkopisteen avulla laukaisevan koneen takana lentävään maaliin jos maali voidaan ohjukselle osoittaa. Näiden ohjusten käytön kannalta merkittävä tekijä on myös se, ettei johtokone vahingossa ammu siipikonettaan laukaistessaan ohjusta suurelle off-boresight kulmalle LOAL-moodissa.

3.2 Tutkahakuisia ohjuksia

3.2.1 AIM-120 AMRAAM

AIM-120 AMRAAM (Advanced Medium Range Air to Air Missile)-ohjuksen kehitys aloitettiin vuonna 1975 korvaamaan silloinen AIM-7 Sparrow-ohjus, joka oli ensimmäinen

mäinen tutkaohjus. AIM-7 Sparrow-ohjuksen ongelmana oli puoliaktiivinen hakupää, joka rajoitti laukaisun vain yhteen maaliin kerrallaan. Lisäksi ohjuksen hakupään näkökyky oli rajoittunut melko lyhyelle matkalle [41].

AIM-120 AMRAAM on ollut palveluskäytössä vuodesta 1989 saakka. Ohjuksen ensimmäinen versio oli nimeltään AIM-120A. Ohjuksen saavuttua palveluskäyttöön valmistui uusi versio, jossa pystyttiin käyttämään ohjelmoitavaa signaaliprosessointia. Tälle versiolle annettiin nimi AIM-120B. Suomella on käytössä nimenomaan näitä päivitettäviä AIM-120B AMRAAM ohjuksia. Seuraava versio, joka tuli markkinoille vuonna 1999, oli AIM-120C-versio. Tämän modifikaation ohjus on rakenteeltaan hieman erilainen B-versioon verrattuna. Ohjuksessa siirryttiin käyttämään pienempiä siivekkeitä, jotta ohjus mahtuu F-22 rungon sisäisiin ripustimiin. Pienemmät siivekkeet vähentävät ohjuksen vastusta ja näin kasvattavat lentomatkaa. Tämä tapahtuu kuitenkin liikehtimisen kustannuksella ja uusi versio ei ole aivan niin liikehtimiskykyinen kuin vanha versio. Pienennetyt ohjainsiivekkeet vaativat vähemmän siivekkeitä liikuttavilta ohjainyksiköiltä ja niiden pienentämisen ansiosta ohjukseen on mahdollista asentaa 127mm pidempi moottori, joka tarjoaa ohjukselle noin 10 % pidemmän maksimietäisyyden [35, 48].



Kuva 29: AIM-120A AMRAAM-ohjuksen hakupää [14]

C-version ohjukset ovat malleja: C-5, C-6, C-7 ja C8. C-5 on tarkoitettu vientiin ja C-6-mallin on tarkoitus jäädä amerikkalaisten käyttöön. Erona C-5 ja C-6 malleissa on erilainen lähisytytin. Vielä kehitysvaiheessa olevan C-7 oletetaan sisältävän kokonaan uuden ohjelmiston, joka tarjoaa paremman maalin erottelun ja paremmat suojausmahdollisuudet elektroniselta häirinnältä. Ohjuksen komponentit saadaan pakattua pienempään tilaan, jolloin moottoreille jää enemmän tilaa. Näin maksimilaukaisuetäisyyttä saadaan kasvatettua huomattavasti. Lisäksi C-7-mallissa on uusi AESA-tutka (Active Electronically Scanned Array), jonka avulla maalin etsiminen ja maaliin hakeutuminen voidaan suorittaa yhä pidemmän etäisyyden päästä. Tutkan keilaus tapahtuu elektronisesti, eikä tutkassa ole liikkuvia osia, jolloin tutkan koko saadaan entistä pienemmäksi ja tämä puolestaan antaa lisää tilaa esimerkiksi pidemmälle moottorille [2, 48].

Uusin AIM-120C-8 kehitysversiosta käytetään nimeä AIM-120D ja ohjuksessa tul-
laan hyödyntämään GPS-teknologiaa hakeutumisvaiheessa. Ohjukseseen on suunniteltu patomoottoria lisäämään maksimietäisyyttä. Amerikkalaiset eivät tästä kuitenkaan ole kovin kiinnostuneita, koska luottavat stealth-teknologiaan toisin kuin muut tilaajamaat, joilla tätä teknologiaa ei ole [2, 48].



Kuva 30: AIM120 AMRAAM-ohjus [17]

3.2.2 MICA

MBDA yhtiön valmistama MICA on ohjus, jossa yhdistyy infrapunaohjus ja tutkaohjus. MICA (IR) on infrapunahakuinen versio ja MICA (RF) on tutkahakuinen versio samasta ohjuksesta. Ohjukseen voidaan asentaa jompikumpi hakupäistä, mutta muuten ohjuksen ominaisuudet ja suoritusarvot pysyvät samoina. Kummallakin hakupäällä ohjus kykenee sekä kaartotaisteluun että näköetäisyyden ulkopuolella tapahtuvaan taisteluun [26]. Käytettävyyden ja huollettavuuden lisäksi vaihdettava hakupää tuo merkittäviä lisäsäästöjä teknologian kallistuessa [46].

MICA on eräänlainen kompromissi kahdesta eri ohjuksesta, mutta sen suoritusarvot ovat kuitenkin varsin hyvät. Ohjuksen maksimilaukaisuetäisyys on n. 60 km ja minimilaukaisuetäisyys 500 m. Ohjus voi lukittua kummallakin hakupäällä kohteeseen joko ennen tai laukaisun jälkeen. Mikäli ohjus lukittuu kohteeseen laukaisun jälkeen, voidaan ohjusta päivittää datalinkin avulla. Ohjuksessa on 12 kg:n sirpaloitu taistelukärki, joka joidenkin lähteiden mukaan on suunnattava [36]. Ohjuksen lähitaistelukykyyn parantamiseksi ohjuksessa käytetään tutkaohjuksille varsin harvinaista suihkusuuntausta [47].

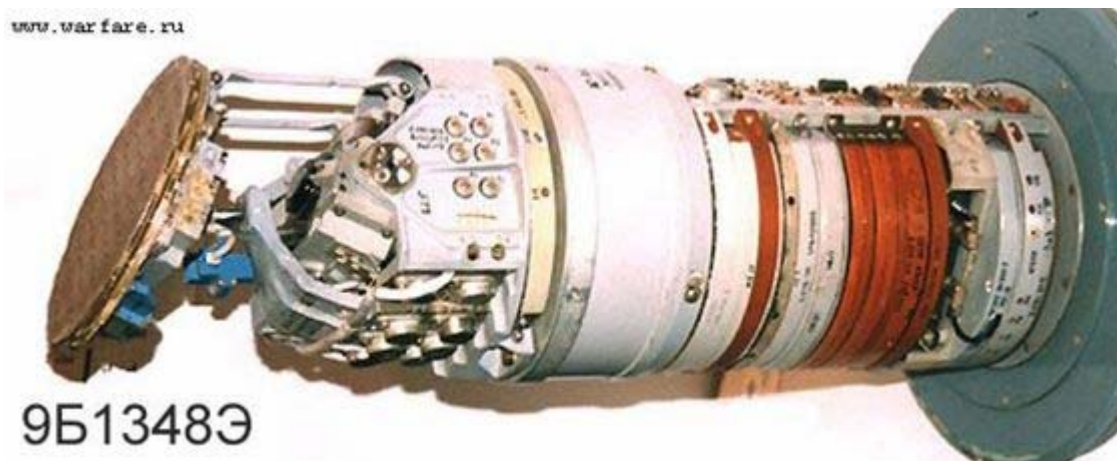
Infrapunaversion hakupää on kahdella taajuudella toimiva, kuvaamuodostava hakupää, joka kykenee suojautumaan varsin hyvin soihdujen häirinnältä. Infrapunahakupään off-boresight-kulmasta ei julkisista lähteistä ole löytynyt tietoja. Tutkaversion hakupäänä toimii 10–20 GHz:n taajuudella toimiva pulssidopplertutka [36, 47].

3.2.3 AA-12 ADDER (R-77)

AA-12 ADDER josta venäläiset käyttävät koodia R-77 (RVV-AE) on tällä hetkellä yksi maailman parhaista ilmataisteluohjuksista näköetäisyyden (BVR) ulkopuoliseen ilmataisteluun. Ohjus on numeroiden perusteella ylivertainen AIM-120 AMRAAM-ohjukseen verrattuna, mutta ohjuksen käyttöä rajoittaa laukaisualustalle asetetut vaatimukset. Ohjus vaatii päivitetyn N001-tutkan eikä tätä päivitystä vielä ole esimerkiksi SU-27-koneen perusmallissa [31]. Ohjusta voidaan todennäköisesti käyttää vain SU-27SM (SMK), MiG-29M, MiG-31M, SU-35 ja SU-37-koneissa. Tämä vaatimus rajoittaa ohjuksen käyttöä, mutta tulevaisuuden päivitysten avulla ohjus voita-

neen asentaa kaikkiin SU-perheen koneisiin. Eri lähteistä löytyy tieto myös siitä, että ohjusta voidaan käyttää päivitetyssä Intian MiG-21UPG BISON koneessa. Ohjusta voidaan lentokoneiden lisäksi käyttää risteilyohjuksia, ilmatorjuntaohjuksia sekä ilmasta-ilmaan-ohjuksia vastaan. [16, 31, 33,48]

AA-12 ADDER-ohjuksen ohjauksessa käytetään poikkeuksellisia ohjussiivekkeitä, jotka muistuttavat ”grilliritilää”. Siivekkeet voidaan taittaa ohjuksen runkoa vasten jos ohjusta käytetään rungon sisäisistä ripustimista. Siivekkeet vähentävät vastusta ja lisäävät ohjuksen nopeutta ja maksimilaukaisuetäisyyttä. Siivekkeet toimivat aina 40° kohtauskulmille asti. Pienestä vastuksesta huolimatta ohjuksen nopeus on todennäköisesti rajoitettu 3 Machiin, koska tätä suuremmassa nopeudessa ohjuksen kupu lämpenee liian paljon eikä ohjuksen hakupää kykene tuottamaan riittävän tarkkaa maalitietoa. Ohjuksessa käytetty 9B-1348 hakupää aktivoituu, kun kohteeseen on matkaa 20km. Tämän jälkeen ohjus hakeutuu itsenäisesti oman tutkan avulla kohteeseen [36, 41]. Mikäli ohjuksen hakupää kadottaa maalin, siirtyy ohjus automaattisesti päivittämään maalitietoa datalinkin avulla laukaisevasta koneesta. Datalinkin maksimikantama on 50 km [32]. Jos ohjuksen hakupäätä häiritään, ohjus sammuttaa aktiivisen tutkan ja hakeutuu passiivisesti häirintälähteeseen [30, 33].



Kuva 31: AA-12-ohjuksen tutkahakupää [33]

Ohjuksen maksimilaukaisuetäisyys korkealla, ylääänipuolella lähestyvään maaliin on 80-100km ja minimilaukaisuetäisyys loittonevaan maaliin 300 m. Laukaisevan koneen ja maalin suurin korkeusero laukaisuhetkellä voi olla 10 km. Ohjus kykenee kaartamaan 150°/sek ja kykenee osumaan maaliin joka väistää 12 G:n monikerralla. Ohjuksen osumatodennäköisyys on venäläisissä lähteissä vain 0,7, joka on varsin pieni nykyaikaisiin ohjuksiin verrattuna. Tämä lukuarvo on kuitenkin vain suuntaantava, koska lähteissä ei kerrottu missä moodissa ohjus on ammuttu näihin lukuar-

voihin pääsemiseksi. Lähteissä ei myöskään käynyt ilmi, minkä kokoiseen maaliin ohjus oli ammuttu [16, 36, 41]



Kuva 32: Venäläinen AA-12-ohjus [19]

3.2.4 DERBY, R-DARTER

Neljäs operatiivisessa käytössä oleva aktiivinen tutkaohjus on Rafael yhtiön valmistama DERBY. DERBY on Israelilla käytössä oleva ohjus, joka täydentää Python4 ja Python5-ohjusten suorituskykyä, luoden Israelin Ilmavoimille ja muille Rafael-yhtiön asiakkaille varsin suorituskykyisen ohjuspaketin [48].

Pienestä koostaan huolimatta DERBY on varsin suorituskykyinen ohjus. Siinä on pidempi kantama kuin AMRAAM-ohjuksessa ja ohjusta voidaan päivittää datalinkin avulla, kunnes sen oma tutka näkee maalin [36].



Kuva 33: Israelin ilmavoimien käyttämä DERBY-tutkaohjus [23]

Etelä-Afrikan ilmavoimat käyttävät Kentron-yhtiön, DERBYn kanssa rinnan kehittämää R-DARTER-ohjusta. R-DARTER:n mitat ja suorituskyky on lähes yhteneväinen DERBYn kanssa, mutta R-DARTER:sta puuttuu todennäköisesti mahdollisuus päivittää ohjusta datalinkin avulla.

3.2.5 METEOR

MBDA Meteor-ohjus ei ole vielä operatiivisessa käytössä oleva ohjus, mutta se tulee operatiiviseen käyttöön viiden vuoden sisällä. Ohjus on usean eri maan hanke (Ranska, Saksa, Italia, Espanja ja Ruotsi) ja se tulee olemaan Eurofighterin pääase. Ohjus on lisäksi kehitetty käytettäväksi Rafalen ja Gripenin kanssa [2, 22].

METEOR-ohjuksessa on useita teknisiä ratkaisuja, jotka parantavat sen suorituskykyä. Yksi ratkaisu on patomootori, jonka avulla ohjuksen maksimilaukaisuetäisyys on yli 100 km. Patomootori antaa ohjukselle energiaa myös lennon loppuvaiheessa, joissa useimpien muiden ohjusten ruutirakettimootori on jo sammunut. Patomootorista saadaan optimaalinen hyöty vasta yli kahden Machin nopeudessa, johon ohjus kiihdytetään ruutirakettimootorin avulla. Patomootorin palotila muodostuu palaneen ruudin tilasta [48]. Toinen edistyksellinen ohjuksen ominaisuus on datalinkin avulla tapahtuva päivitys, joka voidaan suorittaa kolmannen osapuolen toimin esimerkiksi AWACS-koneesta [22, 45].

Ohjuksen huippunopeus on 4 Mach. Ohjus on siivetön kehittäen nostovoiman rungon avulla. Ohjaukseen käytetään rungon perässä olevia ohjaussiivekkeitä. METEORin minimilaukaisuetäisyys on varsin pitkä, 20 km, ja tämän takia ohjusta on suunniteltu käytettäväksi ASRAAM-ohjuksen rinnalla. Lennon aktiivinen loppuvaihe toteutetaan aktiivisen tutkan avulla, joka toimii Ku-taajuudella (30–40 GHz) [36].



Kuva 34: METEOR-ohjus [11]

3.2.6 Yhteenveto tutkahakuisista ohjuksista

	AIM-120C-5 AMRAAM	MICA	AA-12	DERBY	R-DARTER	METEOR
pituus	3.65	3.1	3.6	3.62	3.62	3.65
rungon hal- kaisija	178	165	200	160	160	178
runko+ siivet	445	560	424	640	640	
paino	157	112	175	118	120	185
moot- tori	2-vaihe ruutiraketti	ruutiraketti	2-vaihe ruutiraketti	ruutiraketti	ruutiraketti	ruutiraketti /ramjet
ohjau- tus	inertia + päi- vitys+ akt.tutka / home-on-jam	inertia + päivitys+ akt.tutka /inertia + päivitys + infrapuna	inertia + päivitys+ akt.tutka/ home-on- jam	inertia + päivitys+ akt.tutka	inertia + akt.tutka	inertia + päivitys+ akt.tutka
ohjaus	siivekkeet	siivekkeet +suihkun- suuntaus	siivekkeet	siivekkeet	siivekkeet	siivekkeet
taiste- lukärki	20kg + suun- nattava?	12 kg	22,5 kg	11 kg	11 kg	
sytytin	isku+tutka	isku+tutka	isku+laser			isku+tutka
nope- us	n.4 Mach		n.4 Mach			n.4 Mach
kan- tama	yli 50 km	n. 60 km	n. 80 km	yli 60 km	yli 60 km	yli 100 km

Taulukko 2: Tutkahakuisten ohjusten ominaisuudet

Yllä olevaan taulukkoon on koottu tällä hetkellä operatiivisessa käytössä olevien viiden ohjuksen lisäksi tietoa lähivuosina käyttöön tulevasta METEOR-ohjuksesta. Taulukosta nähdään, että tällä hetkellä käytössä olevista ohjuksista parhaimmat suoritusarvot on AA-12 / R-77 (RVV-AE)-ohjuksella. Tämän ohjuksen käyttöä rajoittaa varsin voimakkaasti koneelle asetetut vaatimukset. Tutkaohjusten suorituskykyä on pohdittu enemmän luvussa 5.

4 TULOKSET OHJUSTEN SUORITUSKYKYYN VAIKUTTAVISTA TEKIJÖISTÄ

Nykyaikana tekniikka mahdollistaa hyvin teknisiä ja erittäin tehokkaita ratkaisuja ilmataisteluun. Viholliseen on pyrittävä vaikuttamaan mahdollisimman kaukaa, koska tämä vähentää omien tappioiden riskejä. Tämä aiheuttaa sen että varsinkin tykin ja lähitaisteluun tarkoitettujen ohjusten rooli pienenee. Siksi on tärkeää asettaa tulosten kannalta näköetäisyyden ulkopuolella käytävä taistelu merkittävään rooliin.

Ohjaajalle on tärkeä saada mahdollisimman hyvää tilannekuvaa alueesta, jolla hän taistelee. Ei voida puhua pelkästään ohjusten suorituskyvystä, koska oleellisena osana ohjusten tehokasta käyttöä on saada ohjukset kohti maalia riittävän ajoissa. Ohjusten kantamat voivat olla lähes sata kilometriä ja siksi on tärkeää nähdä maali riittävän ajoissa. Maalin näkemiseen vaikuttaa moni asia. Jos maali halutaan nähdä koneen omalla tutkalla, se vaati ison tutkan ja iso tutka vaatii ison koneen (esim. F-15, SU-27). Iso kone taas aiheuttaa ison tutkaheijastuksen, joka voidaan nähdä pienemmällä tutkalla pienemmästä koneesta (esim. F-16). Pienempi kone taas näkyy huonommin tutkassa pienemmän tutkaheijastuksen ansiosta.

Kun maali saadaan laukaisevan koneen tutkanäytölle, voidaan ohjus laukaista. Vasta tämän hetken jälkeen varsinaiset ohjustekniikan rajoitukset täytyy huomioida. Mikäli ohjuksessa on mahdollisuus päivittää alkuvaiheen hakeutumista datalinkin avulla, voi ohjuksen laukaissut kone päivittää ohjusta koneen tutkan kääntymiskulman rajoissa. Tämä ei kuitenkaan ole paras ratkaisu, koska tällä tavalla toimittaessa laukaiseva kone joutuu lentämään kohti maalia asettuen itse alttiiksi vihollisen ohjukselle. Parempi tapa päivittää ohjusta on päivitys kolmannen osapuolen toimesta. Kaikkein parhaiten tähän soveltuisivat esimerkiksi AWACS tai jopa maasijotteisten tutkien avulla tehtävä päivitys.

Ohjuksen oma hakupää aktivoituu tyypillisesti 20 km:n (esim. AA-12) päässä kohteesta ja siksi se tarvitsee vain ennakkopisteen, jolle hakeutua. Tämän takia valvontatutkan toleranssit riittäisivät hyvin alkulennon ajaksi. Voidaan sanoa, että ohjustekniikka rajoittaa ohjuksen toimia vasta sen jälkeen kun ohjus avaa oman tutkansa. Kaikki muu toiminta tätä ennen tarvitsee tukea myös muilta järjestelmiltä. Suuri haaste hakupääteknologiassa on kehittää hakupää, joka kykenee etsimään maalia suurelta alueelta saavuttuaan ennakkopisteelle. Mitä suuremman alueen ohjuksen

hakupää kykenee näkemään, sitä suurempi saa maalin väistö olla, jotta ohjus ei näkisi maalia avatessaan oman hakupäänsä. Tämä taas mahdollistaa ohjusta päivittävän koneen väistämisen ja näin aktiivisesta ohjuksesta saadaan kaikki se hyöty, jota varten se on kehitetty.

Hakupään toiminnan suurin rajoitus on pieni koko. Suuri määrä elektroniikkaa täytyy saada mahtumaan pienen ohjuksen sisään. Tämä taas aiheuttaa rajoituksia ohjuksen kyvyille nähdä kohteita. Myös säällä on suuri vaikutus hakupään toimintaan. Tyypillisesti näköetäisyyden ulkopuolelle tarkoitettut ohjukset hakeutuvat maaliin tutkahakupään avulla. Tutkahakupää on parempi näissä ohjuksissa, koska sen avulla maali voidaan havaita kauempaa. Toinen merkittävä tekijä hakupään valinnassa on lämpötila. Näköetäisyyden ulkopuolelta ammuttavien ohjusten nopeus on usein suurempi kuin lähitaisteluun tarkoitettujen ohjusten. Nopeus kasvattaa lämpötilaa ja tämä rajoittaa infrapunahakupään toimintaa. Toinen asia joka lisää lämpötilaa on infrapunaohjusten tylppä nokka, joka aiheuttaa suoran shokkiaallon ohjusten eteen, kun tutkahakuisissa ohjuksissa shokkiaalto on vino, aiheuttaen pienemmän lämpötilan.

Infrapunaohjuksen selkeä ero tutkahakuiseen on passiivisuus. Olisi erittäin hyödyllistä jos kaukaa ammuttavaa ohjusta voitaisiin päivittää kolmannen osapuolen toimesta ja ohjus hakeutuisi kohteeseen passiivisesti infrapunan avulla. Tällöin ohjusta olisi vaikea havaita eikä maali osaisi varautua ohjuksen tuloon. Maali ei välttämättä muuttaisi suuntaansa, koska sillä ei olisi tietoa lähestyvistä ohjuksesta eikä tällöin tarvittaisi väistöä. Ohjuksen lentomatka maaliin olisi huomattavasti pidempi kuin lentomatka pois päin kääntyvään maaliin.

Hakupään toiminnan rajoituksia pohtiessa tulee huomioon ottaa myös vihollisen vastatoimet ohjusta vastaan. Tutkaohjusta voidaan yrittää harhauttaa silpulla tai hakupäätä voidaan yrittää häiritä elektronisin menetelmin. Elektroninen häirintä tulisi kuitenkin toteuttaa muualta kuin maalina olevasta kohteesta, koska nykyaikaiset tutkaohjukset hakeutuvat häirintälähetteen, mikäli häirintä estää niiden hakeutumisen alkuperäiseen kohteeseen. Infrapunahakuiset ohjukset ovat kehittyneet valtavasti viimeisten vuosien aikaan ja niitä on vaikea häiritä soihduilla. Optimaalisin tilanne ohjuksen kannalta olisi hakupää, joka käyttäisi vaihtoehtoisia hakeutumistapoja riippuen häirinnästä. Tämä ei kuitenkaan vielä ole mahdollista, koska hakupäät vievät tilaa ja kaksi hakupäätä yhdessä ohjuksesta kasvattaisi vastusta liian suureksi.

Maalin näkemisen rooli korostuu ohjusten uusien patomoottorien myötä. Laukaisuetäisyydet ovat jo yli 100 km uusien moottoreiden ansiosta. Patomoottoreilla toimivien ohjusten moottorin paloaika on huomattavasti ruutimoottoreilla toimivien ohjusten paloaikaa pidempi ja siksi ne säilyttävät energiaa paljon pidempään. Tämä ansiosta ohjuksen no escape zone kasvaa ja ohjuksen kineettinen väistö vaikeutuu huomattavasti. Ohjusten nopeutta ei voida lämpötilan vaikutusten takia nostaa ja siksi on tärkeää saada kasvatettua moottorin paloaikaa. Moottorin paloajan kasvattaminen parantaa ohjuksen ohjattavuutta työntövoimaohjatuissa ohjuksissa, koska työntövoimaohjaus toimii vain niin kauan kuin ohjuksen moottori toimii.

Ohjuksen lentomatkan lisääminen paljon yli sadan kilometrin ei ole tärkeää lähestyvään maaliin, koska maalin havaittavuuteen vaikuttavat tekijät tulevat rajoittaviksi. Sen sijaan tärkeäksi muodostuu moottorin paloajan kasvattaminen, koska lähestyvä maali sadan kilometrin päässä voi muuttaa suuntaansa ja silloin ohjuksen lentomatka tulee rajoittavaksi tekijäksi. Ohjuksen moottorin paloajan kasvattaminen on suuri haaste, koska ohjusten koko ei saisi kovin paljon kasvaa. Kasvava koko rajoittaa ohjusten määrää koneessa ja sitä kautta taistelutehokkuus kärsii. Lisäksi suuri koko voi heikentää ohjuksen liikehtimistä ja aiheuttaa tilanteen, jossa ohjuksen liikehtimiskyky ei mahdollista osua liikehtivään maaliin.

Ohjuksen runko joutuu nykyaikaisissa ohjuksissa erittäin kovalle. Jopa 100 G:n kuormitusmonikerta ja kova lämpötila rasittaa runkoa, jonka tulisi suojella herkkiä osia ja mahdollistaa ohjuksen kaikkien laitteiden toiminta. Tämä kuitenkin on saatu varsin hyvin toteutettua ja ainoa varsinaisen este rungon toimintakyvylle on sen pieni koko. Pieni koko rajoittaa eri komponenttien kokoa eikä mahdollista isoja moottoreita tai suuria ja tehokkaita hakupäitä. Nykyaikana rungon sisään on saatu mahtumaan varsin nykyaikainen tietokone, joka ohjaa ohjuksen lentoa. Myös riittävä sähköntuotto on saatu mahtumaan ohjuksen rungon sisään.

Tuhovaikutusjärjestelmä on yleisesti kopioitu suoraan vanhoista ohjusmalleista. Ohjuksen räjäyttämisen lähisytyttimen avulla on saatu toimimaan jo kauan aikaa sitten. Tämän takia voidaan kysyä, onko vanhojen lähisytyttimen toimintaa mahdollista häiritä nykyaikaisin keinoin? Onko mahdollista antaa lähisytyttimen vastaanottimelle sähkömagneettinen pulssi, joka räjäyttäisi ohjuksen kaukana maalista? Tai voidaanko ohjus hämätä räjähtämään esimerkiksi silpun vaikutuksella? Periaatteessa nämä kaikki ovat vaihtoehtoja jos tiedetään minkälaista lähisytytintä ohjus käyttää.

Näköetäisyyden sisäpuolella tapahtuvaan taisteluun ovat vastauksena viimeisimmät infrapunaohjukset. Uusimmilla infrapunaohjuksilla on rajoituksena käytännössä maalin osoitus. Esimerkiksi Python 5-ohjus kykenee hakeutumaan maaliin, joka voi olla missä tahansa laukaisevan koneen ympärillä, jos ohjaaja vain kykenee osoittamaan maalin ohjukselle. Poikkeuksena tästä ovat vain hyvin lyhyet etäisyydet viholliseen, koska ohjusten minimilaukaisuetäisyys on tällöin rajoittava tekijä.

Ohjustekniikka on tuonut paljon uusia teknisiä sovelluksia ilmataisteluun viimeisen parinkymmenen vuoden aikana. ”Täytyy kuitenkin muistaa se tosiasia että jos vastustajalla on koneessa kypäretähtäin ja suurelle off-boresight kulmalle kykene ohjus, ei kaartotaistelutilanteessa voittaja ole se kumpi laukaisee ensimmäisen ohjuksen. Jos vihollinen ehtii laukaista oman ohjuksensa vain millisekuntia ennen kuin oma ohjuksesi osuu, olette kumpikin yhtä kuolleita [1].”

5 TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT JA JOHTOPÄÄTÖKSET

5.1 Tulevaisuuden näkymät

Tekniset järjestelmät kehittyvät koko ajan ja tekniikan kehittymistä leimaa kustannusten kasvu. Erittäin suuri tekijä tulevaisuudessa on raha. Tällä hetkellä voidaan vielä monia asejärjestelmiä kuljettaa rinnakkain, mutta tulevaisuudessa näin tuskin tulee tapahtumaan. Eri järjestelmät on integroitava tukemaan toinen toisiaan, jotta järjestelmät saadaan mahdollisimman kustannustehokkaiksi. Yhtenä esimerkkinä voidaan pitää sensoriteknologiaa, jossa eri sensoreita pyritään integroimaan yhteen mahdollisimman tehokkaasti [57]

Tulevaisuudessa patomootorit tulevat yleistymään ohjuksissa, mutta myös ruutirakettimootoreiden kehitys tulee varmasti parantamaan ohjusten työntövoimaa. Energiarikkaampien ajoaineiden kehitys johtaa vuoteen 2020 mennessä siihen, että ominaisimpulssi tulee kasvamaan noin 20 %. Tämän lisäksi ruutirakettimootorin savunmuodostus tulee vähenemään merkittävästi. Ennustekaudella (2005–2020) otetaan käyttöön monipulssimootoreita, jotka merkitsevät lähinnä ilmamaaliohjusten suurempaa keskinopeutta sekä parempaa liikehtimiskykyä loppuvaiheessa [56].

Ohjusten työntövoiman kehitystä leimaa osin se, että energiarikkaammat ajoaineet lisäävät ruutirakettimootorin antamaa impulssia noin 20 % ja osin se, että erilaiset ilmaa käyttävät moottorit yleistyvät. Tämä tarkoittaa sitä, että ohjusten lentonopeus ja kantama kasvavat. Suurempi nopeus koskee sekä huippu- että ratavaiheen keskinopeutta [56].

Tutkat tulevat kehittymään paljon ja tärkeä ominaisuus on kyky valvoa ilmatilaa maaliseurannan aikana (track while scan). Mekaaniset antennit kuitenkin rajoittavat tätä toimintaa ja siksi on kehitettävä elektronisesti keilaavia antennejä, jotka pystyvät tähän. Yksi hyvä esimerkki tällaisesta tutkasta on uusi APG-79-tutka, joka tullaan integroimaan kaikkiin FA-18E/F Super Hornet-hävittäjiin [57]. Mekaanisesti keilaavien tutkien heikkous on niiden hidas keilausnopeus, kun taas elektronisesti keilaavat tutkat voivat seurata ja valvoa yhtä aikaa nopeasti ja tehokkaasti.



Kuva 35: Elektronisesti keilaava APG-79 tutka [28]

Tutkien rinnalle koneissa on yleistymässä eteenpäin keilaava infrapunailmaisin (IRST). Infrapunailmaisimien etuna on passiivisuus ja ilmaisimilla on kyky havaita myös tutkaa 90 asteen kulmalla väistävät koneet. Infrapunailmaisimen heikkous on etäisyyden mittaus passiivisena. Ratkaisuna tähän on laser-etäisyysmittari, mutta tämän jälkeen mittaava kone ei enää pysy piilossa. Sekä tutkien että infrapunailmaisimien tarkoituksena on parantaa ohjaajan tilannetietoisuutta ympäristöstä, sekä mahdollistaa maalinosoitus ohjuksille.

Ilmataisteluohjusten kehittämistä leimaa tutkahakuisten ohjusten kehittäminen. Infrapunaohjukset ovat vaikeasti harhautettavia ja siksi tutkahakuiset ohjukset kehitetään toimimaan kaukaa infrapunaohjusten kantaman ulkopuolelta [57]. Ohjusten täytyy tulevaisuudessa pystyä toimimaan myös miehittämättömiä ilma-aluksia sekä toisia ohjuksia vastaan. Miehittämättömät ilma-alukset ovat usein varsin halpoja ja siksi ohjusten hintojen tulisi pysyä järkevissä rajoissa suhteutettuna maalin hintaan.

Yksi tulevaisuuden kehitysnäkymä on kehittää ohjus, joka perinteisen ilmataistelun lisäksi kykenee toimimaan esimerkiksi SEAD-operaatiossa vihollisen ilmatorjunnan lamauttavana ilmasta-maahan ohjuksena [48]. Tällaisella monikäyttöisellä ohjuksella saataisiin yhdistettyä eri aseiden toimintoja ja tätä kautta saavutettaisiin säästöjä teknologian kallistuessa.

5.2 Tutkimuksen johtopäätökset ja visioita tulevaisuudesta

Tutkijan oma näkemys ohjustekniikan kehityksestä perustuu tutkimuksen aikana kerätystä materiaalista ja ohjusten eri ominaisuuksien arvioinneista. Tutkijan johtopäätösten mukaan tulevaisuuden yksi mahdollisuus olisi laukaista ohjus koneesta, joka ei itse lähettäisi mitään radiosignaalia. Ohjuksen alkulennon komento-ohjaus tapahtuisi datalinkillä. Ohjus ohjattaisiin ennakkopisteeseen ilmatilannekuvan perusteella, joka muodostettaisiin eri sensoreilla. Sensoreita voivat olla esimerkiksi maasijoitteiset tutkat, passiiviset sensorit tai AWACS-kone.

Ohjuksen alkulento päivitetäisiin datalinkin avulla AWACS-koneesta tai maassa olevilla tukiasemilla. Ohjuksen saavuttaessa ennakkopisteen sen infrapunahakupää aktivoituisi ja etsisi maalin, johon ohjus hakeutuisi passiivisesti. Passiivisen hakeutumisen etuna olisi se, ettei maalina oleva kone saisi indikaatiota lähestyvästä ohjuksesta, eikä näin ollen suorittaisi mitään väistöliikkeitä. Ohjuksen maksimilaukaisuetäisyys kasvaisi suoraan kohti lentävään maaliin varsin suureksi, koska ohjuksen ei tarvitsisi lähteä hakeutumaan maalin väistön aiheuttamiin ennakkopisteisiin. Ohjuksen alkulento voitaisiin toteuttaa suurella nopeudella, koska ohjuksen kuvun lämpenemisestä ei olisi suurta haittaa. Ohjuksen nopeus pienennettäisiin sen saapuessa ennakkopisteelle, jotta infrapunahakupään ominaisuudet eivät kärsisi liikaa nopeuden aiheuttamasta lämpenemisestä.

Tutkaohjuksen maalinosoitus voitaisiin antaa laukaisevan koneen ulkopuolelta ja ohjusta voitaisiin päivittää muusta kuin laukaisevasta koneesta. Tämä mahdollistaisi ohjuksen täyden kapasiteetin hyödyntämisen eivätkä laukaisevan koneen heikkoudet heikentäisi ohjuksen kantamaa. Lisäksi esimerkiksi GPS-pohjaisten suunnistusjärjestelmien kehitys ohjusten hakeutumisessa voi olla merkittävä askel kohti uudempaa ohjusteknologiaa. Voivatko ohjukset hakeutua tulevaisuudessa koordinaattien avulla kohti ennakkopistettä valvontatutkista saatavan informaation avulla?

Yksi tulevaisuuden tärkeistä tutkimuksista on selvittää keinot, jolla ohjaaja kykenee hallitsemaan koko ajan teknistyvää ja monimutkaistuvaa ilmataistelua. Kaiken tämän tiedon hallitsemiseen tarvitaan laitteita, joiden avulla ohjaaja pystyy luomaan itselleen mahdollisimman hyvää tilannetietoisuutta ympäristöstä ja tätä kautta käyttämään lentokoneen asejärjestelmää mahdollisimman tehokkaasti.

Osa tutkimuksessa esitetyistä tulevaisuuden visioista on täysin tutkijan omia visioita, mutta ne on pyritty perustelemaan hyvin, jotta ne olisivat riittävällä vakavuudella mietittäviä näkökulmia seuraavien tutkimusten pohjaksi. Esimerkiksi Suomen kaltaisella pienellä valtiolla ei ole varaa rakentaa itse uutta ohjusta, mutta esimerkiksi ohjusten maalinosoitukseen, hakeutumiseen tai alkulennon päivitykseen olisi varmasti riittävä tietoteknistä osaamista. Tämän takia yksittäisiä ohjustekniikan osa-alueita tulee myöhemmissä tutkimuksissa tutkia huolella, jotta saataisiin oikeita tuloksia. Niiden perusteella tekniikkaa voitaisiin kehittää kansallisella tasolla ilman kalliiden ohjusten kehittämisiä.

6 LÄHTEET

- [1] Air Forces Monthly – lehti 5/2005
- [2] Air Forces Monthly – lehti 9/2006
- [3] Anderson, John, D. jr. Introduction to flight. Fourth edition. McGraw-Hill Book Co. 2000
- [4] ASRAAM – esitelehti (materiaali tekijän hallussa)
- [5] Barton, David, K. Modern Radar Systems Analysis. Artech house Inc. 1988
- [6] Brassey's kirjasarja. Taylor, Michael, J.H. World Aircraft & Systems Directory 1999/2000 edition. 1999
- [7] Brassey's kirjasarja. Walker, J.R. Air Power: Aircraft Weapons Systems and Technology Series. Volume 5. Air Superiority Operations. First Edition 1989
- [8] Heiskanen Seppo. Ohjustekniikan perusteita. AR-kustannus Oy. Kangasala 1993
- [9] Heiskanen Seppo. Oppituntimoniste. (materiaali tekijän hallussa)
- [10] Hirsjärvi, Sirkka & Hurme, Helena. Tutkimushaastattelu. Teemahaastattelun teoria ja käytäntö. Yliopistopaino. Helsinki 2001
- [11] <http://saab-gripen.masdf.com/meteor.shtml>, 27.11.2006 (Kuva METEOR-ohjuksesta)
- [12] <http://kuku.sawf.org/Fact+sheet/956.aspx>, 2.11.2006
- [13] <http://www.ausairpower.net/AIM-9M-NAMSA.jpg>, 31.10.2006 (Kuvia Sidewinder-ohjuksista)

- [14] <http://www.ausairpower.net/amraam.html>, 31.10.2006 (Kuva AMRAAM-hakupäästä)
- [15] <http://www.ausairpower.net/API-ASRAAM-Analysis.html>, 27.11.2006 (Kuva ASRAAM-ohjuksesta)
- [16] <http://www.aviation.ru/missiles>, 20.11.2006
- [17] http://www.deagel.com/g/raytheons-aim-120-amraam_945.aspx, 31.10.2006 (Kuva AMRAAM-ohjuksesta)
- [18] <http://www.defenceindustrydaily.com/2005/11/16>, 2.11.2006
- [19] <http://www.defenceindustrydaily.com/2006/08/amraam-deploying-developing-americas-mediumrange-airair-missile-updated/index.php>, 2.11.2006 (Kuva ohjuksen laukaisualueesta)
- [20] <http://www.denel.co.za/Aerospace/MISSILES.asp>, 27.11.2006 (Kuva A-DARTER-ohjuksesta)
- [21] <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/missile/row/aa-11.htm>, 27.11.2006 (Kuva AA-11-ohjuksesta)
- [22] <http://www.globalsecurity.org/military/world/europe/bvraam.htm>, 27.9.2006
- [23] http://www.israeli-weapons.com/missile_systems/air_missiles/derby/derby.html, 27.11.2006
- [24] http://www.israeli-weapons.com/missile_systems/air_missiles/python/python4.html, 27.11.2006
- [25] http://www.israeli-weapons.com/missile_systems/air_missiles/python/python5.html, 27.11

- [26] http://www.mbda.net/mbda/site/FO/scripts/siteFO_contenu.php?lang=EN&noeu_id=124, 27.11.2006
- [27] <http://www.nrl.navy.mil/content.php?P=MONOPULSE>, 7.11.2006
- [28] <http://www.raytheon.com/products/apg79aesa/>, 27.11.2006 (Kuva APG-79-tutkasta)
- [29] http://www.saabgroup.com/en/MediaRelations/News/2006/fire_by_looki ng.htm, 27.11 (Kuva IRIS-T-ohjuksesta)
- [30] <http://www.sci.fi/~fta/MiG-29-4.htm>, 20.11.2006
- [31] <http://www.sci.fi/~ftaruaf-ap2.htm>, 20.11.2006
- [32] <http://www.sci.fi/~ftaruaf-ap4.htm>, 20.11.2006
- [33] <http://www.warfare.ru/?catid=262&linkid=2356>, 21.11.2006 (Kuva AA-12-ohjuksen hakupäästä)
- [34] Hurt, Hugh, H. jr. Aerodynamics for Naval Aviators. Naval Air Systems Command. United States Navy. 1965
- [35] IRIS-T – esitelehti (materiaali tekijän hallussa)
- [36] Jane's tietokanta. Air Launched Weapons
- [37] Jormakka, Jorma ja Rissanen, Antti. State-of-the-Art in Sensors. Maanpuolustuskorkeakoulu. Sotatekniikan laitos. Edita Prima Oy. Helsinki 2006
- [38] Kauranen, Ilkka, Ropponen, Pasi ja Aaltonen, Mika. Tutkimusraportin kirjoittamisen opas. Teknillinen korkeakoulu. Opintotoimisto. Otaniemi. Espoo 1993

- [39] Klemola, Olli ja Lehto, Arto. Tutkatekniikka. Hakapaino Oy. Helsinki 1998
- [40] Kosola, Jyri ja Solante, Tero. Digitaalinen taistelukenttä. informaationajan sotakoneen tekniikka. Julkaisusarja 1. Sotatekniikan laitos. Oy Edita ab. Helsinki 2000
- [41] Kumpulainen, Heikki, Hämelähti, Harri, Tuunainen, Vesa, Lehtinen, Juhani. Nykyaikaiset ilmataisteluohjukset. MpKK Taktiikan Laitos. Julkaisusarja 4. Helsinki 2002
- [42] Lappalainen, Esa, Jormakka, Jorma. Tekniset tutkimusmenetelmät Maanpuolustuskorkeakoulussa. MpKK Tekniikan laitos. julkaisusarja 5. Edita Prima Oy. Helsinki 2004
- [43] Lentokoneaseistuksen perusoppi
- [44] Lindell, Ismo. Radioaaltojen eteneminen, 4. tarkistettu painos. Hakapaino Oy. Helsinki 1996
- [45] METEOR – esitelehti (materiaali tekijän hallussa)
- [46] MICA – esitelehti (materiaali tekijän hallussa)
- [47] Military Technology – lehti 7/2002
- [48] Military Technology – lehti 7/2006
- [49] Ohje Maanpuolustuskorkeakoulussa laadittavista opinnäytetöistä. R651/8/D/I 1.10.2002. Maanpuolustuskorkeakoulu. Helsinki 2002
- [50] Pasivirta, Pasi (käänt.). Teknisen kehityksen suuntalinjat. ("Tekniska Utvecklingstrender"). MpKK, Tekniikan laitos. Julkaisusarja 5. Edita Prima Oy. Helsinki 2004
- [51] Siivet – lehti 1/2003

- [52] Siivet – lehti 1/2006
- [53] Sotilaselektroniikkaopas 1985. Vaasa Oy. 1985
- [54] Stimson, George, W. Introduction to Airborne Radar. Hughes Aircraft Company. El Segundo. California 1983
- [55] Suomen Sotilas – lehti 6/2003
- [56] Teknologian kehitys: Sotatekninen arvio ja ennuste 2020, STAE 2020. osa 1. Pääesikunta Sotatalousosasto. Edita Prima Oy. Helsinki 2004
- [57] Teknologian kehitys: Sotatekninen arvio ja ennuste 2020, STAE 2020. osa 2. Pääesikunta Sotatalousosasto. Edita Prima Oy. Helsinki 2004
- [58] Tuomi, Jouni & Sarajärvi, Anneli. Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. Kustannusosakeyhtiö Tammi. Helsinki 2002
- [59] Vilka, Hanna. Tutki ja kehitä. Kustannusosakeyhtiö Tammi. Helsinki 2005
- [60] Yleinen ase- ja asejärjestelmäopas. PvKK. Vammalan kirjapaino Oy. 2001