

AMMUSILMATORJUNTA- ASEJÄRJESTELMIEN TEHOANALYYSIN PERUSTEET HANKINTOJA SUUNNITELTAESSA

Majuri Pauli Thomenius

JOHDANTO

Ilmatorjuntamme mahdollinen siirtyminen ohjusaikakauteen ei tule vähentämään ammusilmatorjunnan merkitystä. Meillä lähinnä tarvittavien ohjusten käyttöalue olisi keski- ja yläkorkeuksissa. Näin tulisivat korkealla suoritettavat lennot uhanalaisemmiksi ja maalien esiintymistiheys ammusilmatorjunnan alueella kasvaisi.

Tehoanalyysillä tarkoitetaan asejärjestelmän ominaisuuksien pohjalta tehtyjä laskelmia, joiden perusteella järjestelmältä voidaan odottaa tietyssä taistelutilanteessa määrätyn tasoista suoritusta. Tehoa osoittavia vertailulukuja voidaan käyttää uusia aseita hankittaessa, ja ne muodostavat kustannus-tehokkuusanalyysin tärkeimmän osan. Tehokkuusarvoja voidaan käyttää myös vanhaa kalustoa jaettaessa erilaisiin tehtäviin. Edelleen tehoanalyysi antaa viitteitä vanhempien asejärjestelmien parantelumahdollisuuksista. Kokonaistehon lisäksi voidaan määrittää eri asetyyppien teholliset ampumaetäisyydet.

Kustannustekijöiden selvittely jätetään tässä esityksessä muutamien viittausten varaan. Myöskään ei tutkita kysymystä, olisiko kiinteällä rahamäärällä edullisempaa hankkia erittäin hyviä aseita vähän, vaiko vaatimattomampia paljon.

1. ILMATORJUNTA-ASEIDEN VALINTAPERUSTEISTA

Pienessä valtiossa ei hankintapäätöksiä voida tehdä pelkän tarveanalyysin pohjalla. Rajoittavina tekijöinä tulevat eteen taloudelliset ja kauppapoliittiset seikat. Kaikki maat eivät myy moderneinta kalustoaan. Lisäksi Suomen rauhansopimuksiin sisältyy asehankintojen suuntaamista koskevia rajoituksia.

Mainittujen rajoitustenkaan jälkeen asejärjestelmän teho ei ole ainoa valintakriteeri. Vasta kustannusten ja tehokkuuden välisen suhteen laskeminen antaa riittävät valintaperusteet.

Kustannustekijöihin on sisällytettävä ainakin

- asejärjestelmän hankintahinta,
- ampumatarvikkeiden hinta,
- liikkuvan kaluston vetäjien hinta,
- huolto-, korjaus- ja varaosamenot,
- henkilöstön koulutuskustannukset,
- asejärjestelmään todennäköisesti kohdistuvat tappiot ja
- sopeuttamisesta olemassa oleviin järjestelmiin aiheutuvat kustannukset. Jokin asejärjestelmä voi tarvita tiettyjä lisäjärjestelmiä avukseen, ennenkuin siitä saadaan täysi teho.

1.1. Ilmatorjuntatulen vaikutukset

Lentosuoritusten suunnittelussa ja toteuttamisessa otetaan vastustajan ilmatorjunta huomioon. Suunnitteluvaiheessa selvillä oleva ilmatorjunnan ryhmitys vaikuttaa maalialueen valintaan, lentoreittiin ja muodostelman kokoonpanoon. Tällöin voi tulla kyseeseen ilmatorjunnan kyllästäminen suurella konemäärällä tai sen väistäminen.

Lentohyökkäyksen suoritusvaiheessa ilmatorjunta vaikuttaa lentäjän käyttäytymiseen. Kokenutkin lentäjä suurentaa mielellään ilmatorjunnan vaikutusalueella ollessaan omaa ampumaetäisyyttä. Myös tähtäyspistehajonta kasvaa suurella varmuudella, joten osumatodennäköisyys voi pienentyä ratkaisevastikin.

Jo pienikin alasampumisprosentti voi olla tärkeä suojattavan kohteen säilymiselle. Viimeisimmät saatavissa olevat vertailuarvot ilmatorjunnalla suojatun ja suojaamattoman kohteen säilymiselle ovat taulukossa 1. Laivoille asennettu ilmatorjunta-aseistus tuotti viholliselle neljän (4) prosentin tappiot. Lukua pidettiin niin pienenä, että aseita vaadittiin ”tehokkaampaan” käyttöön maalle. Kuitenkin taulukon luvut osoittavat aseiden todellisen arvon alusten suojaamisessa.

Oikea mittaluku onkin säilyneiden laivojen, eikä pudotettujen lentokoneiden lukumäärä.¹⁾

	Laivoilla ei ilmatorjuntaa	Laivoilla it-aseistus
Pommeja pudotettiin (kpl)	304	632
Pommeja osui (kpl)	39	50
Osumaprosentti	13	8
Montaako laivaa pommitettiin	71	155
Montako upposi	18	16
Upotusprosentti	25	10

Taulukko 1. Ilmahyökkäysten aiheuttamat tappiot Englannin kauppa-laivoille Välimerellä toisessa maailmansodassa.²⁾

Nykyisinkin lentosuorituksen ratkaiseva tekijä on edelleen lentäjä. Perustellusti voidaan siis olettaa, että pudotuksia tuottavalla ilmatorjunnalla on yhäti myös välillinen vaikutus lentoaseen torjunnassa.

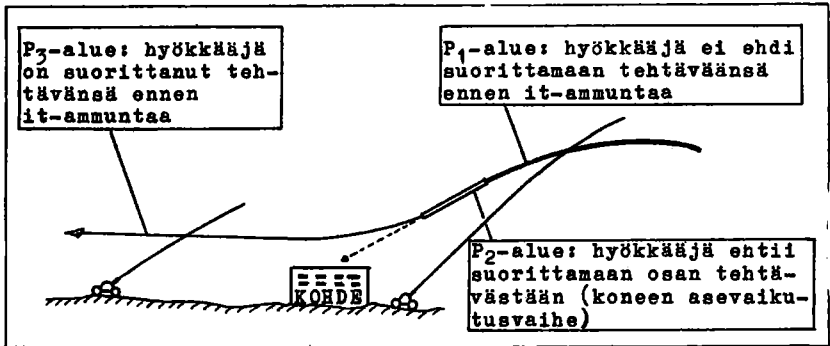
1.2. Vaatimukset ilmatorjuntatykkituloille

Tykkitulen vaatimuksista tulee ensimmäisenä mieleen viholliskoneiden pudottamisen tavoite. Yleisen ilmatorjuntadoktriinimme mukaan riittää kuitenkin jo se, että viholliselta estetään tehtävän menestyksellinen suoritus. Aikaisemmin on todettu, että hyökkääjään vaikuttaa jo pelkkä ilmatorjunnan paikalla olo. Ammunnan suuliekit ja valojuovat lisäävät edelleen vaikutusta lentäjään. Perimmäinen lentäjään vaikuttava tekijä on tuhoutumisvaaran tiedostaminen. Tämä alasampumuksi tuleminen pelko taas pohjautuu lentäjän aikaisempiin tietoihin ilmatorjunnan tehosta ja konepudotuksista. Häirintävaikutukseenkin pääsemiseksi ilmatorjunta-aseilta edellytetään näin ollen jonkin suuruista reaalista tuhovaikutusta. Joudutaan siis takaisin alasampumisen vaatimukseen, vaikka tavoitteena olisikin vain vihollisen tehtävän häiritseminen. Väistämätön lopputulos on, että kaiken ilmatorjunnan tärkein vaatimus on viholliskoneiden pudottaminen. Ilmatorjuntatykkien on siis ammuttava useita, tarkasti suunnattuja ja tehokkaita ammuksia lyhyessä ajassa ja usein vielä moneen maaliin.

Viholliskoneiden pudottaminen ei kuitenkaan sinällään ole aina riittävä suoritus. Haluttaessa estää vihollisen tehtävän onnistuminen on kone tuhottava riittävän ajoissa, eli ennen kuin se aloittaa tulituksen. Kuvassa 1 on alasampumismahdollisuudet jaettu kolmeen osa-alueeseen.

1) Morse & Kimball s 52

2) Morse & Kimball s 53



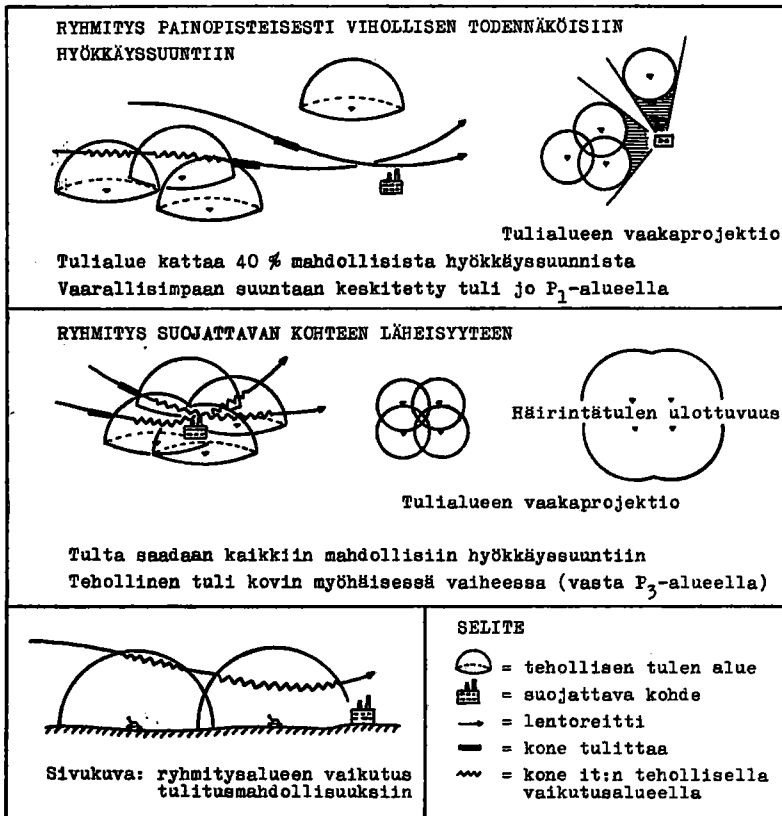
Kuva 1. Tuhoutumistodennäköisyysalueet.¹⁾

Ilmatorjuntatehtävän täydellinen onnistuminen edellyttää ammuntaa P₁-alueella. Jos tykeillä on pieni kantama, ne on sijoitettava kohteen ulkopuolelle. Hyökkäyssuuntia ei voida monesti etukäteen arvioida kovinkaan suurella varmuudella. Silloin tarvittaisiin suuri määrä "eteentyönnettyjä" aseita, jotta kaikki suunnat tulisivat hoidetuiksi. Lyhytkantamaisten tykkien ryhmittäminen suojattavan kohteen alueelle mahdollistaa ammunnan vain P₃-, korkeintaan P₂-alueelle. Vaikka vihollisen hyökkäys onnistuisikin ennen tehollisen ilmatorjuntatulen aluetta, ei P₃-alueenkaan pudotuksia saa aliarvioida. Pudotettu kone on varmasti poissa seuraavien päivien hyökkäyksistä. Se näkyy täysiarvoisena myös vihollisen konetappiotilastoissa ja vaikuttaa sitä kautta vihollisen hyökkäystapoihin ja kohteiden valintaan. Kuvassa 2 tarkastellaan lyhytkantamaisen ilmatorjunnan ryhmittämissä mahdollisuuksia suojattavan kohteen suhteen.

Jos tykeillä on suuri tehollinen ampumaetäisyys, ei niitä tarvitse ryhmittää pitkälle vihollisen tulosuuntaan, vaan taisteluasemat voidaan valita kohdealueelta. Aseiden sijoittaminen suojattavan kohteen läheisyyteen suo monia etuja, kuten

- kalustotarpeen pienenemisen,
- ilmatorjunnan väistämättömyyden vähenemisen ja
- ammunnan helppouden, kun päästään ampumaan kohti syöksyviä maaleja ilman ennakkokulmia. Suojattavan kohteen alue on siis hyvää ryhmittämissä aluetta ilmatorjuntatykistöille. Tällöin tulee korostetusti esille suuren tehollisen ampumaetäisyyden vaatimus. Todettakoon vielä, että

¹⁾ Malmberg s 106



Kuva 2. Lyhytkantamaisen ilmatorjuntatykistön ryhmittymismahdollisuuksia.

pitkä ampumaetäisyys antaa aikaa maalinvaihdolle ja tulenkorjauksille.

Perusvaatimukset hankittaville aseille asettaa ylin johto. Tällaisia perusvaatimuksia voivat olla vaikkapa aseiden käyttötarkoitukset ja sopivuus jo hankittuihin järjestelmiin sekä koulutustarpeen pitäminen tietyissä rajoissa. Teknisen henkilöstön tehtävänä on tutkia, miten mainitut vaatimukset voidaan eri asejärjestelmillä toteuttaa. Tätä asiaa tarkastellaan seuraavissa luvuissa.

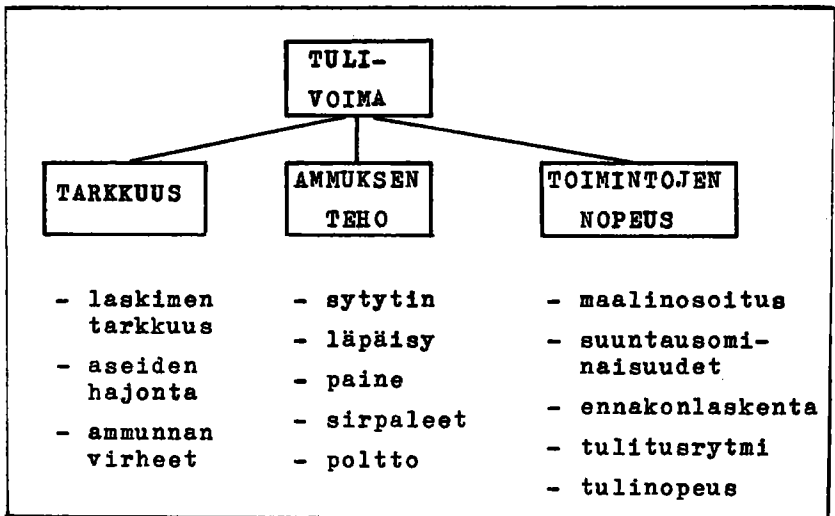
2. TEHOANALYYSIN PERUSTEET

2.1. Analysoitavat kohteet

Asejärjestelmän tärkein ominaisuus on tulivoima, joka ilmoittaa, miten suuri tuho vaikutus maaliin kyetään aiheuttamaan tiettyssä tilanteessa. Tulivoiman osatekijöitä käsitellään kuvassa 3.

Pelkkä tulivoima ei kuitenkaan riitä ilmaisemaan asejärjestelmän tehoa. Analyysiin on sisällytettävä myös sellaiset tekijät, jotka ottavat huomioon, onko asejärjestelmä siellä, missä sitä tarvitaan, ja onko se tulivalmiina. Kahdella asejärjestelmällä voi olla sama tulivoima; tehokkaampi on se, joka varmemmin on saatavissa oikeaan paikkaan ja kestävämpään tulivalmiuteen.

Ilma-ammunnan tehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä on lukematon määrä. Tehoanalyysin osakohteiksi on valittava sellaiset kokonaisuudet, että mitättömän pienet tekijät karsiutuvat pois. Ominaisuuksien ryhmittelyssä on huolehdittava, ettei sama asejärjestelmän ominaisuus vaikuta lopputulokseen liian monessa kohdassa. Tässä esityksessä on valittu arvoiteltaviksi pääryhmiksi ampumatekniset, asetekniset, käytöntekniset ja taktiset ominaisuudet.



Kuva 3. Tulivoiman osatekijät.

2.2. Ampumatekniset ominaisuudet

2.2.1. Maalinosoitus

Tässä yhteydessä tarkastellaan asejärjestelmän toimintaa maalin havaitsemisesta seurantavaiheeseen alkuun.

Kaikki asejärjestelmät voivat käyttää hyväkseen ulkopuolisia maalinosoituksia, eroja on lähinnä tiedonvälityksen automatisoinnissa ja nopeudessa.

Jos asejärjestelmään kuuluu tulenjohtotutka, voidaan sitä käyttää yleensä myös maalien etsintään. Tulenjohtotutkalla löydetty maali tulee samalla "osoitetuksi" juuri oikeaan paikkaan ja ilman ajanhukkaa.

Edellistä parempi järjestelmä on varustettu kahdella tutkalla, joista toinen etsii keskeytyksettä maaleja. Tulenjohtotutkan sitoutuminen maaliin ei siis vähennä maalinosoitustehoa. Erillisen maalinosoitutuksen puutetta voidaan korvata optisilla maalinosoittimilla.

Kun maali on havaittu, se on saatava mittausvälineen seurantaan. Tutkaa käyttävissäkin järjestelmissä aika havainnosta seurantaan vaihtelee. Monet manuaaliset toimenpiteet kuluttavat aikaa enemmän kuin pitkälle automatisoitu järjestelmä. Tykkikohtainen optinen maalin kiinniotto riippuu ratkaisevasti miehistön taidosta, mutta erilaisten tykkien väliset erot ovat silti selvästi havaittavissa. Mittaamalla välineiden kulmakiihtyvyydet ja -nopeudet voidaan selvittää, milloin aikaisintaan väline saadaan käännetyksi tiettyyn suuntaan. Tähän on vielä lisättävä se aika, joka suuntaajalta kuluu maalin saattamiseen asianmukaiseen tähtäyspisteeseen.

Tutkaohjatuilla asejärjestelmillä maalinosoitusaikaan kuuluu

- tiedonsiirtoaika maalinosoitutuskalta tulenjohtotutkalle,
- tulenjohtotutkan kiinnittymisaika ja
- aseiden kääntymisaika.

Optisilla järjestelmillä maalinosoituvaihe käsittää

- maalin osoittamisen suuntaajalle,
- aseiden kääntämisen maalin suuntaan,
- maalin saamisen tähtäimeen ja vielä
- maalin saattamisen tähtäimen näkökentässä tiettyyn tähtäyspisteeseen. Vasta näiden toimintojen jälkeen maali on asianmukaisesti tykin seurannassa.

Maalinosoitujärjestelmien pääpiirteinen ampumaopillinen paremmuusjärjestys on seuraava:

1. Maalinosoitututka ja tulenjohtotutka, automatisoitu järjestelmä
2. Kuten edellinen, mutta tiedonsiirrossa manuaalisia toimenpiteitä
3. Vain tulenjohtotutka; ihmistyötä vaativien toimenpiteiden määrä on arvostelukriteeri

4. Optinen järjestelmä

On huomattava, että manuaaliset toiminnot voivat toisaalta lisätä asejärjestelmän toimintavarmuutta vihollisen vastatoimenpiteiden aikana.

Maalit voidaan osoittaa myös rinnakkais- ja varajärjestelmillä. Etenkin usean maalin tapauksessa rinnakkaisjärjestelmillä voi olla ratkaiseva merkitys.

2.2.2. Ampumamenetelmä

Asejärjestelmän ampumamenetelmä voidaan määritellä seuraavilla tekijöillä:

- tulitustapa (este- tai seuranta-ammunta),
- seurannan perusteet (tutka- tai optinen seuranta) ja
- ennakonmäärityksen perusteet.

Esteammunnassa yhden aseensa yhdestä sarjasta voi osua ideaalisesakin tapauksessa korkeintaan jokin tietty laukausmäärä. Näitä laukauksia nimitetään teholaukauksiksi, ja niiden lukumäärä saadaan kertomalla tulinopeudella (ls/s) maalin pituuden (m) ja nopeuden (m/s) osamäärä. Rajoitetun teholaukausmäärän lisäksi esteammunnalla on muitakin rajoituksia. Sarjan ajaksi pysäytetyn aseensa uudelleen suuntaaminen vie aikaa ja tulen korjaaminen on epävarmaa, kun maalitilanne muuttuu hyppäyksittäin.

Seuranta-ammunnassa teholaukausmäärä ei ole rajoitettu. Kun lisäksi ajan käyttö on tehokkaampaa, on seuranta-ammuntaa pidettävä selvästi parempana ampumatapana. Tätä ei kumoa se tosiseikka, että joillakin asetyypeillä päästään esteammunnalla parempiin tuloksiin. Se johtuu vain asejärjestelmän vajavuuksista, jotka estävät tehokkaan seuranta-ammunnan. Seuranta-ampumamenetelmiä keskenään vertailtaessa on maalin mittausmenetelmällä tärkeä osa. Tutkaohjatun seurannan etuja ovat riippumattomuus näkyvyysoloista ja tutkamittauksen (sopivan suuruinen) kohina, joka voi eliminoida systemaattisten virheiden vaikutusta. Optinen seuranta ja mittausarvot maalin liiketilasta muodostavat myös käyttökelpoisen yhdistelmän. Kun optinen seuranta saa tuekseen vain arviosuureita maalin liiketilasta, tuleekin jo harkittavaksi siirtyminen esteammuntaan.

Ilma-ampumatavat voidaan ryhmittää seuraavaan pääpiirteiseen parremuusjärjestykseen:

1. Tutkaohjattu seuranta-ammunta
2. Optinen seuranta, maalista mittausarvot
3. Optinen seuranta, maalista arviosuureet
4. Esteammunta

Luokittelu on tehty lähinnä tarkkuusnäkökohtien perusteella. Kenttäkelppoisuus- ja häirinnänsietovaatimukset eivät ole sopusoinnussa tarkkuusvaatimusten kanssa.

On huomattava, että arviosuureita käytävissä järjestelmissä on keskenään eri arvoisia ratkaisuja. Arviosuureiden lukumäärän tulee olla mahdollisimman pieni, mutta samalla on tutkittava, miten ratkaisevia arviointivirheet ovat ammunnan onnistumiselle. Muutamat arviosuureita käyttävät laskinjärjestelmät takaavat, että tuli on tarkkaa ainakin jossakin lentoreitin pisteessä. Eräitä ratkaisuja esitetään liitteessä 1.

Ampumamenetelmiä voidaan tutkia myös käyttäen jakoa keskuskulman- ja tykkilaskinammuntaan. Satunnaisten virheiden vaikutus on pienempi, kun asejärjestelmässä ei ole hallitsevaa keskuskulmankintaa, vaan jokaisella tykillä on oma tulenjohtojärjestelmä.¹⁾

2.2.3. Suuntausnopeus ja -kiihtyvyys

Hitaatkin maalit edellyttävät suuria kulmanopeuksia ja -kiihtyvyyksiä maalia kiinni otettaessa ja maalinvaihtojen yhteydessä. Kun tunnetaan kulmakiihtyvyys ja suurin kulmanopeus, saadaan tykin tai tulenjohtovälineen kääntymiseen kuluva aika kaavasta:

$$\begin{cases} t_{k\ddot{a}} = \frac{2\varphi}{\alpha} & , \text{ kun } \varphi \leq \frac{\omega_1^2}{2\alpha} \\ t_{k\ddot{a}} = \frac{\omega_1}{2\alpha} + \frac{\varphi}{\omega_1} & , \text{ kun } \varphi > \frac{\omega_1^2}{2\alpha} \end{cases} , \text{ missä}$$

$t_{k\ddot{a}}$ = kääntymisaika (s)

φ = haluttu kääntymiskulma ($^{\circ}$),

ω_1 = maksimikulmanopeus ($^{\circ}/s$) ja

α = kulmakiihtyvyys ($^{\circ}/s^2$).

Kaavaa voidaan käyttää sekä sivu- että korkeussuuntauksen vaatimia aikoja laskettaessa. Ratkaiseva aika on tietenkin näistä suurempi.

Suuria kulmanopeuksia tarvitaan myös seurannan aikana tietyissä maalitilanteissa. Maalipisteen kulmanopeus saadaan seuraavasta kaavasta:

$$\omega_M = \frac{v_M \cdot E_V}{E_M^2} , \text{ missä } \omega_M = \text{maalipisteen kulmanopeus (1/s),}$$

$$v_M = \text{maalin nopeus (m/s),}$$

$$E_V = \text{vaihtopiste-etäisyys (m) ja}$$

$$E_M = \text{maalipisteen etäisyys (m).}$$

1) Brändli s 151

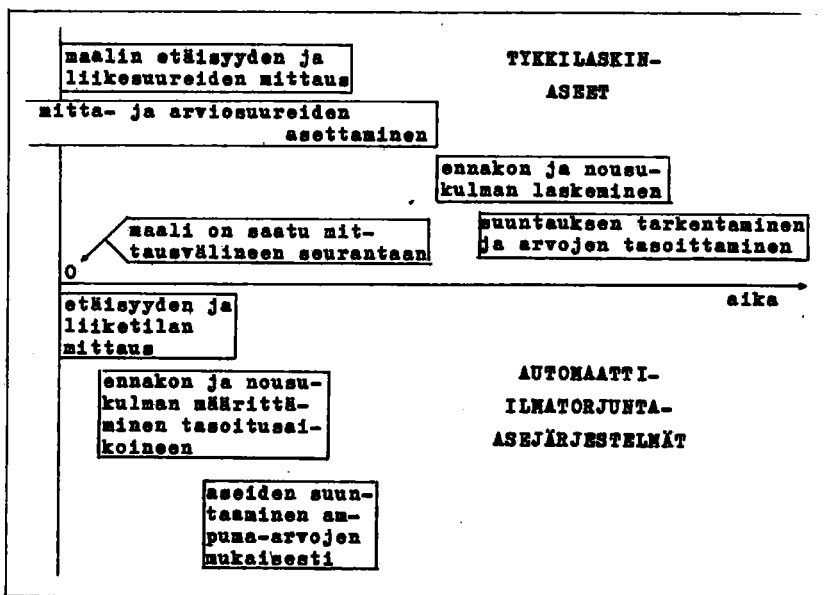
Ennakkopisteen kulmanopeus poikkeaa jonkin verran maalipisteen kulmanopeudesta ja on lennon lähenevällä osalla sitä pienempi.

2.2.4. Tulitusrytmi

Tulitusrytmillä tarkoitetaan tässä sitä taajuutta, jolla uusia sarjoja pystytään ampumaan samaan tai uuteen maaliin. Tulen aloittamiseen kuluva aika on tulitusrytmin tärkein kriteeri. Kun maali on mittausvälineen (vast) seurannassa, ei asejärjestelmä yleensä ole heti laukaisuvalmis. Kuvassa 4 selvitetään seurannan alkamisen ja aseiden laukaisemisen välillä suoritettavia toimenpiteitä.

Tulen aloittamiselle on eduksi, kun osa-ajat ovat mahdollisimman lyhyitä ja useita toimintoja suoritetaan yht'aikaa.

Seuranta-ammunnassa maalia voidaan tulittaa lähes keskeytyksettä tykillä olevan laukausmäärän puitteissa. Yleensä ampumatarvikkeita voidaan vielä täydentää ammunnan aikanakin. Tulitusrytmiä rajoittavaksi tekijäksi voi tällöin tulla putken kuumeneminen tai savun muodostus. Jos tulta voidaan ja halutaan korjata, aiheutuu tulitusrytmiin



Kuva 4. Toimintavaiheet ennen tulen aloitusta.

lisää rajoituksia. Sarjojen välinen aika muodostuu tulen tähytys- ja korjausajasta. Maalin vaihtaminen vaatii myös aikansa, ja kaikkiaan voidaan tulitusrytmille rakentaa seuraavanlainen laskualgoritmi:

$$T_{\text{ury}} = 60 : (\text{apit} : \text{tnop} + T_{\text{N}} + t_{\text{kä}} + t_{\text{las}})$$

Kaavassa T_{ury} = tulitusrytmi (sarjaa/min),

apit = sarjan pituus (l_s),

tnop = tulinopeus (l_s/s),

T_{N} = lontoaika ennakkopistoeseen (s), } kun tulta
 t_{as} = arvojen asetus aika (s), } korjataan
 $t_{\text{kä}}$ = aseon kääntymisaika (s) ja } maalia vain-
 t_{las} = ampuna-arvojen laskeutusaika (s). } dottoosissa

2.2.5. Laskinjärjestelmä

Laskimen tärkeimmät ampumatekniset vaatimukset ovat tarkkuus ja nopeus. Kolmas vaatimus on sopiva käyttöalue. Sekä nopeuteen että tarkkuuteen vaikuttavat laskimen vaatimat asetusarvot. Jos niitä on paljon ja ne asetetaan käsin, tulee laskimesta hidaskäyttöinen. Jos tärkeät asetusarvot ovat arviosuureita, eivät laskimen antamat tulokset voi olla kovin tarkkoja.

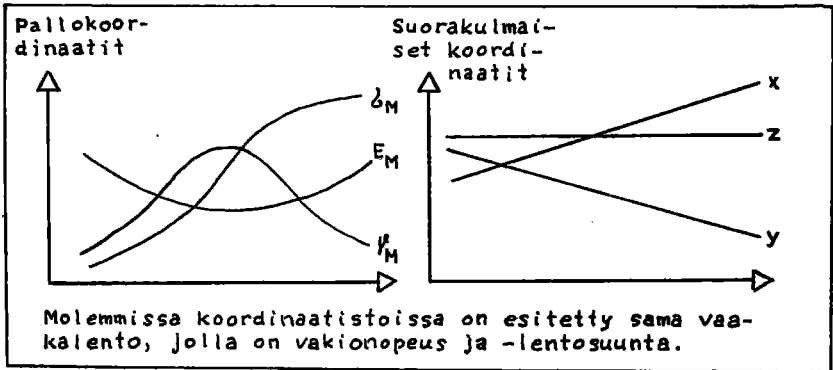
2.2.5.1. Matemaattinen perusta

Ennako- ja nousukulmaa määritettäessä voidaan samoista lähtöarvoista päästä useita eri teitä yhtäpitäviin lopputuloksiin. Matemaattisia ratkaisuja tarkasteltaessa on otettava huomioon niiden ja käytetyn laskintekniikan sopivuus toisiinsa. Analogialaskin vaatii erilaisia ratkaisuja kuin digitaalilaskin, jota käytettäessä voidaan toteuttaa hyvinkin vaikeat laskut lyhyessä ajassa.

Tärkeä tekijä on käytetty koordinaatisto. Kuvassa 5 esitetään maalin paikka ajan funktiona kahdessa eri koordinaatistossa.

Kun ajatellaan nopeuksien muodostamista kuvan 5 koordinaattitietojen perusteella, huomataan selvä ero suorakulmaisten koordinaattien hyväksi. Kaikkien koordinaattien suuntaiset nopeudet ovat vakioita. Koordinaatistojen valinnassa tulee kuitenkin välttää kovin monia koordinaatiston vaihtoja virheiden kasaantumisen estämiseksi.

Edelleen voidaan tarkastella, mitä liikeolettamusta laskin edellyttää. Liikeolettamuksen puutteellisuuksia on vaikea eliminoida edes tulen korjaamisella. Kevyen ilmatorjunnan alueella maali usein kaartaa



Kuva 5. Maalin liike eri koordinaatistoissa.

ja/tai muuttaa korkeuttaan. Näin ollen ensimmäinen liikeolettaus (nopeus, korkeus ja liikesuunta vakioita) sopii olosuhteisimme huonosti. Sitä käyttävät asejärjestelmät soveltuvat kylläkin niiden maiden käyttöön, missä lyhytkantamainenkin ilmatorjunta ryhmitetään suojattavan kohteen alueelle. Silloinhan päästään yleensä ampumaan kohti syökyvää maalia. Meillä vastaava tilanne on lähinnä laivaston ilmatorjunnalla.

Epätäydellisen liikeolettamuksen lisäksi laskimen muu matemaattinen perusta voi olla vajavainen ja likimääräistetty. Ennakon määrittäksen lisäksi on tutkittava nousukulman laskentaperusteet. Jo tykkilaskinaseilta on edellytettävä, että nousukulma lasketaan sekä etäisyyden, että korkeuskulman funktiona.

2.2.5.2. Tarkkuus

Laskimen virheet aiheutuvat asetusarvojen virheistä sekä matemaattisista ja mekaanisista puutteellisuuksista. Tärkeä osa ennakon laskennassa on myös ulkoisten häiriötekijöiden eliminoimismahdollisuuksilla. Toisin sanoen ammunnan valmistelun tarkkuusmahdollisuudet on tutkittava. Lähtönopeuden mittaushmahdollisuus helpottaa huomattavasti ammunnan valmistelua, mutta "turhalle" tarkkuudelle ei kannata antaa arvoa. Esimerkiksi 30 ItK/62:n ballistisen valmistelun tuloksena siirretään muutama millimetri sitä lukemamerkkiä, jonka kohdalle asetetaan arvioitu maalin nopeus.

On huomattava, että digitaalilaskimella päästään aina alkuperäi-

seen, konstruktion mukaiseen tarkkuuteen. Analogialaskimen tarkkuus taas riippuu paljon sen trimmauksesta.

Laskimen tarkkuuteen liittyen on käsiteltävä myös asetusarvojen tarkkuus. Virhettä voi olla itse arvoissa ja/tai niiden asettamisessa. Jo maalin liikekulman arviointi edellyttää pitkää harjoittelua. Vaihtopiste-etäisyyden arviointi on jo lähes ylivoimainen tehtävä varusmiehille ja reserviläisille. Eräässä kokeilussa¹⁾ vaihtopiste-etäisyyden arviointivirheiden keskiarvo on ollut 35,5 % ryhmällä, johon on kuulunut kolme kantahenkilökuntaan kuuluvaa, yksi alikersantti ja neljä Hispano Suiza SA:n edustajaa. Jo 10 % virhe vaihtopiste-etäisyydessä voi aiheuttaa viiden prosentin virheen ennakkoon Galileo-järjestelmässä.²⁾ Laskennan tarkkuutta arvosteltaessa on siis rakenteellisen tarkkuuden lisäksi otettava huomioon, miten tarkat asetusarvot kentällä ovat käytettävissä. On määritettävä mitta- ja arviosureiden todennäköiset virheet ja asetustarkkuus. Laskimen tarkkuuden mitaksi voidaan ottaa ennakon virhe vektorisuureena, mutta käytännöllisempi on ennakkokulman virhe, koska useat muutkin virheet määritetään yleensä kulma-arvoina.

Laskimen virhe on tärkeimpiä tekijöitä ammunnan systemaattisissa virheissä, joilla tarkoitetaan niitä poikkeamia, joilla ei ole ballistisen hajonnan eikä suuntausvirheiden luonnetta.

2.2.5.3. Laskentanopeus

Tulenaloituksen ja maalinvaihtojen nopeus edellyttää, että laskimen arvot ovat joutuisasti käytettävissä. Yksinkertaiset mekaaniset laskimet tulostavat arvot heti, kun asetusarvot on syötetty. Kehittyneemmät laskimet vaativat vähemmän manuaalisia asetusarvoja, jolloin asetus-aika lyhenee. Monesti kuitenkin ennakon muodostaminen ja arvojen tasoittaminen vaativat aikaa jopa sekuntien luokkaa. Niinpä mekaanisen ja elektronisen laskimen nopeuksista ei ilman tutkimusta voida sanoa edes paremmuusjärjestystä. Laskimen vaatimalle ennakonmääritysajalle voidaan määrittää kaava:

$$t_{enn} = t_{as} + t_{las} + t_{tas}, \text{ missä}$$

t_{enn} = ennakonmääritysaika (s),

t_{as} = arvojen asetus-aika (s),

t_{las} = laskimen vaatima laskuaika (s) ja

t_{tas} = arvojen tasoitukseen kuluva aika (s).

1) PE. 30 ItK:n kokeilukertomus

2) Niiranen s 119

Osa edellisen kaavan ajoista voi olla päällekkäisiä. Ennakonmääritys aika on eräs tekijä tulenaloitus- ja maalinvaihtoajoja laskettaessa.

2.2.5.4. Varajärjestelmät

Laskinjärjestelmän kehittäminen tuo monesti mukanaan vikaantumismahdollisuuksia. Tällöin voi alkeellinenkin varajärjestelmä pelastaa kriittisen tilanteen. Jo pelkkä kiinteätyyppinen rengastähtäin tekee häirintätulen huomattavan tehokkaaksi verrattuna vain putken suunnan perusteella käännettävään aseeseen. Varajärjestelmistä on tehonalyysin yhteydessä tutkittava

- onko varajärjestelmää ylipäänsä olemassa, ja, jos on,
- onko se aktiivisesti kytkeytyvä vai passiivinen, ja
- miten nopeasti viimeksi mainittu saadaan toimintavalmiiksi,
- minimiedellytykset, joilla varajärjestelmä vielä toimii,
- varajärjestelmän käyttöalue sekä
- sen ampumaopillinen tarkkuus.

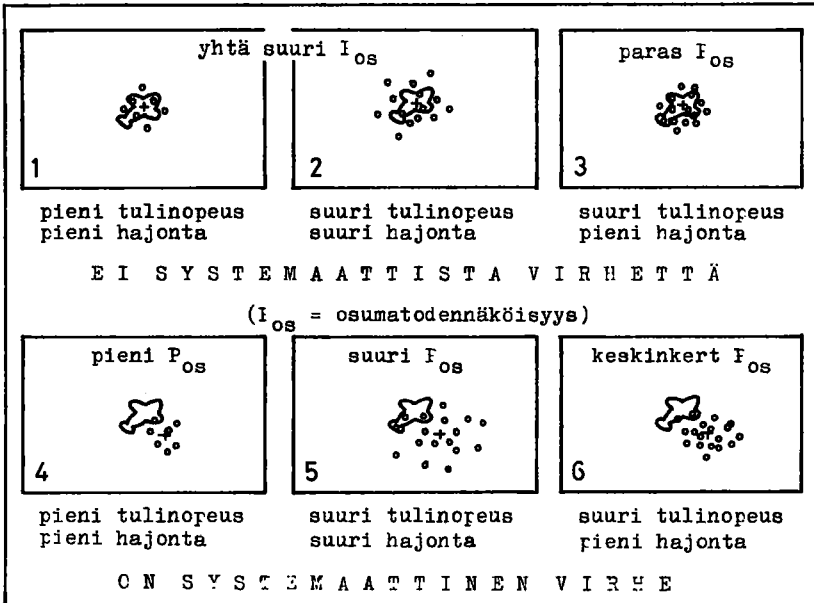
2.2.6. Ulkoballistiikka

Asejärjestelmän ulkoballistisista ominaisuuksista tärkeimpiä ovat kantama, hajonta ja lentoajat.

Toisin kuin pinta-ammunnassa, ei ilma-ammunnassa voida käyttää ammuksen koko lentorataa hyväksi. Jonkinlaisia perusteita kantama kuitenkin antaa käytännön maksimiampumaetäisyyksien määrittämiselle. Vaikka kantama ei annakaan valmiita lukemia aseiden käyttökelpoisuudelle, se antaa yleiskuvan ammuksen ilmanvastuksesta, kun lähtönopeus tunnetaan.

Vaikka ampuma-arvot olisivat ideaaliset, eivät kaikki ammuksent silti yleensä osu maaliin. Se johtuu ballistisesta hajonnasta, jonka syyt ovat esimerkiksi ammusten paino- ja muotoerot sekä puuskittainen tuuli. Yleensä jo pientäkin hajontaa pidetään haitallisena, mutta liian suoraviivaisia päätelmiä ei pidä tehdä, sillä hajonta voi olla hyödyllisenkin seuraavista syistä:

- systemaattiset virheet eivät vie kaikkia ammuksia maalin ohi (kuva 6),
- suurella tulinopeudella ei kaikkia ammuksia kannata ampua (maalin suhteen) samaan pisteeseen, ja
- herätesytytintä käytettäessä voidaan hajonnan antaa kasvaa, kun ammuksen vaikutusala on suurempi kuin iskusytytintä käytettäessä. Toisaalta ammuksen pieni teho voi edellyttää useita osumia samaan



Kuva 6. Hajonnan, tulinopeuden ja systemaattisen virheen vaikutus osumatodennäköisyyteen.

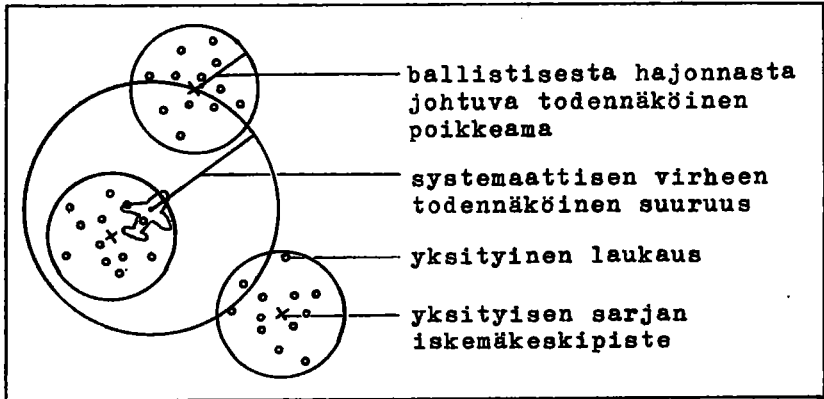
maaliin, jolloin on edullista ampua niin pienellä hajonnalla, että osumatapauksessa saadaan useita osumia.

Kaikkiaan havaitaan, että ballistiselle hajonnalle voidaan löytää optimiarvo, jonka perusteina ovat

- aseenn tulinopeus,
- todennäköiset systemaattiset ja suuntausvirheet,
- maalin tuhoamiseen tarvittava osumamäärä ja
- sytytintyyppi sekä
- tulenjohtojärjestelmä.

Tulenjohtojärjestelmän huomioon ottaminen tuo arvosteluun mukaan tutkan ja/tai muun mittausvälineen kohinan, jonka merkitys voi olla osumatodennäköisyydelle positiivinenkin. Ballistisesta hajonnasta ja systemaattisesta virheestä johtuvien poikkeamien suhteen tulee olla suuruusluokkaa 1:2, kun systemaattinen virhe on suuri maalin kokoon verrattuna.¹⁾ Kuvassa 7 on mainittu ehto täytetty.

1) Baasch s 64



Kuva 7. Ballistinen hajonta systemaattisen virheen kentässä.

Mikäli yksi osunut ammus tuhoaa maalin suurella todennäköisyydellä, riittää ammunnan tavoitteeksi, että saadaan ainakin yksi osuma maaliin. Tällöin hajonnan on oltava sellainen, ettei systemaattinen virhe vie kaikkia laukauksia maalin ohi. Asetehtaavat esittävät mielellään tykkien hyvyyden kriteerinä pientä hajontaa. Näin päästään näytösammunnoissa erinomaisiin tuloksiin, kun valmistelut suoritetaan aikaa säästämättä ja huippuluokan ammattitaidolla. Isommalla ballistisella hajonnalla ei päästäisi koskaan em huipputuloksiin, mutta käytännössä useammin kohtalaisiin (ja samalla riittävän hyviin) tuloksiin.

Ammuksen lentoaika rajoittaa tehollista ampumaetäisyyttä, koska pitkä lentoaika

- antaa viholliselle paremmat väistämahdollisuudet,
- hidastaa tulitusrytmiä, mikäli tulta korjataan ja
- kasvattaa säätekijöiden ja lähtönopeuseron aiheuttamia virheitä.

Automaatti-ilmatorjunta-asejärjestelmillä tulisi rajoittua 7—8 sekunnin lentoaikoihin.¹⁾ Jos hyökkäävä kone suorittaa esimerkiksi viiden sekunnin aikana yhden g:n kaarron, poikkeaa nopeudella 200 m/s lentävän koneen sijainti yli 120 m siitä, mikä se olisi ollut suoran lennon jälkeen.

2.2.7. Tulenkorjausmenetelmä

Suuret lentonopeudet ja niiden mukana pienentyneet ampuma-ajat ovat vähentäneet ilma-ammunnan tulenkorjausmahdollisuuksia. Kuitenkin monissa tilanteissa voidaan nykyisinkin tulta tähyttää ja kor-

¹⁾ Malmberg haast

jata, mikäli vain asejärjestelmä sen sallii. Koska toistaiseksi ei voida tehdä tutkimustaukseen perustuvia havaintoja, on ainakin muutamissa ammuksissa oltava valokuuva. Havaintojen perusteella suuntaaja voi muuttaa tähtäyspistettä näkökentässään, mutta parempana on pidettävä järjestelmää, jossa suuntaaja on vapautettu korjaustoimista. Tällöin toinen henkilö suorittaa korjaamisen, ja suuntaaja vain tarkentaa tähtäyksen. Mittahavaintoihin perustuva tulen korjaaminen on tietysti tarkempaa kuin pelkkiin suuntahavaintoihin perustuva.

Koska valokuuva vie osan ammustaätteen tilasta, on valokuuvat jätetty pois sellaisten aseiden ammuksista, joilla tulen tarkkuus on niin suuri, ettei näköhavaintoihin perustuvia korjauksia kannata tehdä. Jonkinlainen mahdollisuus tulen osuvuuden ja ammunnan valmistelun kontrolloimiseen on kuitenkin oltava kaikilla asejärjestelmätyypeillä.

2.2.8. Vaatimukset käyttöhenkilöstölle

Tässä yhteydessä tarkastellaan ampumateknisten ratkaisujen asettamia vaatimuksia asejärjestelmän käyttäjille. Koska ei ole nähtävissä, että Suomessa siirryttäisiin palkka-armeijaan tai edes värvätyihin suuntaajiin, eivät koulutusvaatimukset saa ylittää tiettyä tasoa. Hieno ja ratkaisuiltaan täsmällinen järjestelmä ei ansaitse hyvää arvosanaa, jos yksikin tärkeä toimintavaihe on miehistölle liian vaikea.

Ammunnan valmistelun viimeistelty suoritus asettaa koko käyttöhenkilöstölle tarkkuus- ja huolellisuusvaatimuksia. Suureen osumatodennäköisyyteen pystyvä järjestelmä vaatii paremmat valmistelut kuin yksinkertainen asetyyppi. Helppokäyttöisyyden vaatimus onkin ristiriidassa tarkkuusvaatimusten kanssa. Ammunnan valmistelun työläys kannattaa kuitenkin tutkia, koska valmisteluvaatimukset saattavat muuten saman tasoilla asejärjestelmillä poiketa huomattavasti toisistaan. Ajateltakoonpa tavanomaista keskuslaskin-automaattijaosta ja vaunukohtaisin tulenjohtolaittein varustettua ilmatorjuntapanssarivauunua. Jälkimmäisen ammunnan valmistelusta jäävät pois mm suunnastaminen, kantojen mittaus ja kaapeliyhteyksien rakentaminen.

Suuntaajan työ ratkaisee useiden asejärjestelmien tehon. Kun varusmieskoulutuksen saanut suuntaaja pystyy pitämään tähtäimeen nähden kiinteän pisteen maalissa ja vielä laukaisemaan aseensa oikealla hetkellä, on suoritus riittävä. Jos suuntaaja joutuu vielä tähyttämään tulta ja korjaamaan sitä ja ehkä vielä tasoittamaan laskimen arvoja, tarvitaan pitempi koulutusaika.

Ammuntaa johtavien henkilöiden maalin liiketilan arviointitehtävät eivät saa olla liian vaikeita. Ammunnan onnistumisen todennäköisyys ei saa ratkaisevasti laskea arviointivaikeuksien takia verrattuna

järjestelmän teknisiin mahdollisuuksiin. Ainakin vaihtopiste-etäisyyden ja maalin nopeuden arvioimisesta olisi päästävä.

2.3. Asetekniset ominaisuudet

Asetekniset ratkaisut tulevat suurelta osalta otetuiksi huomioon ampuimateknisten ominaisuuksien arvostelussa. Tässä luvussa käsitellään muutamia yksityiskohtia, jotka joudutaan tutkimaan muiden arvostelukohderyhmien perustaksi. On muistettava, että jokin asetekninen ratkaisu voi olla hyvä ampuimateknisesti, mutta negatiivinen esimerkiksi huollon kannalta.

2.3.1. Varsinainen ase

Varsinaisen asean tärkeimmät arvostelukohteet ovat

- toimintaperiaate,
- tulinopeus ja
- toimintavarmuuteen uittuvat tekijät.

Toimintaperiaate ja rakenne antavat käsityksen asekonstruktion nykyaikaisuudesta. Ne antavat perusteita myös vertailun suorittamiselle tunnettuihin ja kokeiltuihin asetyyppeihin. Edelleen saadaan perusteita kenttäkelpoisuuden arvioimiselle; voidaan selvittää, onko ase kenttäoloissa huollettavissa. Toimintaperiaate antaa viitteitä myös hajonnasta, sillä asean paino ja rekyyliliikkeen laatu yhdessä vaikuttavat sarjan aikaisiin heilahteluihin. Maininnan arvoinen on Oerlikonin käyttämä systeemi, jossa liikkuvat osat eivät käy sarjan aikana ollenkaan etuasennossa. Näin ollen lavettiin kohdistuu sarjan kestäessä vain yhden suuntaista rasitusta, kun liikkuvat osat eivät "kolahda" eteen.

Tulinopeuden suhteen on pyrittävä vain yhteen päämäärään: sen maksimoimiseen.¹⁾ Suuren tulinopeuden seurauksena aseilla on oltava riittävä määrä vaihtoputkia. Vaihtotarve aiheutuu, paitsi putkien kuumenemisesta, myös kulumisen myötä kasvavasta ballistisesta hajonnasta.²⁾ Tulinopeuden yhteydessä on totuttu puhumaan erikseen käytännöllisestä ja teoreettisesta arvosta. Nykyiset ilmamaalit eivät ole minuuttikaupalla ammuttavissa, joten teoreettinen tulinopeus on juuri se arvo, mihin käytännössä sarjan aikana päästään. Käyttökelpoinen nimitys on ominaistulinopeus ja yksiköksi sopii hyvin SI-järjestelmään mukautuva "laukausta sekunnissa" (ls/s).

Asean toimintavarmuuteen vaikuttavat lähinnä sen

- yksinkertaisuus,
- rakenteelliset yksityiskohdat,

1) Brändli s 151

2) Brändli s 152

- sallitut toleranssit ja
- huollon tarve.

Luotettavuutta käsitellään tarkemmin kohdassa 2.4.4.

2.3.2 Tähtäin

Tämän hetken ilmatorjuntatykeissä käytetään optisia tähtäimiä ainakin rinnakkais- tai varajärjestelmissä. Tähtäimen hyvyden pääkriteereiksi voidaan nimetä

- maalin tähtäimeen saamisen varmuus,
- tähtäyksen tarkkuus,
- pinta-ammuntamahdollisuus tulenkorjausmenetelmiseen ja
- toimintamahdollisuus rajoitetulla näkyvyydellä.

Taulukossa 2 esitetään tähtäinlaitteen ominaisuuksien vaikutuksia asejärjestelmän käyttöön ilma- ja pinta-ammunnassa.

Tähtäimen ominaisuus	Mihin tekijöihin tähtäimen ominaisuudet vaikuttavat	
	ilma-ammunnassa	pinta-ammunnassa
Näkökentän laajuus	Maalin löytäminen Maalin kiinniotto Maalinvaihto	Maalin löytäminen
Kuvion selvyys		
Suurennekset	Tähtäyksen tarkkuus	Tarkkuus Ulottuvuus
Asteikot	—	Mittahavaintoihin perustuva tulenkorjaus
Valovoima Valaistus	Toimintamahdollisuudet hämärässä	

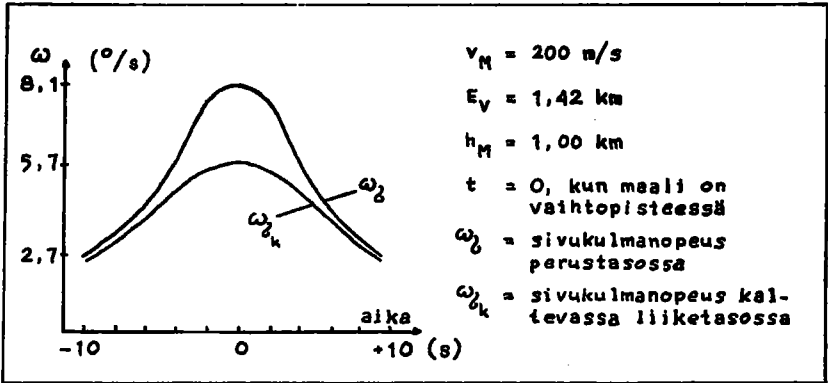
Taulukko 2. Tähtäimen ominaisuuksien vaikutus asejärjestelmän käyttöön.

2.3.3. Suuntausjärjestelmä

Suuntausjärjestelmän aseteknisillä ratkaisuilla voidaan toteuttaa seuraavia vaatimuksia:

- suuntaamisen helppous,
- sopivuus liikkuvan ja kiinteän maalin ammuntaan sekä
- varajärjestelmien käyttökelpoisuus.

Helpon suuntaamisen perusedellytys on suuntaajan vapauttaminen muista tehtävistä. Aseteknisten ratkaisujen ergonomiset seikat aiheuttavat selviä eroja eri järjestelmien välille. Esimerkkinä voidaan tarkastella sauvasuuntauksen helpottamismahdollisuuksia. Tykki kääntyy vaakatasossa pysty akselinsa ympäri. Sauvan liike voidaan tehdä kuitenkin verrannolliseksi kaltevaan sivukulmanopeuteen, olipa laskimen käyttämä koordinaatisto mikä tahansa. Kuvassa 8 on maalipisteen sivukulmanopeus perustasossa ja kaltevassa liiketasossa.



Kuva 8. Maalipisteen sivukulmanopeus perus- ja kaltevassa liiketasossa.

Kuvan 8 kulmanopeusarvot osoittavat selvän eron suuntaamisen vaikeusasteessa. Sauvan liikettä voidaan edelleen pienentää tekemällä sauvan kallistuskulman ja kulmanopeuden suhde muuttuvaksi.

Tähtäin ja suuntausjärjestelmä yhdessä vaikuttavat suuntausvirheeseen, jolla tarkoitetaan sitä eroa, joka on tähtäyssuunnan ja maalin todellisen suuntaviivan välillä.

2.3.4. Välitysjärjestelmä

Välitysjärjestelmällä tarkoitetaan aseyksikön sisäisen tiedon- ja datasiirron vaatimia yhteyksiä. Tiedonvälitystarve vaihtelee huomattavasti eri tyyppisillä asejärjestelmillä. Yhteystarpeen vähäisyys on luettava asejärjestelmälle eduksi. Liikkuva järjestelmä tarvitsee yksinkertaisen ja helposti korjattavan välitysjärjestelmän, koska kaapeleita ei aina ehditä suojaamaan. Yhteystarpeen minimoimiseen päästään asentamalla jokaiselle aseelle oma voimalaite ja tulenjohtojärjestelmä.

Useimmissa asejärjestelmissä tiedot siirretään kaapelien välityksellä. Tiedot syntyvät analogisina ja siinä muodossa niitä käytetään hyväksikin. Silti voidaan digitaalista tiedonsiirtoa pitää parempana kuin analogista. Vikaantumismahdollisuuksia tulee lisää, kun yhteyksien molempiin päihin tarvitaan tietovuon muuntimet. Kaapelien vaurioitumisen todennäköisyys vihollisen vaikutuksesta on kuitenkin niin suuri, että digitaalisyhteyksien edut ovat kiistämättömät; nehan vaativat vain halvan parikaapelin useiden tietojen yht'aikaiseen välittämiseen. Kaapeli on nopeasti uusittavissa ja varmentavia rinnakkaisyhteyksiä voidaan rakentaa vaivattomasti.

Nykyaikainen välitysjärjestelmä ei juuri aiheuta virheitä tiedonsiirrossa, mutta luotettavuustekijänä se on merkityksellinen. Välitysjärjestelmän luotettavuuden arvostelemiseksi on

- laskettava yhteysmäärät ja rinnakkaisyhteydet,
- selvitettävä toimintatapa (digitaalinen/analoginen),
- tutkittava suojaamis- ja korjaamismahdollisuudet sekä
- analysoitava varajärjestelmien käyttökelpoisuus.

2.3.5. Voimalaitteisto

Suurien kulmanopeuksien tarve on tehnyt moottorisuuntauksen välttämättömäksi. Samalla laskimien vaihtuminen sähköisiksi ja elektroniikaksi on aiheuttanut sähkövoiman tarpeen. Voimalaitetta arvosteltaessa onkin ensiksi selvitettävä, saadaanko siitä todella se hyöty, jota kohuudella voidaan edellyttää. Tämän lisäksi voimalaitteesta on arvosteltava

- sen käynnistyvyys ja toimintavarmuus,
 - saatava teho ja sen tasaisuus sekä
 - varajärjestelmien käyttökelpoisuus voimalaitteen vaurioituessa.
- Luotettavuuteen vaikuttavat lähinnä
- toimintaperiaate ja käyttövoima,
 - sijainti joko itse välineellä tai kaapelin päässä ja
 - kokeilujen perusteella määritetty vikaantumistodennäköisyys.
- Käytettävyyden tärkeimmät osatekijät ovat
- käynnistyvyys,
 - huollon tarve ja kenttähuoltomahdollisuudet sekä
 - todennäköisimpien vikojen korjausajat.

2.3.6. Ampumatarvikkeet

Ammuksen sytytin vaikuttaa sekä osuma- että tuhoamistodennäköisyyteen. Iskusytyttimen rajaiskukulma vaikuttaa maalin haavoittuvaan

pinta-alaan. Tämä ala kasvaa huomattavasti, kun käytetään herätesytytintä. Sytyttimen herkkyyks ja hidastusaika vaikuttavat ammuksen tehoon. Nykyisten iskusytytinammusten teho perustuu ensisijassa painevaikutukseen, joten ammuksen on tunkeuduttava sopivaan syvyyteen ennen räjähdystä. Tunkeutumissyvyys ei saisi riippua ammuksen nopeudesta, toisin sanoen ampumaetäisyydestä.

Herätesytyttimellä pystytään nykyään varustamaan jopa 35 mm kranaatit. Tosiasiassa kuitenkin pienen ammuksen sirpalevaikutus lentokoneeseen lienee hyvin pieni. Sen sijaan lentokoneesta lähetettäviä ohjuksia niillä kannattaa tulittaa. Lentokoneita ammuttaessa kannattaa mennä sirpalevaikutteisiin ammuksiin vasta raskailla aseilla.¹⁾

Eräiden koeammuntojen perusteella on iskusytytinkranaattien teho määriteltävissä. Lähtökohdaksi voidaan ottaa tieto, että keskinkertainen taistelukone tuhoutuu 95 % todennäköisyydellä yhdestä 35 mm Oerlikon-kranaatin osumasta.²⁾ Samoilla perusteilla on laskettu muutamille muille ammuksille seuraavat tuhoamistodennäköisyydet:

— 20 mm Oerlikon	$P_{\text{tuh}_1} = 0,3877$	$P_{\text{tuh}_1} =$ yhden osuman
— 23 mm venäläinen	$P_{\text{tuh}_1} = 0,3771$	tuhoamistoden-
— 30 mm Hispano	$P_{\text{tuh}_1} = 0,7045$	näköisyys

Maali: keskinkertainen
taistelukone

Räjähdysaineen suhteellinen määrä on uusissa ammuksissa suurempi kuin vanhemmissa, joiden teho perustui enemmän sirpalevaikutukseen.³⁾

Ampumatarvikevalikoiman tulee täyttää käyttötarkoituksen asettamat vaatimukset. Ilma-ammunnassa tarvitaan ainakin muutamia valokuova-ammuksia ammunnan virheiden paljastamiseksi. Valokuova-ammuksen lentoradan on vastattava mahdollisimman tarkasti muiden ammusten lentoratoja, jotta tulen korjauksille saadaan oikeat perusteet. Koska valokuovan palaminen muuttaa ammuksen massaa ja ammuksen kohdistuvaa alipainevastusta, voidaan lentoratojen vastaavuus todeta vain koeammunnoilla.

Pinta-ammuntaan tarvitaan sirpalekranaattien lisäksi panssariammuksia. Niilläkin on oltava sellainen lentorata, että voidaan käyttää sekaisin eri ammustyyppejä.

Kustannuslaskelmia varten on todettava myös harjoitus- ja paukkulaukausten olemassaolo ja käyttöarvo.

1) Malmberg haast
2) Malmberg haast
3) Malmberg haast

2.4. Käyttötekniset ominaisuudet

Käyttötekniisiin ominaisuuksiin luetaan käytön jatkuvuuteen, varmuuteen ja helppouteen liittyvät tekijät. Taisteluolosuhteissa voi vihollisella olla ratkaiseva vaikutus käyttövarmuuteen.

2.4.1. Huollon tarve

Asejärjestelmän huoltoajat vähentävät toimintavalmiusaikaa. Määräaikaishuollot voidaan sovittaa hiljaisen ilmatoiminnan, yleensä pimeään, ajaksi. Optiseen seurantaan perustuvien asejärjestelmien toimintavalmiutta huollot eivät siten varsinaisesti rajoita. Toisin on tutkaohjatuilla järjestelmillä. Joudutaan tutkimaan huoltamiseen kuluvat ajat ja toimintakeskeytysten laatu. Huolto voi keskeyttää vain jonkin osan (tykki) tai koko järjestelmän (tulenjohtolaite) toiminnan.

Lisäksi on arvosteltava tarkistushuoltojen määrä ennen ammuntaa, koska se vaikuttaa ammunnan valmistelun aikapituuteen ja sen kautta käytettävyyteen.

Huollon tarpeen arvostelukriteerinä voidaan pitää huoltojen aiheuttamaa keskimääräistä toimintakeskeytysaikaa.

2.4.2. Vikojen korjaaminen

Asejärjestelmän voittumistaajuus voidaan selvittää luotettavasti vain pitkäaikaisilla käyttökokeiluilla. Uusia järjestelmiä arvosteltaessa niitä on verrattava sellaisiin, joista jo on kokemusta. Tässäkin saattaa ilmetä vaikeuksia. Esimerkiksi 40 ItK/38:n varsinainen ase on koneistojensa monensuuntaisine liikeratoinen mutkikkaampi kuin 30 ItK/62, joka silti on ollut selvästi häiriöalttiimpi. Tulinopeuksien erokaan ei ole kysymyksen ratkaisu; onhan nopeakäyntinen 23 ItK/61 hyvin toimintavarma. Tuntemattoman konstruktion toimintavarmuutta on siis vaikea arvioida ilman kokeiluja.

Vikojen korjaamismahdollisuuksien selvittäminen on sen sijaan helpompaa. Arvostelun pohjaksi on selvitettävä

- millainen on varaosien ja vaihto-osakokonaisuuksien määrä,
- millaista korjausvoimaa aseyksikkö tarvitsee,
- millä edellytyksillä vikat voidaan korjata kenttäoloissa ja
- mikä on pahimpien vikojen vaikeusaste.

Kun voittumistaajuudella kerrotaan keskimääräinen korjausaika, saadaan vikojen aiheuttama keskimääräinen toimintakeskeytysaika.

2.4.3. Vihollisen vaikutuksen eliminoiminen

Ilmatorjunnallisesti hyvässäkin tapauksessa vihollinen voi vaurioittaa asejärjestelmää. Tarvitaan siis myös passiivisia suojautumiskeinoja, joita asemanvaihtojen lisäksi ovat

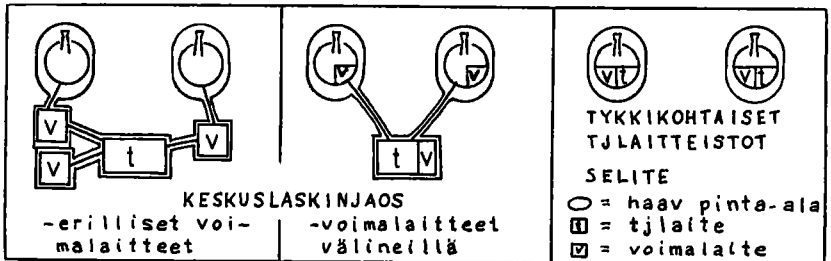
- välineiden panssarikilvet,
- häirinnän estolaitteet,
- poterot ja kaapelikanavat sekä
- maastouttaminen ja naamiointi ynnä valeasemat.

Jaoksen haavoittuva pinta-ala on eräs tärkeimmistä ominaisuuksista, kun arvioidaan vihollisen vaikutusmahdollisuuksia. Kuvassa 9 esitetään kolmen eri tyyppisen jaoksen haavoittuvat pinta-alat.

Aktiivisista suojautumiskeinoista tärkeimpiä ovat pitkä ampumatakyisyys ja pieni reaktioaika maalia vaihdettaessa. Eduksi on, jos t. yksikkö voi jakaa tulensa yht'aikaa useaan maaliin.

Mahdollisten vaurioiden tapahduttua asejärjestelmältä vaaditaan välittömästi käyttöön saatavia varamenetelmiä ja nopeasti asennettavia vaihtokomponenttiyksiköjä.

Edellä esitetyillä tekijöillä on vaikutusta, paitsi käytettävyyteen, koko asejärjestelmän olemassaoloon. Ilmatorjuntayksikön toimintakyvyn säilymistä on pidettävä yhtä tärkeänä kuin kohteen suojaamista. Ei voida ajatella, että tehtävä suoritettaisiin niin, että ilmatorjuntayksikkö tuhoutuisi kohteen "sijasta". Tämä ilmatorjuntavoimahan olisi pois seuraavien päivien ilmahyökkäysten torjunnasta.



Kuva 9. Eri tyyppisten ilmatorjuntajaosten haavoittuvia pinta-aloja.

2.4.4. Luotettavuus

Luotettavuudella tarkoitetaan todennäköisyyttä sille, että järjestelmä toimii määrätyn ajan, jos se toimintaa aloitettaessa on kunnossa.¹⁾

1) Forsström s 6

Luotettavuuteen vaikuttavat vioittumistaajuus ja toisaalta varajärjestelmien välitön käyttöön saaminen. Luotettavuusarvo saadaan, kun tunnetaan

- varsinaisten aseiden toimintavarmuus,
- laskimen luotettavuus varajärjestelmineen,
- suuntausjärjestelmän luotettavuus,
- voimansaannin varmuus ja
- muiden osajärjestelmien luotettavuus.

Luotettavuuden laskemiseen käytetään kaavaa:

$$R = \prod_{i=1}^n R_i, \text{ missä } R = \text{luotettavuus (Reliability),}$$

$$R_i = \text{osajärjestelmän luotettavuus ja}$$

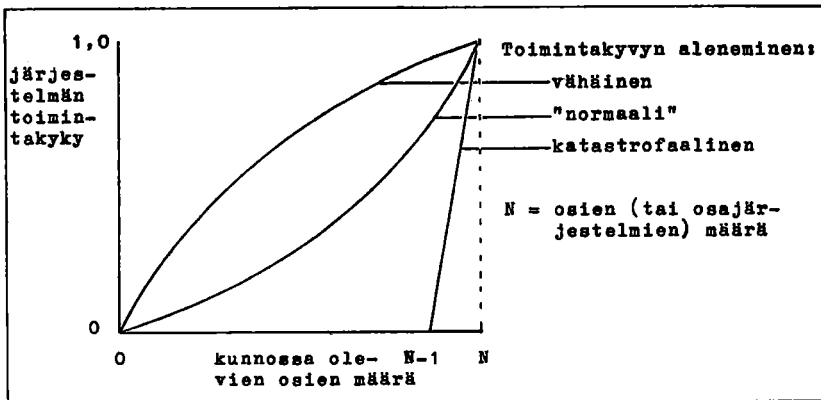
$$n = \text{osajärjestelmien lukumäärä.}$$

Jos jollakin osajärjestelmällä on varmentava rinnakkaisjärjestelmä, saadaan niiden yhteinen luotettavuus kaavasta:

$$R_1 = R_1 + R_2 - R_1 R_2$$

Kaavassa R_1 = varsinaisen osajärjestelmän luotettavuus ja
 R_2 = varmentavan osajärjestelmän luotettavuus.

Järjestelmän toimintakyky voi mennä jopa yhden osan vaurioituttua. Toinen järjestelmä saattaa säilyä toimintakuntoisena useamman osan ollessa käyttökeltottomana. Kuva 10 esittää järjestelmän tehon säilymistä vioittuneiden osien lukumäärän funktiona.



Kuva 10. Vioittuneiden osien vaikutus järjestelmän toimintakykyyn.¹⁾

1) Seiler s 55

Ilmatorjuntajaoksen toimintakyvyn säilymiselle on eduksi, kun jokin tykki pystyy mahdollisimman itsenäiseen toimintaan.

2.4.5. Käytettävyys

Asejärjestelmän käytettävyydellä tarkoitetaan todennäköisyyttä sille, että järjestelmä on käyttövalmiina silloin, kun sitä tarvitaan, ja se lasketaan seuraavasti:

$$A = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

A = käytettävyys (Availability)

MUT = keskimääräinen toiminta-aika
(Medium Up Time)

MDT = keskimääräinen keskeytysaika
(Medium Down Time)

Ilmatorjunta-aseiden toiminta-aikaan on luettava myös toimintavalmiudessa odottaminen.

Toimintakeskeytysaikoihin lasketaan

- sään ja valaistuksen aiheuttamat keskeytykset,
- ne huollot, joita ei tehdä em aikoina,
- vikojen korjausajat sekä
- järjestelmän käynnistykseen kuluvat ajat.

Sään ja valaistuksen aiheuttamia keskeytysaikoja ei voida laskea täysipainoisina, koska vihollisen lentotoimintakin tällöin rajoittuu.

Nykyiset käytettävyysarvot ovat liian optimistisia. Ne viat, jotka aseyksikön henkilöstö itse korjaa, jäävät monesti merkitsemättä vika-päiväkirjaan. Niitä ei siis pidetä oikeastaan vikoina, vaan merkityksettöminä "häiriöinä". Tositilanteessa kuitenkin pienikin vika voi saattaa koko asejärjestelmän olemassaolon kyseenalaiseksi.¹⁾

Luotettavuuden ja käytettävyuden tulona saadaan operatiivinen luotettavuus (R₀), joka ilmaisee, millä varmuudella järjestelmä on tarvittaessa kunnossa ja toimii ennalta määrätyn ajan.²⁾ Operatiivinen luotettavuus on siis juuri se tekijä, joka ilmaisee, millä varmuudella ampumatehtävä voidaan kaluston puolesta suorittaa. Se ei ota huomioon käyttäjien eikä vihollisen aiheuttamia keskeytyksiä.

2.5. Taktiset ominaisuudet

Tässä yhteydessä tarkastellaan asejärjestelmän niitä ominaisuuksia, jotka vaikuttavat järjestelmän taktisiin käyttömahdollisuuksiin: liikku-

1) Lohtaja -75

2) Forström s 6

vuutta, koulutustasovaatimuksia ja käyttökelpoisuutta erilaisiin tehtäviin.

2.5.1. Taktinen liikkuvuus

Ilmatorjunta-aseille ei riitä pelkästään hyvä viholliskoneitten alasampumiskyky. Vaaditaan, että tehtävää ollaan suorittamassa siellä, missä suojaa tarvitaan. Liikkuvuuden on oltava sopusoinnussa omien joukkojen liikkeiden, vihollisen toimintatapojen ja oman ilmatorjunta-voiman määrän kanssa.

Sopiva mittayksikkö liikkuvuudelle on asemanvaihtoon kuluva aika. Lähtökohdaksi on otettava toimintaolosuhdemallin mukainen matka, tiestö ja maasto. Asemanvaihtoaikaan sisältyvät asemasta lähtö, marssi, asemaanajo sekä ammunnan valmistelu. Linnoittamiseen kuluva aika voi muodostua ratkaisevaksi tekijäksi.

Marssi- ja asemaanajoaikoihin vaikuttavat välineiden ja vetäjien maasto- ja tieliikkuvuus. Tieliikkuvuus riippuu pääasiassa yhdistelmien teho-painosuhteesta. Maastoliikkuvuuteen vaikuttavat edellisen lisäksi vetojärjestelmä, pyörien pintapaine sekä kaluston ulottuvuudet, kääntösäteet ja maavarat.

2.5.2. Tulenaloitusvalmius

Kun asejärjestelmä on jatkuvasti valmiina aloittamaan tulen ilman viivytyksiä, voidaan se ryhmittää taktillisesti edullisiin paikkoihin. Rintamalinjan läheisyys tai suurehkot katveetkaan eivät estä aseiden tehokasta käyttöä. Tulenaloitusvalmiuteen vaikuttavat lähinnä

- asejärjestelmän käytettävyyssarvo,
- käynnistys- ja lämmitysajat sekä
- henkilöstön ja laitteiden (lähinnä laskimen) reaktioajat.

Valmius pinta-ammuntaan on myös huomion arvoinen. Mikä tahansa ilmatorjuntajoukko voi joutua ainakin maahanlaskuntorjunnassa pinta-ammuntaan. Tulenaloitusvalmiuden mittana voidaan pitää aikaa, joka keskimäärin kuluu tuliasemassa olevan yksikön hälyttämisestä tulen aloittamiseen.

2.5.3. Koulutusvaatimukset

Koulutuskysymysten liittäminen tehoanalyysiin johtuu siitä, että meidän oloissamme koulutuksen määrä on eräs lähtökohta, ja asejärjestelmän teho riippuu osaltaan siitä, miten tällä koulutusmäärällä voidaan asejärjestelmää käyttää.

Uusia aseita hankittaessa on selvitettävä koko tarvittavan henkilös-

tön koulutustasovaatimukset. Tärkein näkökohta on, että tarpeellinen koulutustaso voidaan varusmiesaikana saavuttaa. Erikoishenkilöstön koulutus on voitava järjestää siviilikoulutuksen pohjalle.

Toisena vaatimuksena voidaan esittää olemassa olevan reservin sopeuttaminen uudelle kalustolle. Hetkessähän ei uutta reserviä kouluteta. Aikaisemmin (2.2.8.) on käsitelty ampumateknisten ratkaisujen vaikutuksia käyttäjille asetettaviin vaatimuksiin.

Kolmas koulutukseen liittyvä taktinen vaatimus on eräiden asejärjestelmien sopivuus tarvittaessa oto-käyttöön. Etenkin keveintä kalustoa on pystyttävä käyttämään lyhyen pikakoulutuksen jälkeen.

2.5.4. Sopivuus erilaisiin tehtäviin

Tehoanalyysin avulla pyritään löytämään tiettyyn tehtävään parhaiten sopiva kalusto. Suomen olosuhteissa ei voida kuitenkaan hankkia riittävää kalustomäärää kaikille ilmatorjunnan sektoreille, vaan samaa kalustoa joudutaan käyttämään monenlaatuissa tehtävissä. Lisäksi kaupalliset ja huoltonäkökohdat puoltavat rajoitetussa tyyppi-valikoimassa pysymistä. Tehoanalyysin tuloksissa tulee näkyä positiivisena, mikäli asejärjestelmä täyttää useampien käyttöalueiden tai ilmatorjuntaluokkien vaatimukset.

2.6. Koko asejärjestelmän teho

2.6.1. Tehokkuuden osatekijät

Tehoanalyysin tulokseen edetään käsittelemällä edellä esitettyjä teknisiä ja taktisia ominaisuuksia ilmatorjuntatapahtuman ajallista kulkua noudatellen. Onnistunut torjunta edellyttää, että

- ilmatorjuntayksikkö on oikeassa paikassa,
- yksikkö on tulivalmiudessa tai saavuttaa sen nopeasti,
- yksikkö havaitsee maalin ja ryhtyy toimimaan sitä vastaan,
- maaliin saadaan osumia ja
- osumat tuhoavat maalin.

Kun maalina on muodostelma, on kolme viimeksi mainittua kohtaa pystyttävä toistamaan rajoitetun ajan puitteissa. Koko toiminta on vielä suoritettava ennen kuin vihollinen kykenee teholliseen tulitukseen. Tehoanalyysin arvostelukohteiden pääjako on edellä mainituilla perusteilla seuraava:

1. Toimintavalmius halutussa paikassa, jolla tarkoitetaan sitä, että kalusto on tulivalmiina siellä, missä sitä tarvitaan.

2. Tulittamismahdollisuudet; termillä tarkoitetaan sitä, miten monta sarjaa tai laukausta asejärjestelmä ehtii ampumaan tietyssä maalitilanteessa.

3. Osumatodennäköisyys, joka ilmaisee, mikä osa ammuksista osuu, tai, millä todennäköisyydellä saadaan ainakin 1, 2, . . . , n osua.

4. Tuhoamistodennäköisyys, joka ilmaisee todennäköisyyden, jolla osunut ammus tuhoaa maalin.

5. Tuhoutumistodennäköisyys, jolla tarkoitetaan sitä todennäköisyyttä, jolla maali putoaa tai korkeintaan pääsee korjauskelvottomana omalle lentokentälle.

Liitteessä 2 esitetään kaaviona arvostelukohteiden ryhmitys edellä mainittua jakoa käyttäen.

2.6.2. Tehollinen ampumaetäisyys

Tehollisella ampumaetäisyydellä tarkoitetaan tässä suurinta etäisyyttä, jolle kannattaa ampua, kun otetaan huomioon ammuskulutus ja toisaalta viholliselle tuotetut tappiot. Usein tosin ammutaan pitemmälekin, kun kriteerinä pidetään suojattavan kohteen säilymisen lisääntynyttä todennäköisyyttä.

Objektiivisia perusteita tehollisen ampumaetäisyyden määrittämiselle ei ole.¹⁾ Vaikuttavia tekijöitä on paljon ja niillä on keskinäisiä riippuvuussuhteita. Probleema onkin kaiketi ratkaistava asiantuntijalautakunnan antamia arvosanoja käsittelemällä. Tässä yhteydessä pyritään vain löytämään tehollisen ampumaetäisyyden osatekijät.

Yksikäsitteisiä rajoituksia ovat ammuksen itsetuhoutumisetäisyys ja laskimen suurimmat asetus- ja laskenta-arvot.

Osumatodennäköisyyden pieneneminen tietyn tason alle on eräs rajoittava tekijä. Sen tutkiminen pohjautuu ammunnan virheiden, maalin koon ja sytyttimen toimintatavan tuntemiseen. Lentoajan asettamia rajoituksia on käsitelty kohdassa 2.2.6. Huomattakoon, että tiettyä lentoaikaa vastaa eri aseilla erilainen etäisyys huolimatta saman suuruisesta lähtönopeudesta. Tämä johtuu ammuksien kaliiperien ja muoto-erojen eroista.

Maalinosoituksen ja tulenaloituksen välinen aika voi käytännössä rajoittaa ampumaetäisyyttä. Laskuperusteiksi on otettava maalianalyysin mukainen maali ja normaalit näköolosuhteet. Jos halutaan tulittaa kolmen kilometrin etäisyydelle nopeudella 200 m/s lähestyvää maalia (lento korkeus = 200 m), on maali saatava seurantaan jo 4,5 km etäisyydellä, jos ennakon laskenta-aika on 3 s ja lentoaika kolmeen kilometriin on 5 s. Suihkukoneen havaitsemistodennäköisyys kuitenkin las-

1) Malmberg haast

kee alle 50 % jo 3,5 km etäisyydellä.¹⁾

Jos asejärjestelmän tarkkuus perustuu ratkaisevasti tulen korjaamiseen, on otettava huomioon syvyyssnäkökyvyn asettamat rajoitukset. Valojuovatahystyksen maksimietäisyyksinä voidaan pitää Bofors-laskimella kahta kilometriä ja Galileo-laskimella 2,7 km.²⁾

Tehollisen ampumaetäisyyden periaatteellinen laskukaava on esitetyillä perusteilla seuraava:

$$E_{ten} = \text{MIN} \left\{ [E_{m-os} - (t_{re} + T_N) \cdot v_M], a \cdot E_{max}, E_{ituh}, \right. \\ \left. E \hat{=} (P_{os} = b \%), E \hat{=} (T_N = c s), E_{korj} \right\}, \text{ missä}$$

E_{teh} = tehollinen ampumaetäisyys,

E_{m-os} = maalinosoitusetäisyys,

t_{re} = reaktioaika maalinosoituksesta laukaisuun,

T_N = ammuksen lentoaika ennakkopisteeseen,

v_M = maalin nopeus,

a, b = arvostelulautakunnan määrittämät arvoja,

E_{max} = kantama,

E_{ituh} = ammuksen itsetuhoutumisetäisyys,

$E \hat{=} (P_{os} = b \%)$ = etäisyys, jolla osumatodennäköisyys on $b \%$,

c = arvostelulautakunnan määrittämä arvo, ehkä 5 s kevyelle, 8 s automaatti- ja 10 - 12 s raskaalle ilmatorjunnalle,

E_{korj} = tulenkorjausetäisyys.

2.6.3. Toimintavalmius halutussa paikassa

Ammunnan perusedellytys on, että aseet ovat tulivalmiina siellä, missä ammunnan pitää tapahtua. Taktisen liikkuvuuden ja toimintaolosuhdeanalyysin perusteella määritetään siirtojen aiheuttamat poistajat. Kun jäljelle jääneestä ajasta otetaan operatiivisen luotettavuuden ilmaisema osa, saadaan toimintavalmiusaika halutussa paikassa. Tämän ajan suhde kokonaisaikaan voidaan nimetä taktiseksi käytettävyydeksi:

$$A_{takt} = R_o \cdot \left(1 - \frac{f_{sii} \cdot t_{sii}}{t_{ktö}} \right)$$

Kaavassa A_{takt} = taktinen käytettävyys,

f_{sii} = siirtojen taajuus ($\frac{1}{d}$) eli siirtojen lukumäärä vuorokaudessa,

t_{sii} = siirtoon kuluva aika (h) ja

$t_{ktö}$ = vuorokautinen käyttöaika ($\frac{h}{d}$).

1) Lundesgaard s 119

2) Malmberg haast

2.6.4. Tulittamismahdollisuudet

Asejärjestelmän tulittamismahdollisuudet riippuvat maali-tilanteesta, tehollisesta ampumaetäisyydestä, suuntausominaisuuksista ja tulitusrytmistä. Maalianalyysin perusteella määritetään aika, jonka maali on näkyvissä tehollisen ampumaetäisyyden ja vaihtopisteen välillä. Tästä ajasta vähennetään maalinosoituksen vaatima aika, mikäli sitä ei ehditä suorittaa ennen maalin tuloa teholliselle ampumaetäisyydelle. Edelleen vähennetään seurantakatveisiin kuuluva aika. Kun jäljelle jäänyt aika jaetaan tulitusrytmillä, saadaan ammuttavien sarjojen lukumäärä.

Muodostelmaa tulitettaessa on otettava huomioon maalinvaihtoihin kuluvat ajat. Toisaalta muodostelman ensimmäisen ja viimeisen koneen välimatka suo lisää tulitusaikaa. Maalinvaihtoperusteet on esitetty liitteessä 3.

2.6.5. Osumatodennäköisyys

Osumatodennäköisyyteen vaikuttavat

- ammunnan systemaattiset ja satunnaiset virheet,
- ballistinen hajonta ja
- maalin koko, muoto, etäisyys ja liiketila.

Systemaattisten ja suuntausvirheiden paljastamiseen voidaan käyttää aseeseen kiinnitettyä elokuvakameraa tai varsinaisia ammunnan tarkkailulaitteita. Eräässä automaattijaoksen tarkkailuun sopivassa järjestelmässä suunnataan lasersäde maaliin ja "osumat" rekisteröidään. Jos virheitä ei päästä mittaamaan, on tutkittava erikseen

- asetusarvojen ja ennakonlaskennan tarkkuus,
- mittausvälineiden tarkkuus ja
- välitys- ja synkrojärjestelmien todennäköiset virheet.

Jos ballistista hajontaa ei päästä mittaamaan, on arviointi suoritettava vertailemalla tunnettuihin asetyyppeihin. Vertailun pohjaksi otetaan tällöin

- ammuksen lähtö- ja pyörimisnopeus,
- ammuksen muotokerroin,
- aseiden paino ja ballistan tuenta sekä
- rekyyliliikkeen laatu (vrt kohta 2.3.1.).

Jos eri virheiden todennäköisyysjakautumat tunnetaan, voidaan osumatodennäköisyys määrittää laskennallisesti. Suljetussa muodossa se on vaikeata, joten edullisinta lienee simulointimenetelmän käyttäminen. Kun tietokoneeseen syötetään maalin mitat ja liike sekä ammuttujen sarjojen ja laukausten lukumäärät ja vielä eri hajontojen tunnusluvut, saadaan simuloinnin tuloksena osumatodennäköisyys.

2.6.6. Tuhoamistodennäköisyys

Yhden osuneen ammuksen tuhoamistodennäköisyyttä on käsitelty kohdassa 2.3.6. Kun yhden osuman tuhoamistodennäköisyys tunnetaan, saadaan usean osuman tuhoamistodennäköisyys seuraavasta kaavasta.¹⁾

$$P_{\text{tuh}_n} = 1 - (1 - P_{\text{tuh}_1})^{\frac{n^2 + 3n}{4}}, \quad \text{kun } n \geq 2$$

Kaavassa P_{tuh_n} = n osuman tuhoamistodennäköisyys ja
 n = osumien lukumäärä.

Se, että eksponentti ei ole $= n$, johtuu osumien kumulatiivisen vaikutuksen huomioon ottamisesta. Toisin sanoen yksi osuma voi vaurioittaa konetta, toinen vaurioittaa lisää, ja tuloksena kone tuhoutuu, vaikka kumpikaan osuma sinällään ei ole tuhoava.

2.6.7. Yksityisen maalin tuhoutumistodennäköisyys

Maalin tuhoutumistodennäköisyys saadaan, kun osumatodennäköisyydellä kerrotaan tuhoamistodennäköisyys. Yhdellä sarjalla saavutettavan tuhoutumistodennäköisyyden kaava²⁾ on näin ollen:

$$P_{\text{tnt}_m} = \sum_{n=1}^m (P_{\text{tuh}_n} \cdot P_{\text{os}_n}), \quad \text{missä } P_{\text{tnt}} = \text{tuhoutumistodennäköisyys,}$$

n = osumien määrä ja
 m = sarjan laukausmäärä.

Kaavaa silmäilemällä havaitaan, että $n:n$ kasvaessa P_{tuh} lähenee ykköstä, mutta P_{os} pienenee samalla jyrkästi. Ilman tietokonetta kaavan käsittely on lähes ylivoimainen tehtävä.

2.6.8. Tuhoutumistodennäköisyys muodostelmasta

Muodostelman tulittaminen edellyttää nopeita maalinvaihtoja ja lyhyitä tulitusaikoja yhtä maalia kohti. Eduksi on, jos ampuvan yksikön tuli voidaan jakaa useaan maaliin ainakin niillä aseilla, joiden ammuksen tuhoamistodennäköisyys on lähes 1,0. Silloinhan tulen keskitämisellä ei saavuteta selviä etuja.

1) Malmberg s 27
 2) Malmberg s 50

Jos vertailltavilla asejärjestelmillä olisi sama tulenaloitusetäisyys ja sama tulitusrytmi, riittäisi yksityisen maalin tuhoutumistodennäköisyyden tutkiminen. Kun mainituissa tekijöissä on kuitenkin selviä eroja on määritettävä, miten useata maalia ehditään tulittamaan. Tulitettavien koneiden määrä saadaan, kun maalianalyysin mukaisen muodostelman ilmatorjunnan vaikutusalueella oloaika jaetaan tulitusrytmillä, jossa on otettu maalinvaihtoajat huomioon. Laskemalla yhteen jokaisen tulitetun maalin tuhoutumistodennäköisyys saadaan muodostelmasta todennäköisesti tuhoutuvien maalien lukumäärä.

Osan koneista toimiessa ilmatorjuntaa vastaan saattavat laskurusteet muuttua omien tappioiden seurauksena.

2.6.9. Teholuku

Tuhoutumistodennäköisyys muodostelmasta antaa jo hyvän kuvan ilmatorjunta-asejärjestelmän tehosta. Jotta myös käytötekniset ja taktiset ominaisuudet pääsevät vaikuttamaan, on tuhoutumistodennäköisyysarvo kerrottava taktisella käytettävyydellä. Ilmatorjunta-tehtävän onnistumisen odotusarvoksi saadaan:

$$P_{it} = A_{takt} \cdot \sum_{i=1}^k P_{tht_i}$$

P_{it} = ilmatorjunta-tehtävän onnistumisen todennäköisyys,
 P_{tht_i} = i:n sarjan aiheuttama tuhoutumistodennäköisyys,
 k = amuttujen sarjojen lukumäärä (samaa tai eri maaleihin).

Kun saatuun lukuun vielä lisätään pinta-ammunnan merkitsevyydellä painotettu suora-ammuntakyky, voidaan jo puhua ilmatorjunta-asejärjestelmän lopullisesta teholuovusta:

$Teh = P_{it} + d \cdot p\text{-amm}$, missä Teh = teholuku,
 d = pinta-ammunnan tärkeyden painokerroin (esim pinta-ammunnan osuus kaikesta ampumatoiminnasta) ja
 $p\text{-amm}$ = pinta-ammunnan tehokkuus (esim $A_{takt} \cdot \text{tulivoima}$).

Teholuvun tärkein kriteeri on siis ilmamaalien tuhoutumistodennäköisyys, johon lisätään pinta-ammunnasta saatava hyöty.

3. TEHOANALYYSIN SUORITUS

3.1. Hankintaorganisaatio

Aseita hankittaessa on syytä toteuttaa projektiorganisaation periaatetta. Hankintojen suunnitteluun ja toteuttamiseen on määrättävä elin, hankintalautakunta, johon tulee kuulua ainakin operatiivis-taktisia, ase- ja ampumatekniikan, matematiikan ja kustannuslaskennan asiantuntijoita. Hankintalautakunnasta voidaan edellyttää seuraavaa:

- se on muodollisesti itsenäinen,
- sen arvostelun kohteina on joukko kilpailevia ehdotuksia,
- työnsä tuloksena se pyrkii saamaan arvostelukohteet paremmuusjärjestykseen ja
- jokaisen osakohteen arvostelu lautakunnassa tapahtuu erillisinä¹⁾.

Kun aseita hankitaan esimerkiksi jalkaväen käyttöön, on lautakunnassa oltava ko aselajin edustaja mm kenttäkelpoisuusvaatimusten yksilöimiseksi.

Lautakunnan toimintaa käynnistettäessä sille on informoitava

- hankintaan johtanut ilmatorjuntavoiman tarve,
- hankittavien asejärjestelmien tuleva käyttöalue,
- hankintaa koskevat (mm taloudelliset) rajoitukset sekä
- arvostelu- ja vertailujärjestelmän perusteet.

Viimeksi mainitun kohdan yhteydessä hankintalautakunnalle selvitetään myös tehoanalyysin perusteet.

3.2. Ilmatorjunta-asejärjestelmien vertailu

3.2.1 Vertailukelpoisuus

Moderni ilmatorjuntakonekivääri saattaa olla joissakin tapauksissa yhtä hyvä ase kuin vanha, pienikaliiperinen tykki. Eri tyyppisiä ilmatorjunta-aseita käytetäänkin osittain samoihin tehtäviin. Tiettyyn tarkoitukseen ei siis välttämättä hankita jotakin määrättyä asetyyppeä. Asejärjestelmien vertailuryhmiä ei näin ollen voida muodostaa asetyypin perusteella; parempi on verrata tiettyyn tehtäväalueeseen sopivia aseita keskenään.

Meillä käytössä oleva ilmatorjunnan käyttöaluejako tuntee seuraavat torjuntaluokat:

- lähitorjunta (etäisyys alle 2 km, korkeus alle 1 km),
- kohdetorjunta (etäisyys 2—10 km, korkeus 1—5 km),

¹⁾ Tanskanen s 5

- aluetorjunta (etäisyys 10—100 km, korkeus 5—20 km) ja
- kaukotorjunta (etäisyys yli 100 km, korkeus yli 20 km)¹⁾.

Lähtörjunta käsittää mm jalkaväen ilmatorjunnan ja ajoneuvo-kohtaisen ilmatorjunnan. Niiden liikkuvuusvaatimukset poikkeavat selvästi muihin lähtörjunta-aseisiin verrattaessa. Mainitut ryhmät onkin syytä erottaa itsenäisiksi vertailuryhmiksi. Aseiden rajoitetun ryhmittymismahdollisuuden takia myös laivaston ilmatorjunta on pidettävä erillisenä vertailuryhmänä. Rannikkotykistön ilmatorjunta on lähes vastaavassa asemassa. Panssarijoukkojen ilmatorjunta-aseistus voidaan punnita kohdetorjunnan kriteerien mukaan, kunhan liikkuvuudelle annetaan tarpeellinen paino. Vaunukohtaiset ilmatorjunta-aseet sisältyvät ajoneuvokohtaisiin aseisiin. Näin päädytään seuraavaan vertailuryhmäjakoon:

1. Ajoneuvo-kohtaiset ilmatorjunta-aseet
2. Jalkaväen ilmatorjunta-aseet
3. Lähtörjunta-aseet (muut kuin edelliset)
4. Kohdetorjunta-aseet
5. Laivaston ilmatorjunta-aseet

Perustana käyttöalueen määrittämiselle on ylemmän johdon esittämä ilmatorjunnan tarve. Sen avulla määritetään, minkä vertailuryhmän kriteerien mukaan teho analysoidaan. Jos järjestelmä sopii myös muille alueille, analysoidaan tehokkuus vastaavasti toisten vaatimusten mukaan ja erikseen harkitaan, mikä paino soveltuvuudelle muihin tehtäviin annetaan.

3.2.2. Vertailuperusteita

Ajoneuvo-kohtaiset ilmatorjunta-aseet ovat aina oikeassa paikassa. Niiltä ei vaadita liikkuvuutta, mutta asennuskelpoisuus siviiliautoon on tarpeellinen. Ajoneuvo on lentokoneelle pistemaali, joten tulenaloitusetäisyys ei ole kovin suuri. Helposti se kuitenkin ylittää konekiväärin tehollisen ampumaetäisyyden. Teholuvun tärkeimmät kriteerit ovat tulenaloitusnopeus, ampumaetäisyys ja sopivuus pinta-ammuntaan. Tuhoutumistodennäköisyysarvona on yksityisen maalin tuhoutumisen todennäköisyys riittävä.

Jalkaväen ilmatorjuntavoima joutuu liikkumaan samoissa olosuhteissa kuin joukkokin, jolloin tehokkuus riippuu huomattavasti aseiden liikkuvuudesta. Myös kenttäkelpoisuus ja käytön helppous ovat merkityksellisiä. Jalkaväen ilmatorjunta-aseet saattavat joutua pinta-ammuntoihin useammin kuin muut lähtörjunta-aseet. Ammuksilta on siis vaadittava ainakin miehistönkuljetusvaunujen panssarin läpäisyä. Jalkaväen ilmatorjunta-aseita vertailtaessa on

1) Raatikainen s 206

- liikkuvuudelle ja kenttäkelpoisuudelle annettava painoa,
- pinta-ampumamahdollisuuksia painotettava enemmän kuin muilla käyttöalueilla ja
- tulivoimasta ehkä tingittävä edellisten hyväksi.

Tuhoutumistodennäköisyysarvona voidaan edelleen käyttää yksityisen maalin tapausta.

Muun lähitorjunnan asejärjestelmien vertailun tärkein kriteeri on tuhoutumistodennäköisyys muodostelmasta. Tällöin ratkaisee paljon se, montaako maalia ehditään tulittaa, jolloin on tutkittava

- tulen ulottuvuus (tehollinen ampumaetäisyys),
- maalinosoitusajat ja
- tulitusrytmi maalinvaihtoaikoinen.

Myös toimintavalmiudelle on asetettava korkeat vaatimukset

Kohdetorjunta-aseita vertailtaessa pitkä tehollinen ampumaetäisyys on eräs tärkeimmistä vaatimuksista ainakin niin kauan kuin ilmatorjuntaohjuksia ei ole käytettävissä. Suuret ampumaetäisyydet edellyttävät tarkkuuden lisäksi tehokkaita ammuksia. Etäisyyden myötä kasvavat mm säätekijöiden aiheuttamat virheet ja useiden osumien saaminen tulee epätodennäköiseksi, joten yksityisellä ammuksella on oltava suuri tuhoamistodennäköisyys.

Lähitorjunnan asejärjestelmiin verrattuna voidaan liikkuvuus- ja pinta-ammuntavaatimuksista tinkiä.

Panssarijoukkoja suojaavan ilmatorjunnan ryhmitysalue on usein suojattavan kohteen takana. Kun vihollinen yleensä hyökkää omalta alueeltaan lähestyen, on ilmatorjunta-aseiden teholliselle ampumaetäisyydelle asetettava tässä tapauksessa erityisen suuret vaatimukset.

Laivaston ilmatorjunta-aseita ei voida ryhmittää kohteen ulkopuolelle vihollisen tulosuuntaan, joten maalit ovat usein kohti syöksyviä. Tarkan ennakon vaatimus ei tällöin ole ratkaisevan tärkeä, vaan pikemminkin on korostettava riittävää ampumaetäisyyttä.

Merellä maalit voidaan pienistä katveista johtuen havaita ajoissa, jolloin ennakonmäärityksen nopeudelle ei tarvitse panna paljoa painoa. Liikkuvuusvaatimukset jäävät kokonaan pois, ja pinta-ampumatilanteetkin ovat harvinaisia.

Saman suuntaisia vaatimuksia on asetettava rannikkotyökistön ilmatorjunnalle. Maahanlaskuntorjuntakyky on kuitenkin olennainen lisävaatimus.

3.3. Toimintaolosuhde- ja maalianalyysi

Ilma-ammunnan tehon laskennolliseksi määrittämiseksi on tunnettava tilanne, jossa toimitaan sekä vihollisen laatu. Toimintaolosuhteet vaikuttavat mm siirtojen tarpeeseen ja pinta-ammuntavaati-

muksiin. Toimintaolosuhdemalli luodaan rauhan aikana pitäen lähtökohtana omien kohteiden suojan tarvetta, niiden liikkuvuutta ja sijoittumista erilaisiin maastoihin. Toimintaolosuhteisiin vaikuttavat myös oma hävittäjätorjunta sekä ohjusilmatorjunta.

Maalianalyysiä varten arvioidaan mahdollisen vihollisen laatu ja Suomen osuus koko sodankäynnissä. Näin saadaan arvio alueellemme suuntautuvien ilmavoimien laadusta ja määrästä. Parhaat viitteet ilmavoimien käyttötapoihin saadaan viimeaikoina käydyistä sodista. Organisaatioiden, johtamisjärjestelmien ja tukeutumismahdollisuuksien perusteella arvioidaan

- vihollisilmavoimien aluettamme vastaan suunnatut osat,
- toimintataajuus ja toiminta huonolla näkyvyydellä,
- muodostelmien koko, lähestymis- ja hyökkäystavat sekä
- todennäköiset konetyypit ja niiden haavoittuvuus.

3.4. Painokertoimien ja arvosanojen määrittäminen

Tehoanalyysin monet mittausarvot ja kokeilutulokset ovat yksikäsitteisiä. Vaikeampaa on arviointien varassa olevien arvostelukohdeiden puolueeton arvosteleminen. Eri tekijöiden keskinäisen riippuvuuden ja painotusarvojen objektiivinen määrittäminen ei käy ilman riittävän suurta arvostelulautakuntaa. Silloinhan mikään yksityinen ennakkonäkemyks ei pääse vaikuttamaan liian suurella painolla. Lautakunnan arvostelun johdettuun suorittamiseen tarvitaan selväpiirteinen arvostelujärjestelmä.

Informaation mittaamisen tavoitteena on absoluuttisten arvosanojen määrittäminen. Vaikka asejärjestelmien paremmuusjärjestykseen saaminen saattaa riittää, on osakohteille silti annettava välimatka-asteikkoja noudattavat arvot.

Mitattavia ominaisuuksia ovat ne, joista saadaan yksiselitteinen numerollinen informaatio. Jotkin tiedot saadaan riittävällä varmuudella suoraan tehtaan esitteistä. Osa on mitattava itse tai määritettävä kokeilemalla. Oman aselaboratorion tarve on tällöin ilmeinen. Mittayksiköt valitaan siten, että yksityisten tekijöiden arvostelussa huomataan merkittävät erot, mutta mitättömien erojen kanssa ei tarvitse haaskata aikaa.

Arvosuureiden määrä ei saa nousta kovin suureksi verrattuna mittausarvojen määrään. Erityisesti on varottava tilanteita, joissa arvioitu ominaisuus vielä painotetaan arvionvaraisesti.

Hankintalautakunnan jäsenet antavat asejärjestelmän ominaisuuksien merkittävyydelle painokertoimet. Näistä suurin ja pienin jätetään pois ja muista lasketaan keskiarvo. Se on lopullinen painokerroin.

Muitakin laskualgoritmeja voidaan käyttää, mutta edellä esitetty on omiaan karsimaan liian jyrkkiä arvosteluja. Eri ominaisuuksien arvosanat määritetään vastaavalla tavalla, mutta ei samalla kertaa painokertoimien kanssa. Monia tekijöitä ei tarvitse erikseen painottaa. Maali- ja toimintaolosuhdeanalyysi painottavat jo sinällään esimerkiksi liikkuvuuden merkitystä.

TIIVISTELMÄ

Ilmatorjunta-asejärjestelmän tehokkuutta ei voida mitata pelkillä ampumatuloksilla. Tässä esityksessä on tehon mitaksi otettu koko sen toiminnan onnistuminen, jota suoritetaan kohteiden suojaamiseksi. Tehoanalyysissä tutkitaan onko asejärjestelmä tarvittaessa oikeassa paikassa käyttökunnossa, ehtiikö se ampua, osutaanko ja tuhoavatko osumat maalin.

Useita tehoon vaikuttavia tekijöitä on käsitelty eri tutkimuksissa, mutta asejärjestelmää kokonaisuutena tutkittaessa ei yksityisten ominaisuuksien suhteen voida aina pyrkiä parhaaseen ratkaisuun.

Kaikkien ilmatorjunta-asejärjestelmien tärkein vaatimus on viholliskoneiden pudottaminen. Kaikki ilmatorjunta-aseet eivät silti ole samojen asteikkojen mukaan vertailtavissa. Muun muassa ryhmitysmahdollisuuksien ja liikkuvuusvaatimusten perusteella on päädytty seuraaviin vertailuryhmiin: ajoneuvokohtaiset, jalkaväen, muun lähitorjunnan, kohdetorjunnan ja laivaston ilmatorjunta-aseet. Tehoanalyysi suoritetaan kunkin vertailuryhmän erityisvaatimusten mukaan. Jos jokin asetyyppi soveltuu useammalle kuin yhdelle käyttöalueelle, analysoidaan teho muidenkin vertailuryhmien kriteerien mukaan. Käyttökelpoisuus toisille käyttöalueille painotetaan sen mukaan, miten todennäköisesti aseita joudutaan käyttämään näissä tehtävissä.

Tehoanalyysin lähtökohdaksi luodaan kuhunkin vertailuryhmään sopiva fiktiivinen ilmatorjuntatilanne toimintaolosuhde- ja maalianalyysien tuloksena. Asejärjestelmän ominaisuuksien perusteella laskeaan se tuhoavaikutus, joka maalimuodostelmalle todennäköisesti kyettään aiheuttamaan. Kun siihen vielä lisätään pinta-ammunnasta saatava hyöty, ollaan päästy lopulliseen tehokuun.

Tässä esityksessä ei ole päästy lopulliseen vertailujärjestelmään, vaan on jouduttu rajoittumaan vain niiden perusteitten esittämiseen, joiden pohjalta yksityiskohtaisempi tehoanalyysi rakennetaan.

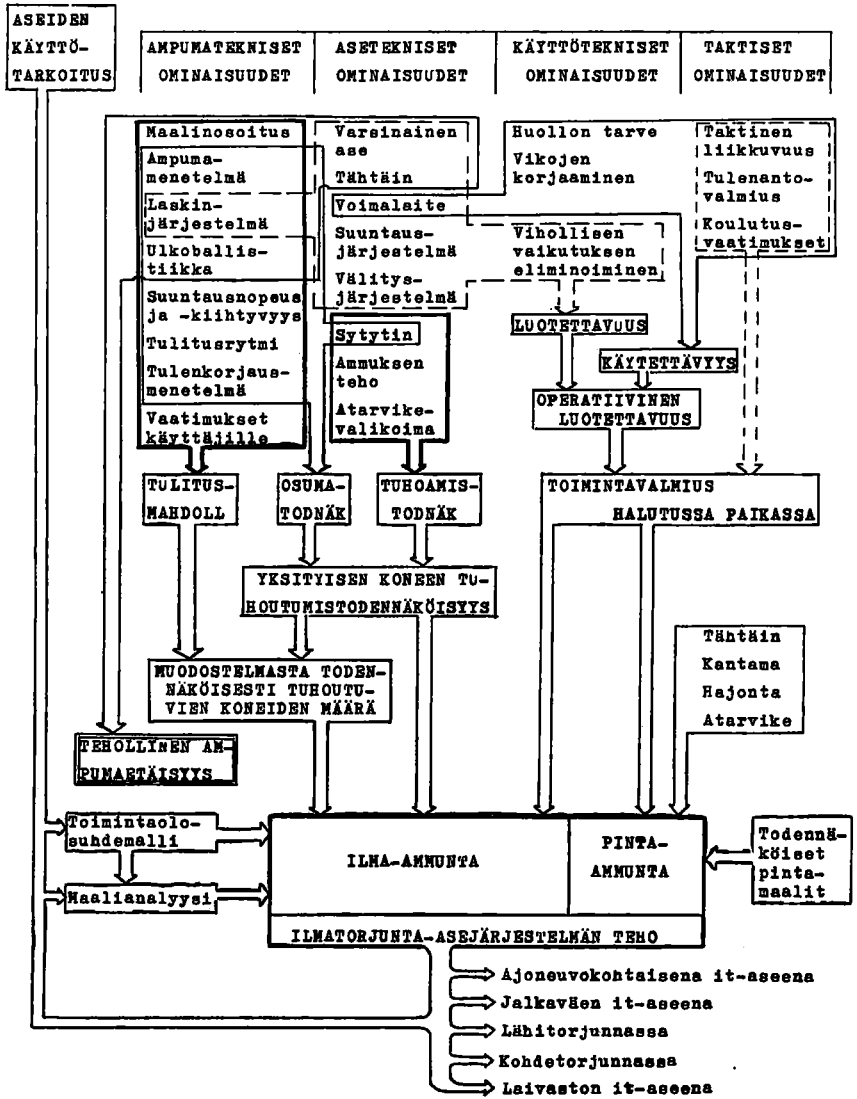
Jatkotutkimusten olennainen kohde tulee olemaan kustannustekijöitten selvittely, jolloin päästään varsinaiseen kustannus-tehokkuusanalyysiin. Voidaan myös tutkia tehoanalyysin soveltuvuutta jo hankittujen asejärjestelmien tehon kohottamiskeinoja etsittäessä.

Liite 1

ERÄIDEN SYRKILASKIETEN
ENNAKOITAMÄÄRITYSPERUSTEET

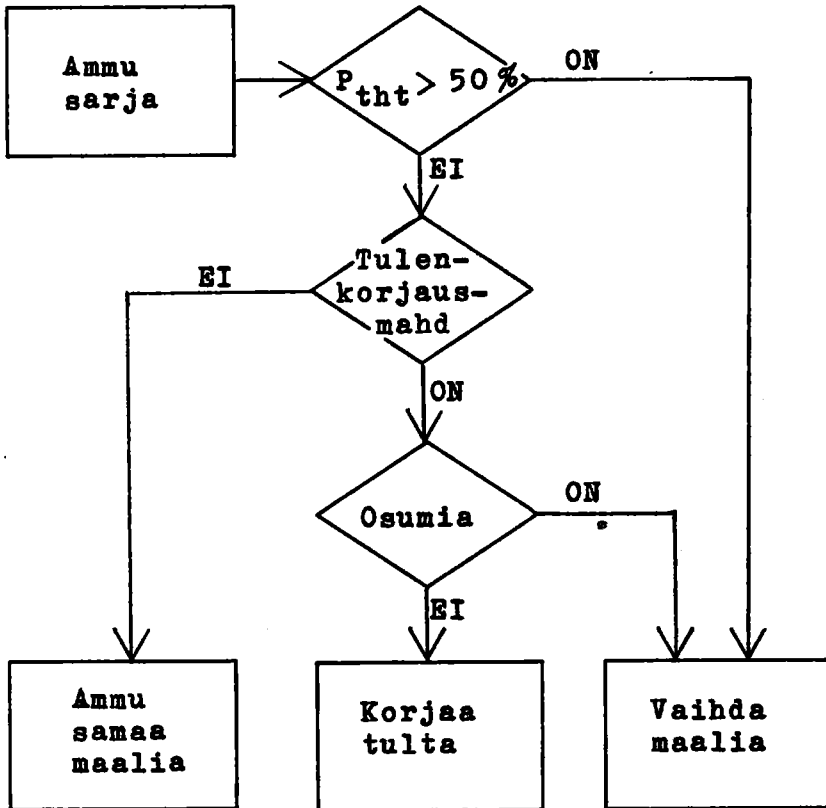
LASKIN	Bofors (vanha)	Galileo	Falcon	BOFI (Bofors)	Ruom
Mitta- suureet	(- maalin etäi- syytä alkuperäi- sällä ampumase- netelmällä)	- maalipisteen kulmanopeudet	- maalipisteen kulmanopeudet	- maalin etäi- syytä (Laser) - maalipisteen kulmanopeudet	Maalipisteen sivu- ja korkeuskuina mitataan jokaisella järjestel- mällä suuntamalla tähän maaliin.
Arvio- suureet	- maalin nopeus - maalin etäi- syytä (vakio) - liikesuunta	- maalin nopeus - vaihtopisteen etäisyys	- tulenalottus- etäisyys		
Mihin arviointi- virheet vaikuttavat	- ennakon suu- ruuteen - ennakkovekto- rin suuntaan	- ennakon suu- ruuteen	- tarkaa tulen alua voi jättää khyttämättä		Housukulman osuutta ei ole khyttely.
Mitä tulen tarkkuudesta voidaan sanoa	- ei varmuutta tulen saamisesta maalin reitille - tuli on tark- kaa parhaimmil- laankin vain yh- dessä lautoroi- tin pisteessä	- tuli saadaan suurella varmuu- della maalin rei- tille (nousukul- manvirhe voi es- tää)	- tuli saadaan suurella varmuu- della maalin reitille - tuli on suu- rella varmuudel- la tarkkaa yhde- ssä lautoroi- tin pisteessä, ei koskaan koko rei- tillä	- järjestelmä on ratkaisultaan eksaktinen	
Ruom	Perustana Suo- messä khytet- tävä ampumase- netelmä.		Tuli pyrittiin avauttamaan ennen tarkan tulen pistettä ja lop- pettamaan sen jälkeen.		

TEHOANALYYSIN KULKUKAAVIO



Liite 3

MAALINVAIHTOPERUSTEET
LENTOMUODOSTELMAA
TULITETTAESSA



LÄHTEET

Kirjallisuus

- Brändli, H: Treffwahrscheinlichkeit und Autokorrelationsfunktionen, Basel, Birkhäuser Verlag, 1970.
- Morse, P M & Kimball, G E: Methods of Operation Research, Lontoo, Chapman & Hall Ltd, 1956.
- Niiranen, T: Lähi-ilmatorjunnan ampumamenetelmistä ja siinä käytetyistä tykkilaskimista ja suuntaimista, Ilmatorjunnan vuosikirja 1968.
- Raatikainen, V: Ilmatorjunta tänään ja huomenna, Ilmatorjunnan vuosikirja 1975—76.
- Seiler, K: Introduction to Systems Cost-Effectiveness, New York, Wiley-Interscience, 1969.

Aikakauslehdet

- Baasch, H: Überlegungen zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Flabwaffensystemen in Hinblick auf die Erfüllung der militärischen Forderungen, Flugwehr und -Technik n:o 3/1973.
- Lundesgaard, L: Lufttrommet over stridfeltet, Norsk Artilleri-Tidskrift n:o 4/1966.

Julkaisemattomat lähteet

- Forsström, N-A: Luotettavuusteorian luentorunko (SKK).
- Malmborg, K: Ilmatorjunta-aseiden optimaalisista ampumamenetelmistä.
- Pääsikunta, Ilmatorjuntateknillinen toimisto: 30 ItK/HS 831-L/661:n kokeilukertomus, 24. 10. 61.
- Tanskanen, S: Aseanalyysin perusteet ja vertailujärjestelmän luominen, SKK:n diplomityö v 1973.

Haastattelut

- Malmborg, K, filosofian maisteri: Ilmatorjunta-ammusten ulkomaiset tehokokeilut, Tehollinen ampumaetäisyys ilma-ammunnassa.
- Tutkimus ja haastatteluja Ilmatorjunta-ampumaleiri 1/75:llä: Vikakirjanpidon luotettavuus.