

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

**KENTTÄTYKISTÖN ERIKOISAMPUMATARVIKKEIDEN KÄYTTÖ SUOMALAISISSA
OLOSUHTEISSA**

Pro gradu-tutkielma

Kadetti
Camilla Maunu

Kadettikurssi 89
Maavoimalinja

Helmikuu 2006

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi 89. Kadettikurssi	Linja Maavoimalinja
Tekijä Kadetti Camilla Maunu	
Tutkielman nimi KENTTÄTYKISTÖN ERIKOISAMPUMATARVIKKEIDEN KÄYTTÖ SUOMALAISISSA OLOSUHTEISSA	
Oppiaine johon työ liittyy Tekniikka	Säilytyspaikka Kursssikirjasto (MpKK:n kirjasto)
Aika Helmikuu 2006	Tekstisivuja 84 Liitesivuja 20
TIIVISTELMÄ <p>Nykypäivän taistelukentällä käytettävä taisteluvälinemateriaalin on oltava kustannustehokasta. Entistä pienempien joukkojen on taisteltava laajalla alueella ja valmistauduttava vaikuttamaan viholliseen myös syvyydessä. Materiaali ja kalusto erikoistuvat saavuttaakseen mahdollisimman suurta tehoa ja tuhoa tietyissä maaleissa.</p> <p>Tykistön tehtävinä ovat edelleen vastatykistötoiminta, torjuntatuli sekä joukkojen lähituki. Tykistöjärjestelmien merkitys kokonaistulivoiman aikaansaamisessa pysyy ennallaan muun muassa sen monipuolisen käytettävyyden, tehokkuuden ja nopean reagointikyvyn ansiosta.</p> <p>Tykistöasejärjestelmillä halutaan vaikuttaa yhä syvemmillä vihollisen ryhmitykseen. Kasvaneen ampumaetäisyyden johdosta on tarvetta varustaa ampumatarvikkeet ohjausominaisuuksilla. Vihollinen on suojautunut kevyesti panssaroituihin ajoneuvoihin tai liikkuu jalan.</p> <p>Tutkimuksen tarkoitus on esitellä eri erikoisampumatarvikkeiden käyttötehokkuutta tiettyjä maaleja vastaan tietyissä suomalaisissa olosuhteissa.</p>	

Erikoisampumatarvikkeina käsitellään kenttätykistön erikoisampumatarvikkeita. Erikoisampumatarvikkeisiin luetaan valaisu-, savutus- ja kuorma-ammukset sekä ohjautuvat ja ohjattavat ammuksset.

Tutkimuksessa ei käsitellä raketinheittimistön tai kranaatinheittimistön ampumatarvikkeita eikä NBC (Nuclear Biological Chemical)-ampumatarvikkeita. Tutkimuksesta on jätetty pois ampumatarvikkeet, joilla on mittaussominaisuuksia tai ovat muotoilunsa ansiosta suunniteltu saavuttamaan pidempiä ampumaetäisyyksiä.

GPS-ohjautuvia ampumatarvikkeita käsiteltäessä tarkastellaan vain yhdysvaltalaisista Global Positioning System:iin tukeutuvaa järjestelmää. Eurooppalaista GALILEO Positioning System:iä ja venäläistä Global Navigation System:iä (GLONASS) ei ole tarkasteltu.

Nykyajan ampumatarviketeollisuudessa yleisimpänä kenttätykistön kaliiperina on 155 millimetrin ampumatarvikkeet. Tälle kaliiperille löytyy suurin valikoima erilaisia ampumatarvikkeita. Tutkimuksessa on siksi tarkasteltu vain tälle kaliiperille valmistettuja ampumatarvikkeita.

Maalilla tarkoitetaan tutkimuksessa esitettyjä yleispäteviä kenttätykistön maaleja.

Tutkimusmenetelmänä on kartoittava ja kuvaileva asiakirjatutkimus. Tiedot on analysoitu ja johtopäätökset tehty lähinnä teknisestä näkökulmasta. Kaikki tutkimuksessa käytetyt lähteet on verrattu ainakin yhteen muuhun lähteeseen, mahdollisimman suuren totuudenmukaisuuden saavuttamiseksi. Tutkija on pyrkinyt vähentämään lähteiden määrää ja täten käyttämään mahdollisimman laadukkaita lähteitä.

Tutkimuksen pääkysymykset ovat:

Mitkä kenttätykistön erikoisampumatarvikkeet ovat käytännöllisimmät mitäkin maalia kohti?

Miten suomalaiset olosuhteet vaikuttavat mihinkin erikoisampumatarvikkeeseen?

Saavuttaakseen pääkysymyksiin vastauksen on tutkija käsitellyt seuraavia alakysymyksiä:

Millä tavalla erikoisampumatarvikkeet toimivat?

Mihin tarkoitukseen ne ovat suunniteltuja?

Mihin maaliin on mikäkin erikoisampumatarvike suunniteltu?

AVAINSANAT

ampumatarvikkeet, hakeutuvat ammukset, hakupäät, laservalaisu

KENTTÄTYKISTÖN ERIKOISAMPUMATARVIKKEIDEN KÄYTTÖ SUOMALAISSA OLOSUHTEISSA

1 JOHDANTO	1
1.1 Yleistä	1
1.2 Tutkimuksen päämäärä ja rajaus	2
1.3 Tutkimusmenetelmä	4
1.4 Tutkimusongelmat	4
1.5 Aikaisemmat tutkimukset ja keskeisimmät lähteet	5
2 KENTTÄTYKISTÖN ERIKOISAMPUMATARVIKKEET	5
2.1 Ohjattavat ja ohjautuvat ampumatarvikkeet	5
2.1.1 Laserohjattavat ammuks	7
2.1.1.1 Laserilmiö	7
2.1.1.2 Laservalaisu ja hakupää	10
2.1.1.3 Ampumatarvikkeen toiminta	14
2.1.2 GPS-ohjautuvat ammuks	16
2.1.2.1 GPS-järjestelmä	17
2.1.2.2 GPS:n häirittevyys	22
2.1.2.3 Kranaatti	25
2.1.2.4 Ampumatarvikkeen toiminta	27
2.1.3 Millimetriaalto- ja infrapunaohjautuvat ammuks	30
2.1.3.1 Sähkömagneettinen spektri	31
2.1.3.1.1 Millimetriaalto	46
2.1.3.1.2 Infrapuna	46
2.1.3.2 Kranaatti	49
2.1.3.3 Ampumatarvikkeen toiminta	50
2.1.3.4 Hakupää	52
2.2 Savuammus	53
2.2.1 Pyrotekniikka	54
2.2.2 Sytytin	59
2.2.3 Kranaatti	60
2.2.4 Ampumatarvikkeen toiminta	60
2.3 Kuorma-ammus	60

2.3.1	Sytytin	62
2.3.2	Ampumatarvikkeen toiminta	63
3	KENTTÄTYKISTÖN MAALIT	67
3.1	Maalitarkastelu	68
3.2	Maalien ominaisuudet ja sijainti taistelukentällä	69
4	SUOMALAISET OLOSUHTEET	72
4.1	Sääolosuhteet	72
4.2	Maasto ja kasvusto	73
4.3	Vuodenajat	74
4.3.1	Talvi	74
4.3.2	Kevät	74
4.3.3	Kesä	75
4.3.4	Syksy	75
4.4	Asutuskeskukset	75
5	KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET	76
5.1	Laserohjattavat ammuks	76
5.2	GPS-ohjautuvat ammuks	77
5.3	Millimetriaalto- ja infrapunaohjautuvat ammuks	79
5.4	Savuammus	79
5.5	Kuorma-ammus	80
5.6	Maalit	80
6	YHTEENVETO	82
	LÄHTEET	85
	LIITTEET	90

Kenttätykistön erikoisampumatarvikkeiden käyttö suomalaisissa olosuhteissa

1 Johdanto

1.1 Yleistä

Nykypäivän taistelukentällä käytettävä taisteluvälinemateriaalin on oltava kustannustehokasta. Entistä pienempien joukkojen on taisteltava laajalla alueella ja valmistauduttava vaikuttamaan viholliseen myös syvyydessä. Materiaali ja kalusto erikoistuvat saavuttaakseen mahdollisimman suurta tehoa ja tuhoa tietyissä maaleissa.

Tykistön tehtävinä ovat edelleen vastatykistötoiminta, torjuntatuli sekä joukkojen lähituki. Tykistöjärjestelmien merkitys kokonaistulivoiman aikaansaamisessa pysyy ennallaan muun muassa sen monipuolisen käytettävyyden, tehokkuuden ja nopean reagointikyvyn ansiosta. [48]

Tykistöasejärjestelmillä halutaan vaikuttaa yhä syvemmälle vihollisen ryhmyykseen. Kasvaneen ampumaetäisyyden johdosta on tarvetta varustaa ampumatarvikkeet ohjausominaisuuksilla. Vihollinen on suojautunut kevyesti panssaroituihin ajoneuvoihin tai liikkuu jalan. [48]

Ampumatarvikelogistiikan ja -kustannusten keventämiseksi pyritään ratkaisuihin, jotka mahdollistavat entistä vähäisemmän ampumatarvikemäärän käytön. Kustannusten pienentämiseksi ja käytettävyyden parantamiseksi pyritään kansainvälisesti yhteensopiviin järjestelmä- ja ylläpitoratkaisuihin sekä järjestelmien modernisoimiseen kustannusten pienentämiseksi. [48]

Asejärjestelmät varustetaan itsenäisellä ammunnanhallintajärjestelmällä. Järjestelmä tarjoaa tietoliikenneyhteyden komentopaikalle ja tulenjohtajiin, nopean paikantamis- ja suuntauskyvyn, ampuma-arvojen laskennan sekä mahdollisuuden liittää erilaisia sensoreita. Hierarkkisuus joukkojen johtamisessa säilyy, mutta maalinosoitukseen, tulitehtävien hallintaan ja niiden toteutukseen liittyvä hierarkkisuus vähenee. Taistelukentällä tulee olemaan enemmän potentiaalisia maalitiedon tuottajia ja tulenjohtajien tehtäväksi muodostuu vaativimpien tulitehtävien johtaminen. Ammunnanhallintakokonaisuudesta muodostuu verkottunut järjestelmä, jossa tulitehtävät etenevät lähes automaattisesti. [48]

Ampumatarvikkeiden on toimittava mahdollisimman useissa olosuhteissa. Nykypäivän ampumatarvikkeen tulee olla paitsi suojattu ulkopuolisilta häiriöiltä, niin myös tunnoton sään, vuodenajan ja muun fyysisen ilmiön vaihteluille.

Kuorma- ja erikoisammukset korvaavat sirpalevaikutteiset ampumatarvikkeet. Pitkän kantaman tykistön ampumaetäisyyttä ei voida kustannustehokkaasti kasvattaa yli 40 kilometrin. Tätä pidemmillä ampumaetäisyyksillä käytetään raskasta raketinheittimistöä. Erikoisjoukkojen käyttöön ja lähituen tarpeisiin kehitetään kevyitä järjestelmiä, joiden kantama on 10–30 kilometriä. Kehityksen painopiste on maalitiedustelu- ja ammunnanhallintajärjestelmissä sekä ampumatarvikkeiden kehittämisessä tavoitteena tarkkuuden ja tehon parantaminen. Huomiota kiinnitetään myös ampumatarvikkeiden parempaan kykyyn vaikuttaa erilaisiin maalityyppeihin. [48]

Kenttätykistön ampumatarvikkeiden erikoistuttua saavutetaan aikaisempaa suurempaa tarkkuutta. Valitsemalla ampumatarvikkeita maalin laadun ja vallitsevien olosuhteiden mukaan voidaan tehostaan tulen tehoa maalissa. Samalla ampumatarvikkeiden käyttö kohdentuu tiettyä maalia vastaan tietyissä olosuhteissa. Erikoisampumatarvikkeiden käyttöehtoja on tarkasti tunnettava, jotta niiden ominaisuuksia saisi maksimaalisen hyödyn.

1.2 Tutkimuksen päämäärä ja rajaus

Tutkimuksen tarkoitus on esitellä eri erikoisampumatarvikkeiden käyttötehokkuutta tiettyjä maaleja vastaan tietyissä suomalaisissa olosuhteissa.

Erikoisampumatarvikkeina käsitellään kenttätykistön erikoisampumatarvikkeita. Erikoisampumatarvikkeisiin luetaan valaisu-, savutus- ja kuorma-ammukset sekä ohjautuvat ja ohjattavat ammuksset.

Tutkimuksessa ei käsitellä raketinheittimistön tai kranaatinheittimistön ampumatarvikkeita eikä NBC (Nuclear Biological Chemical)-ampumatarvikkeita. Tutkimuksesta on jätetty pois ampumatarvikkeet, joilla on mittausominaisuuksia tai ovat muotoilunsa ansiosta suunniteltu saavuttamaan pidempiä ampumaetäisyyksiä.

GPS-ohjautuvia ampumatarvikkeita käsiteltäessä tarkastellaan vain yhdysvaltalaisista Global Positioning System:iin tukeutuvaa järjestelmää. Eurooppalaista GALILEO Positioning System:iä ja venäläistä Global Navigation System:iä (GLONASS) ei ole tarkasteltu.

Nykyajan ampumatarviketeollisuudessa yleisimpänä kenttätykistön kaliiperina on 155 millimetrin ampumatarvikkeet. Tälle kaliiperille löytyy suurin valikoima erilaisia ampumatarvikkeita. Tutkimuksessa on siksi tarkasteltu vain tälle kaliiperille valmistettuja ampumatarvikkeita. [27]

Maalilla tarkoitetaan tutkimuksessa esitettyjä yleispäteviä kenttätykistön maaleja. Maaleina tarkastellaan jalkaväen toimintaympäristöä, vastustajan tykistön tuliasema-alueita, johtamisen kannalta tärkeitä alueita sekä huollon ja reservin ryhmitykset. Maalimallina käytetään majuri Heikki Roiton diplomityön maalimallia.

Olosuhteiksi luetaan vuodenaajat, sää ja maasto. Erillisenä alajaksona tarkistetaan ampumatarvikkeiden käyttöä asutuskeskuksessa. Mallit suomalaisista olosuhteista pohjautuvat tutkijan kandidaatin työstä.

Toisessa luvussa esitellään erikoisampumatarvikkeita. Ampumatarvikkeet käsitellään järjestyksessä ohjatut ja ohjautuvat ampumatarvikkeet, savu- ja kuorma-ammukset. Ohjattuihin ja ohjautuviin ampumatarvikkeisiin luetaan laser-, GPS-, millimetriaalto- ja infrapunahakupäällä varustetut ampumatarvikkeet.

Kolmannessa luvussa käsitellään maaleja. Tutkimuksessa on käytetty aikaisempia maalimalleja tavanomaisista tykistön maaleista. Vastustajan taistelutapana on sekä hyökkäys että puolustus.

Neljännessä luvussa käsitellään suomalaisia olosuhteita. Alajaksoissa tarkastellaan sääolosuhteet, maasto ja kasvusto, vuodenajat ja viimeisenä asutuskeskusten rakennetta. Mallinna toimii tutkijan luoma mallinnus kandidaattitutkielmastaan.

Viidennessä luvussa käsitellään käyttömahdollisuuksia eri ampumatarvikkeille eri olosuhteissa, ottaen huomioon maalin toimintaympäristön ja koon.

Kuudennessa ja viimeisessä luvussa tutkija esittelee tutkimustuloksien kautta saavutettuja omia johtopäätöksiään.

1.3 Tutkimusmenetelmä

Tutkimusmenetelmänä on kartoittava ja kuvaileva asiakirjatutkimus. Tiedot on analysoitu ja johtopäätökset tehty lähinnä teknisestä näkökulmasta. Tutkija on pyrkinyt käyttämään myös ulkomaalaisia ja mahdollisimman laadukkaita lähteitä.

1.4 Tutkimusongelmat

Tutkimuksen pääkysymykset ovat:

Mitkä kenttätykistön erikoisampumatarvikkeet ovat käytännöllisimmät mitäkin maalia kohti?

Miten suomalaiset olosuhteet vaikuttavat mihinkin erikoisampumatarvikkeeseen?

Saavuttaakseen pääkysymyksiin vastauksen on tutkija käsitellyt seuraavia alakysymyksiä:

Millä tavalla erikoisampumatarvikkeet toimivat?

Mihin tarkoitukseen ne ovat suunniteltuja?

Mihin maaliin on mikäkin erikoisampumatarvike suunniteltu?

1.5 Aikaisemmat tutkimukset ja keskeisimmät lähteet

Kenttätykistön erikoisampumatarvikkeita ja niiden käyttöä on tutkittu aikaisemmin laajalti. Aikaisemmat tutkimukset ovat seuraavat:

- Mattila, Heikki. Yliluutnantti: Mahdollisuudet estää laserhakeutuvien ohjusten pommien ja ammusten käyttö kiinteitä kohteita vastaan. 2000.
- Ikonen, Ilkka. Kapteeni: GPS-järjestelmät, niiden käyttö ja häirittevyys. 2004.
- Luikku, Jari. Kadettialikersantti: Kuorma-ammusten käyttö prikaati 2005:n tykistön tärkeimmissä tehtävissä. 2000.
- Lammi, Petri. Kapteeni. Sään pysyvyys ja sen vaikutukset operatiiviseen ja ballistiseen sääpalveluun. Julkaisusarja 1. Tekniikan tutkimuksia N:0 1/1998.
- Ahonen, Tuomo. Kadettialikersantti: Kenttätykistön hakeutuvien ammusten käyttö Suomen olosuhteissa. 2000.

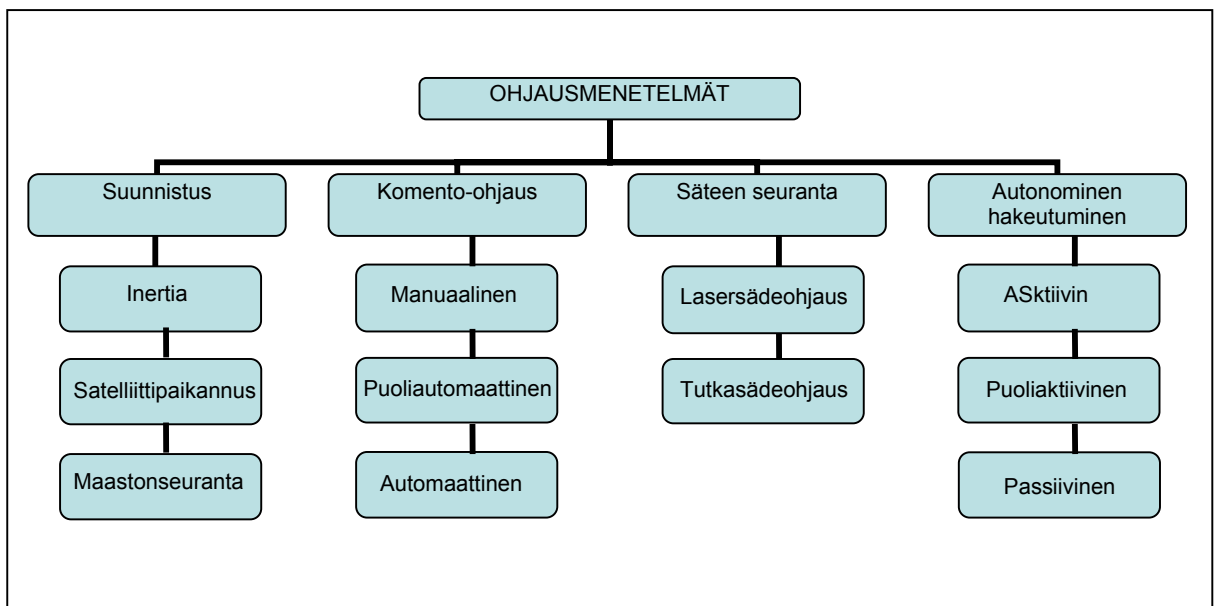
2 Kenttätykistön erikoisampumatarvikkeet

Ammusten vaikutuksen lisäämiseksi tai erikoisvaikutuksen aikaansaamiseksi voidaan kutakin tarkoitusta varten tehdä oma ammuksensa. Erikoisammuksiksi kutsutaan kuorma-ammuksia, ohjautuvia ammuksia, savu- ja valaisummuksia. [29]

2.1 Ohjattavat ja ohjautuvat ampumatarvikkeet

Ohjautuksen tehtävänä on joko saada laukaistu kranaatti osumaan maaliinsa tai sytyttimen ja taistelulatauksen saattaminen toimintaetäisyydelle antamalla ampumatarvikkeelle ohjaukomentoja. Ohjausmekanismi voi perustua aerodynamiikkaan siivekkeiden ja muiden lentopintojen asennon muuttamisella, työntövektorin muuttamiseen raketti- tai suihkumoottorin virtaussuuntaa muuttamalla tai impulssiohjaukseen, jossa ampumatarvikkeen suuntaa muutetaan pienten räjähdepanosten aikaan saamalla liikemomentilla. [32]

Ohjausmekanismit voidaan jakaa neljään pääluokkaan: suunnistukseen, komento-ohjaukseen, säteenseurantaan ja autonomiseen hakeutumiseen. Suunnistuksessa ampumatarvikkeeseen ohjelmoidaan sen lentoreitti ja kranaattia saatetaan haluttua reittiä pitkin maalipisteeseen. Inertiapaikannusta hyödyntävä ampumatarvike voi toimia täysin ilman ulkopuolista signaalia, mutta inertiapaikannuksen virhe kasvaa lentoajan myötä. Sen vuoksi inertiapaikannusta täydennetään usein joko maastonseuranta- tai satelliittipaikannusjärjestelmällä. Suunnistusjärjestelmät eivät edellytä näköyhteyttä maalin ja ampumatarvikkeen välillä, mutta niiden tarkkuus ei tyypillisesti riitä terminaalivaiheen ohjautukseen. Tämän vuoksi niitä käytetään yleensä reittivaiheen aikana. Komento-ohjatussa ampumatarvikkeessa kranaatin ohjauskomennot tulevat laukaisevalta lavetilta. Lavetti seuraa sekä maalia että kranaattia ja ohjaus perustuu yleensä ampumatarvikkeen ohjaamiseen näköyhteydreittiä pitkin suoraan maaliin tai valittuun ennakkopisteeseen. [32]



Kuva 1. Ohjausmenetelmät voidaan jakaa neljään pääluokkaan: suunnistamiseen, komento-ohjaukseen, säteenseurantaan ja ampumatarvikkeen itsensä suorittamaan hakeutumiseen. [32]

Säteenseurantajärjestelmissä ampuva lavetti lähettää laser- tai tutkasäteestä muodostuvan kujan, jota ohjus seuraa ja jonka keskipisteeseen se hakeutuu. Toisin kuin komento-ohjatuissa järjestelmissä, joissa ampuva lavetti seuraa sekä maalia että ampumatarviketta ja välittää korjauskomennot kranaatille,

säteenseuraajajärjestelmässä lavetti seuraa vain maalia ja ampumatarvike päättelee itsenäisesti oman sijaintinsa sädekujassa ja laskee korjauskomennot sen perusteella. [32]

Autonomisesti hakeutuvissa ampumatarvikkeissa kranaatti havaitsee itse maalin – tai lavetti osoittaa sen sille laukaisuvaiheessa – jonka jälkeen se hakeutuu maalista tulevaan herätteeseen. Nämä ampumatarvikkeet jaotellaan edelleen aktiivisiin, puoliaktiivisiin ja passiivisiin sen mukaan onko heräte syntynyt kranaatin hakupäissä, ampuvassa lavetissa vai maalissa [32]

Maaliin hakeutuvien ampumatarvikkeiden hakupäissä käytetään samoja teknisiä ratkaisuja kuin ohjusten hakupäissä. [57]

2.1.1 Laserohjattavat ammukset

Laseria käytetään nykypäivän taistelukentällä tietoliikenne-, sensori-, ase-, omatunnistus- ja omasuojajärjestelmissä. [32] Laserohjattavien aseiden maalinhakeutumisyjärjestelmän muodostavat laservalaisin ja -hakeutumislaitte. [35]

2.1.1.1 Laserilmiö

LASERin (Light Amplification of Stimulated Emission of Radiation) ominaisuuksiin kuuluu että se on suunnattu, keskitetty, jatkuva ja monokromaattinen eli yksivärinen. Säteellä on taipumus toimia tarkasti määritetyillä ja kontrolloiduilla aallonpituuksilla. Varsinkin maalin osoituksessa käytetään hyväksi laserin suunnattavuutta. [43]

Laserilmiö perustuu laseroivan aineen atomien tai molekyylien tehokkaaseen virittämiseen ”pumppaamalla”. Tehokkuuden lähtökohtana on virittymisen kannalta oikeanlaisen ja soveliaan säteilyenergian käyttö. Atomin elektroni virittyy eli siirtyy ulommalle radalle kun siihen törmäävän fotonin energia on vähintään siirtymän kvanttilan suuruinen. Toisin sanoen fotonien määrällä ei voi virittää elektroneja, jos minkään fotonin energia ei ylitä atomimallin mukaista kvantiutunutta energiatilaeroa lähtötilanteen ja lopputilanteen välillä. Virittyvät fotonit kasvattavat atomin potentiaalienergiaa. [50]

Ylempään energiatilaan viritetty atomi palaa satunnaisen ajan kuluttua takaisin perustilaansa ja lähettää samalla näiden energiatilojen välistä energiaerotusta vastaavan fotonin, jonka taajuus on:

$$\triangle E = h \cdot f, \text{ joten } f = \frac{E_2 - E_1}{h}$$

Jossa:

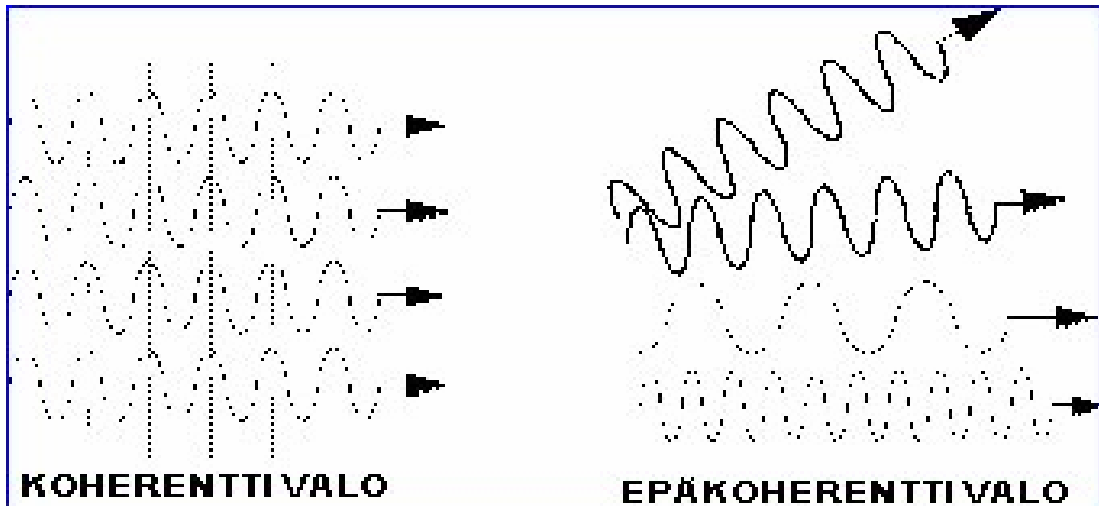
h = Planckin vakio ($6,6256 \cdot 10^{-34}$ Joulesekundia)

f = fotonin säteilyn taajuus (1/sekuntia)

E_1 = alempi energiataso (Joule)

E_2 = ylempi energiataso (Joule)

Satunnaisten energiatilojen purkautumisten synnyttämä valo on epäkoherenttia (valonsäde ei ole kiinteä), sillä prosessin satunnaisuuden takia fotoneilla on satunnainen vaihe. Laserlähettimessä käytettävissä materiaaleissa atomit nostetaan aluksi epästabiiliin energiatilaan, josta ne purkautuvat varsin nopeasti itsestään suhteellisen pitkäkestoiseen, alempaan energiatilaan. Tämän tilan pitkäkestoisuus mahdollistaa riittävän usean atomin virittämisen ennen kuin jokin niistä palaa takaisin perustilaansa. Kun jokin atomeista palaa perustilaansa, se lähettää fotonin. Tämä fotoni puolestaan kulkee lasermateriaalissa ja stimuloi vierellä olevia atomeita palaamaan perustilaansa. Näin fotonien määrä kasvaa itsestään, ja koska atomit lähettävät fotonin silloin kun stimuloiva fotoni kulkee ohitse, on niiden vaihe sama. Prosessin hyötysuhde on varsin pieni, minkä takia optisen resonaattorin (laite jossa esiintyy myötävärähtelyä) päissä on peili, joka heijastaa fotonit takaisin. Osa fotoneista pääsee puoliläpäisevän peilin kautta ulos lasersäteen muodossa. [32]



Kuva 2. Koherentissa valossa valo etenee samaan suuntaan samanvaiheisena ja kaikilla komponenteilla on sama taajuus. [32]

Laserin käyttö suuritehoisen valopulssin lähteenä perustuu siihen, että laserista lähtevä valo on kollimoitua, eli samansuuntaista ja koherenttia, minkä vuoksi pulssi pysyy koossa edetessään kohteensa eikä vaimene leviämisen vuoksi. [32]

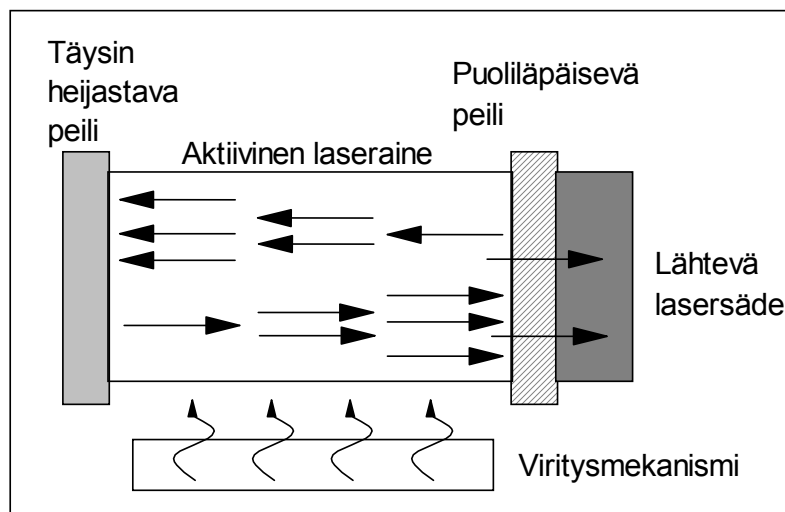
Lasertyyppjä on neljä. Kiinteän aineen laserit käyttävät kiinteää tankoa, joka voi olla kristallia tai lasia johon on lisätty absorboivia atomeja. Pumppausenergia saa aikaan energiatasojen populaatioinversion eli aineessa on erityisesti pitkäaikaisille viritystilolle virittyneitä atomeja enemmän kuin virittymättömiä ja stimuloi laserilmiön. Pumppaus tapahtuu usein näkyvän valon aallonpituusalueella. Lasereiden ominaisuudet riippuvat sekä aktiivimateriaalista että substraattimateriaalista. Aktiivimateriaaleja ovat esimerkiksi neodyymi, koboltti ja titaani, substraattimateriaaleja ovat lasi tai keinokristalli, kuten YAG (Yttrium-aluminium Garnet). [32]

Puolijohdelaserit eli diodilaserit ovat rakenteeltaan useita erilaisia seostettuja ja seostamattomia puolijohdemateriaalikerroksia. Toiminnallisen osan muodostaa pn-rajapinta. Rakenteen keskellä on yksi aktiivinen kerros joka vastaa laservahvistuksesta. Useimmiten käytetyt materiaalit ovat gallium-arseeni / alumiini-gallium-arseeni tai indium-gallium-arseniifosfidi / indium-fosfidi. Tällaisen laserin keskeisiä etuja ovat pieni koko, yksinkertainen virtalähde, hyvä hyötysuhde pumppauksessa (suora sähkövirta), valmistustekniikasta seuraava edullisuus ja mahdollisuus käyttää sitä toisen laserin virittäjänä. [32]

Kaasulaserit käyttävät joko puhtaita tai seostettuja kaasuja, joiden atomeja viritetään lasersäteen aikaansaamiseksi. Lasertoimintaan voidaan käyttää useita eri kaasuja ja kaasuseoksia, joiden energiatasot mahdollistavat populaatioinversion syntymisen. Yleisin pientehokaasulaser, heliumneon-laser, hyödyntää plasmapurkauksessa saatavaa fotonivuota, virittäen heliumatomin ja laseremission tapahtuessa neonatomin. [32]

Kemialliset laserit ovat samankaltaisia kuin hiilidioksidilaser, sillä nekin käyttävät palamisprosessia. Kaksi tunnetuinta kemiallista laseria ovat vetyfluoridi- ja deuteriumfluoridi. Muut sotilaallisesti mielenkiintoiset kemialliset laserit ovat hiilimonoksidilaser ja iodiini: happi-laser. [32]

Väriainelaserit käyttävät nestemäistä lasermediaa, joka koostuu liuottimeen liuotetuista voimakkaasti absorboivista ja emittoivista orgaanisista väriaineista. [32]



Kuva 3. Laserin toiminta. [32]

2.1.1.2 Laservalaisu ja hakupää

Puoliaktiivisessa hakeutumisjärjestelmässä maalia valaistaan tutka- tai lasersäteillä. Hakupää mittaa maalin sijainnin siitä heijastuvan säteilyn perusteella. [57]

Valaisussa käytetään koodattua modulaatiota häirinnän erottelemiseksi valaisusignaalista. Lasersäteen teho on hyvin suuri (noin 100 millijoulea) ja valaisupulssijono on jatkuva, joten laservalaisun ilmaisu laservaroittimella on periaatteessa helppoa. Laserpohjaiset maalinseurantajärjestelmät ovat suhteellisen halpoja ja pienikokoisia. Kapean keilanleveyden ja lyhyen pulssin pituuden vuoksi ne ovat myös tutkaa huomattavasti tarkempia. Toisin kuin tutkajärjestelmissä, laserissa ei ole sivukeiloja, joita pitkin häirintäsignaali saataisiin maalinseurantajärjestelmään kovin suuressa avaruuskulmassa. Toisaalta laser on alttiimpi ilmakehän epäpuhtauksille ja sääilmiöille ja mahdollisuudet muuttaa aallonpituutta esimerkiksi häirinnän välttämiseksi ovat rajalliset. Kaikki nykyiset lasersäteilyyn hakeutuvat aseet perustuvat 1064 nanometrin Nd (neodyymi) -lasereihin. Pulssiteho on noin 4 megawattia, pulssien kesto 20 ns ja toistotaajuus noin 10-20 hertsiä. [32]

Valaisin on kiinteäainelaser, jonka aktiivimateriaalina on neodyyniä. Substraattimateriaalina käytetään keinokristallia YAG. Neodyynilaserin aallonpituus on 1,06 mikrometriä. [32] Osumapiste on useimmiten metrin sisällä tähtäyslinjasta. [43]

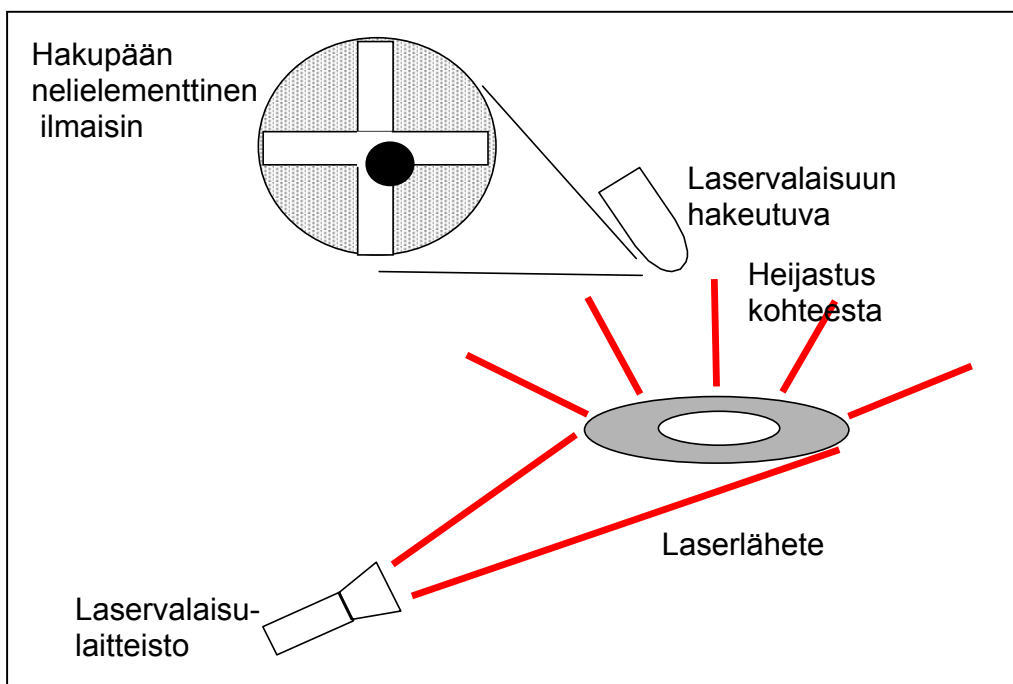
Maalista heijastuvan keilan muoto riippuu itse maalista ja sen pinnan optisista ominaisuuksista. Maalin epätasainen pinta saattaa heijastaa tulevan säteen suureenkin avaruuskulmaan, kun taas tasainen ja kiiltävä pinta voi heijastaa tulevan säteen yhteen suuntaan kapeana keilana. [35]

Valaisu suoritetaan joko maasta tai ilmasta. Valaisun onnistuminen riippuu säästä ja vuorokaudenajasta sekä muista tekijöistä, jotka vaikuttavat säteen kulkuun ja suuntaukseen. Valaisimet, joihin on liitetty pimeäkatselulaite, mahdollistavat yötoiminnan. [35]



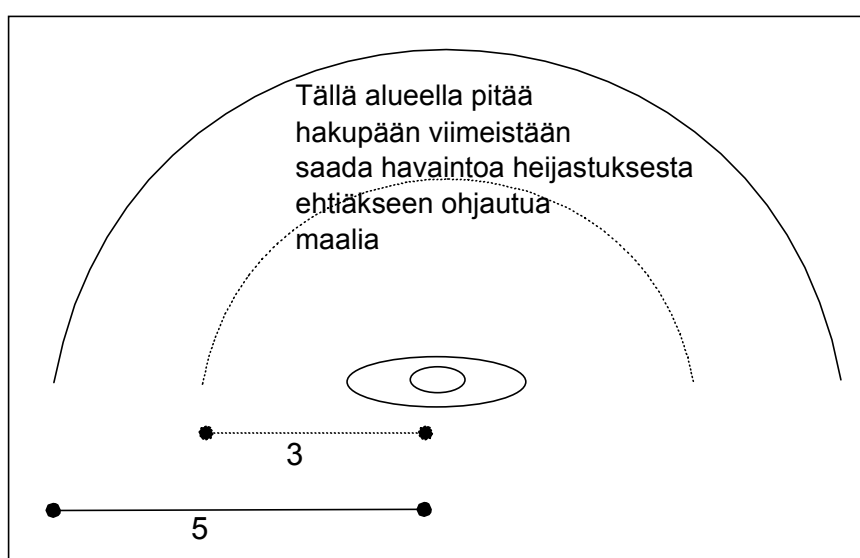
Kuva 4. Laserhakupää.

Ilmaisinyksikön eli inertiayksikön kärjessä on neljä pii-ilmaisinta, jotka havaitsevat kohteesta heijastuvan laservalon. Lentosuunnan ollessa väärä ilmaisinyksikön keskiakseli ei osoita kohti heijastuslähdettä, jolloin ilmaisimien lähtösignaalien erisuuruus saa aikaan ohjaustoiminnan joka kääntää ampumatarvikkeen lentosuunnan. Laserohjattavien ampumatarvikkeiden tarkkuusohjaus suoritetaan vasta ammuksen lentoradan loppuvaiheessa. Täten on mahdollista laukaista ampumatarvike myös pilvien yläpuolelta. [35]



Kuva 5. Laserheijastus fokusoidaan pisteeksi ilmaisimelle. Hakupää pyrkii saamaan kaikkien ilmaisinelementtien signaalien yhtä suureksi. [32]

Maali paikannetaan ja laservalaisija antaa ampujalle koordinaatit. Sopivan viivästyksen jälkeen (riippuu ampumaetäisyydestä) valaisija alkaa valaista maalia lasersäteellä, kunnes ampumatarvike on osunut maaliin. [35] Jotta hakupää ehtisi suorittaa ohjauksen kohti valaistua maalia, on sen saatava havaintoja laserheijastuksesta tietyllä etäisyydellä maalista. Tämän matkan on ilmoitettu olevan kolme kilometriä aavikolla, joka tosin joskus on osoittautunut liian lyhyeksi. Muunlaisessa maastossa on ilmoitettu riittäväksi etäisyydeksi viisi kilometriä. [44]



Kuva 6. Ohjauksen onnistumisalue.

Ammuksen osumiseen vaikuttaa maalin paikantamisen tarkkuus, sillä ammus ei havaitse lasersignaalia pilvipeitteen läpi. Myöskään maalinosoitusta ei voida suorittaa pilvipeitteen tai sumun läpi. [32]

Valonsäde taittuu läpäistessään rajapinnan ilman tai muun läpinäkyvän aineen kanssa. [1] Täten voidaan olettaa vesi- ja lumisateen sekä sumun vaikuttavan huomattavasti lasersäteen etenemiseen, mahdollisesti jopa estävän lasersäteen käytön maalin osoittamisessa. Myös korkea ilmankosteus häiritsee yllättävän paljon. [37]

Kasvusto ja puusto vaikuttavat ampumatarvikkeeseen samalla tavoin kuin ohjautumattomiin ampumatarvikkeisiin. Oksat voivat aiheuttaa ampumatarvikkeen räjähtämisen puiden latvoissa vaikka valaisu on ollut selvä. Kaikki läpinäkymätön

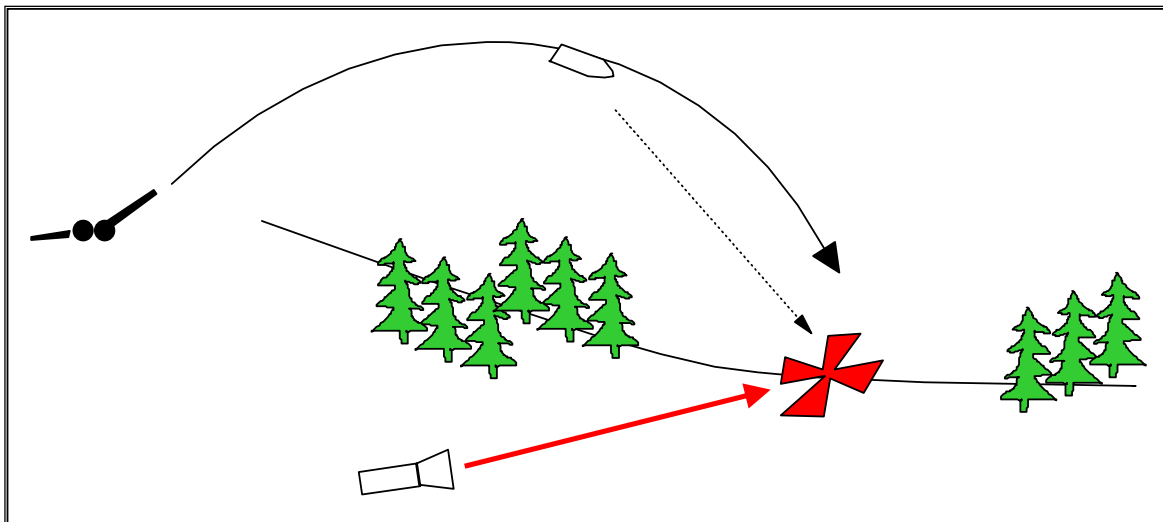
materiaali muodostaa myös esteen lasersäteen etenemiselle. Toimiakseen säteellä pitää olla suora näkyvyys maalipisteeseen.

Valaisuetäisyydet voivat olla useita kilometrejä. Lyhytpiippuista kivääriä muistuttavalla valaisimella tarkkuus on kirkkaalla säällä havaittu erittäin hyväksi 3-4 kilometrin etäisyydelle asti. [35]

Puolustusvoimien käyttämä SIMRAD LP7F-laseretäisyysmittarin ilmoitetaan toimivan normaalisti $-30 - +55^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa. [34] Laservalaisulaitteen toiminta-alueen ei oleteta eroavan huomattavasti.

2.1.1.3 Ampumatarvikkeen toiminta

Laserohjattava ammus ammutaan ballistiselle lentoradalle kohti maalialuetta. Laukaisun jälkeen ammuksen takaosasta kääntyy ulos neljä kaasukäyttöistä ohjaussiivekettä. Saavuttaessaan maalialueen ajastin aktivoi hakupään, joka havaitsee laservalaistausta maalista heijastuvan säteilyn. Tällöin ammus poikkeaa ballistiselta lentoradaltaan. [35]



Kuva 7. Ohjattava ammus - valaisu maasta. [35]

Tunnetuin länsimaalainen laserohjattava tykistökranaatti, joka ammutaan 155 millimetrin tykillä, on Copperhead. [32] Seuraavassa taulukossa tarkastellaan ammuksen ballistista lentorataa suomalaisen 155 K 98-kenttätykin mukaisesti.

155 K 98	Ampumaetäisyys 10 km			Ampumaetäisyys 20 km		Ampumaetäisyys 27 km
Panos	2.P	4.P	TP	4.P	TP	TP pvy
Lentoaika	31 s	21 s	19 s	69 s	57 s	83 s
Tulokulma	29°	16°	13°	57°	40°	62°
Lentoradan lakikorkeus	1208 m	529 m	529 m	5883 m	4111 m	7964 m
Korkeus 5 km maalista	1200 m	520 m	520 m	4853 m	3536 m	5918 m
Todellinen korkeus	1204 m	524 m	524 m	4872 m	3555 m	5956 m
Lentoaikaa jäljellä	18 s	13 s	10 s	23 s	20 s	24 s
Korkeus 3 km maalista	1071 m	483 m	483 m	3467 m	2558 m	4172 m
Lentoaikaa jäljellä	11 s	8 s	6 s	15 s	13 s	16 s
Todellinen korkeus	1077 m	489 m	489 m	3490 m	2581 m	4216 m

Taulukko 1. 155K98 tykin lentoradat eri panoksille. [2, 36]

Taulukosta 1 saadut havainnot on esiteltyinä kohdassa 5.1.

Kymmenen kilometrin ampumaetäisyydellä tarkastellaan lentoradat kakkos-, nelos- ja täyspanoksella. Panoksina ovat 20 kilometrin ampumaetäisyydellä nelos- ja täyspanos ja 27 kilometrin ampumaetäisyydellä ainoastaan täyspanos perävirtausyksiköllä. Lentoajat on pyöristetty lähimpään sekuntiin ja korkeudet lähimpään metriin.

Todellisessa korkeudessa on huomioitu maan kaarevuuden vaikutus lentoradan korkeuteen maanpinnasta. Taulukko maankaarevuuden vaikutuksesta on esiteltyinä liitteessä 1.

2.1.2 GPS-ohjautuvat ammukset

Kenttätykistön tulelle on tyypillistä poikittaishajontaan nähden suuri pituushajonta, minkä vuoksi tykistön tulen peittoalueeksi muodostuu ampumasuuntaan nähden pitkä soikio. Tämän erityisesti pitkillä kantamilla tulen tarkkuutta heikentävän seikan vähentämiseksi on suunniteltu käytettävän GPS-järjestelmää (Global Positioning System). GAM-ammus (GPS Aided Munition) kykenee itse määrittämään lentoratansa ja tarvittaessa jarruttamalla lentoansa kykenee vaikuttamaan osumispisteensä. Lentorataansa korjaavan ammuksen osumatarkkuuden väitetään nousevan yli kymmenkertaiseksi konventionaaliseen ammukseseen verrattuna. [32]

Tässä luvussa päälähteinä on käytetty Jane's Military Communications ja Digitaalinen taistelukenttä. Ampumatarvikkeena tarkastellaan yhdysvaltalaisesta Raytheonin valmistama Excalibur XM982 - kranaattia. Ruotsalaisella Boforsilla on myös vastaavanlainen ampumatarvike TCM (Trajectory Correctable Munition). Yhteistyö valmistajien kesken on aloitettu 2002 Merged Excalibur-nimisen ampumatarvikkeen valmistamiseksi. Lähteestä riippuen yhteistyön ilmoitetaan olevan niin pitkällä, että on määritelty mitkä osat tulevat miltäkin valmistajalta [4]. Toiset lähteet taas väittävät että TCM on kokonaisuudessaan olemassa vain suunnitteluvaiheessa [27].

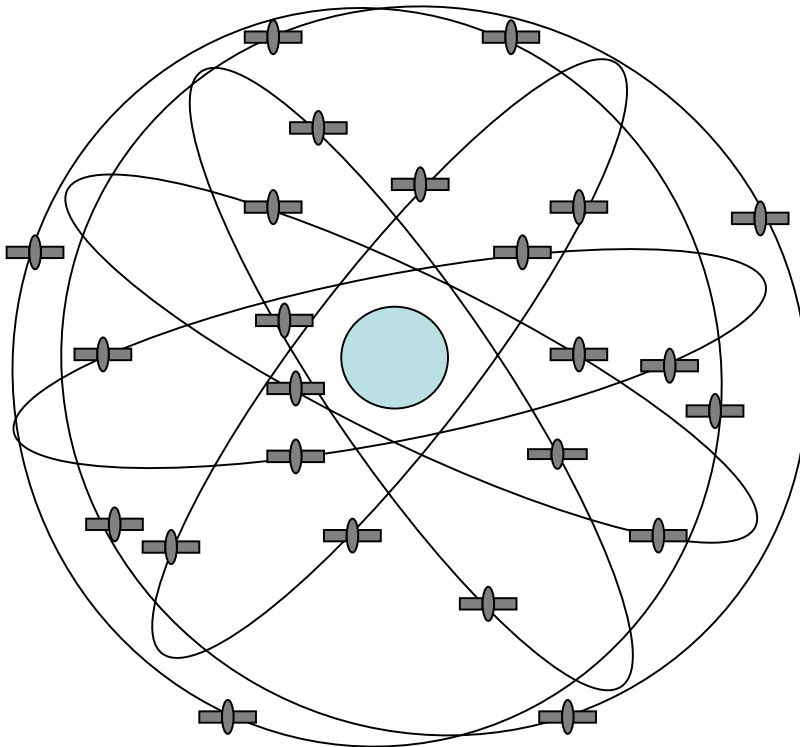
Toinen vaihtoehto GPS-ohjautuvaan ampumatarvikkeeseen on GPS-järjestelmää hyödyntävä sytytin, jota esitellään erillisessä alaluvussa.

GPS-järjestelmän häirittevyttä tutkiessa on päälähteenä käytetty Maanpuolustuksen tieteellisen neuvottelukunnan julkaisemaa, Kalevi Kalliomäen ja Jari Mannermaan toimittamaa "Tutkimus ja skenaario GPS-navigointijärjestelmän käytettävyydestä Suomen olosuhteissa" -teosta. Häirintää tarkasteltaessa on huomioitu vain passiivinen häirintä. GPS-järjestelmä on häirittevässä myös aktiivisesti, mutta sitä ei käsitellä tässä tutkimuksessa.

Kapteeni Ilkka Ikosen tutkimus vuodelta 2004, "GPS-järjestelmät, niiden käyttö ja häirittevyys", esittää myös tuloksiaan GPS-järjestelmän passiivisesta häirinnästä. Tuloksia on verrattu tässä tutkimuksessa saatuihin tuloksiin.

2.1.2.1 GPS-järjestelmä

Amerikkalainen GPS on NAVSTAR-satelliitteihin (Navigation System with Time and Ranging) perustuva erittäin laajalle levinnyt satelliittipaikannusjärjestelmä. GPS koostuu kolmesta isosta osasta: avaruus, valvonta ja käyttäjä. [27]

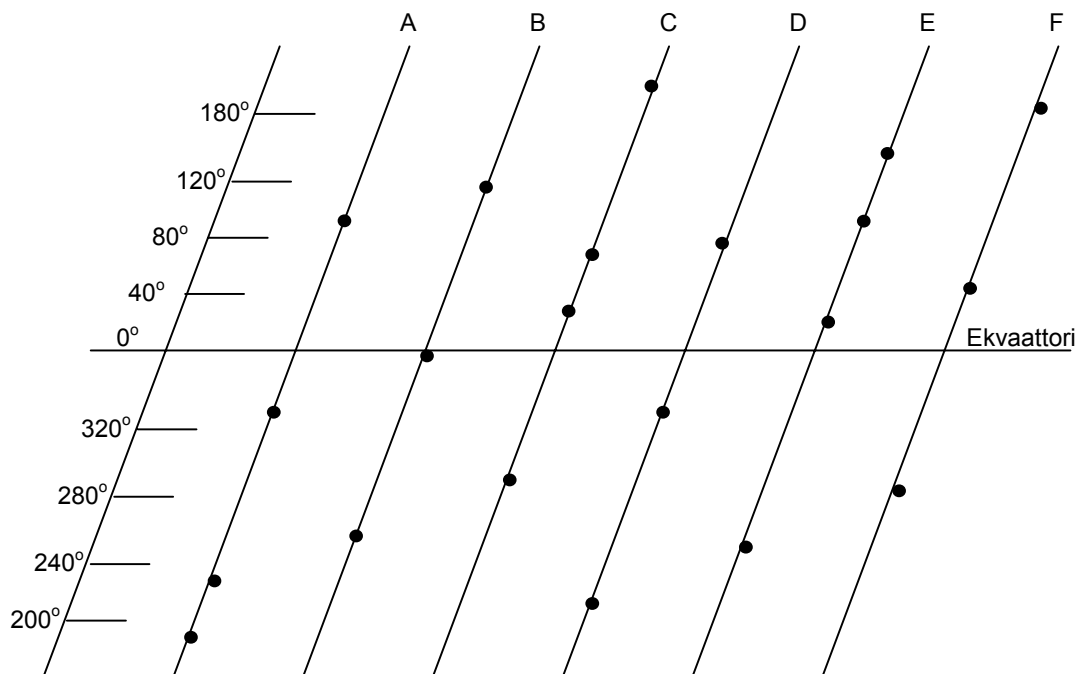


Kuva 8. GPS-satelliittien yleinen konfiguraatio maapallon ympärillä. [28]

Avaruusosa koostuu 24:stä käytössä olevasta satelliitista kuudella kiertoradalla, neljä satelliittia jokaisella kiertoradalla. Satelliitit toimivat 20,200 kilometrin ympyrässä 55 asteen kulmassa ja 12 tunnin jaksoissa. Tuloksena on, että NAVSTAR (Navigation System with Time and Ranging) satelliitin sijainti on sama jokaisen päivän samana reaaliaikana, siis satelliitti ilmestyy 4 minuuttia aikaisemmin joka päivä. [27]

Satelliittien inkliinaatiokulman ollessa 55 astetta ja lentokorkeuden 20 182 kilometriä, kiertoaikasi tulee 11 tuntia 57 minuuttia 57 sekuntia (1/2 sidereal day). Käytössä on 6 eri rataa, joilla taataan neljän tai viiden satelliitin näkyminen yli viiden asteen kulmassa

missä tahansa maapallolla. Satelliittien keilat kattavat maapallon sen pinnalta aina 200 kilometrin korkeuteen saakka. [32]



Kuva 9. Satelliittien sijainnit toisiinsa nähden kuudella eri ratatasolla. [28]

Valvontaosuus koostuu viidestä tarkkailu-asemasta (Hawaji, Kwajalein, Ascension saaret, Diego Garcia ja Colorado Springs), kolmesta maa-antennista (Ascension saaret, Diego Garcia ja Kwajalein) ja pääasemasta (MCS-Master Control Station) joka sijaitsee Schrieverin ilmavoimien tukikohdassa Coloradossa. [27]

Satelliittikonstellaation muodostaa 24 satelliittia, joista 21 on kulloinkin aktiivisia loppujen kolmen ollessa varalla. Satelliittien suunniteltu elinikä on 15 vuotta ja tehtäväikä vajaa 13 vuotta. Tämän johdosta tällä hetkellä on käytössä jo kolmas satelliittisukupolvi. [32] Tarkkailuasemat seuraavat passiivisesti kaikkia näkyvissä olevia satelliitteja ja keräävät tietoa niiden etäisyydestä. Tämä tieto käsitellään päävalvonta-asemalla satelliitin kiertoradan määrittämiseksi ja satelliitin navigointisanoman päivittämiseksi. Päivitetty tieto kulkee jokaiseen satelliitin maa-antennien kautta. [27]

Käyttjäosuus koostuu antenneista ja vastaanottimista, jotka tarjoavat tietoa sijainnista, nopeudesta ja tarkasta ajasta käyttäjälleen. [27]

GPS:n on suunniteltu tarjoavan seuraavaa: ympärivuorokautisen, maailmanlaajuisen, erittäin tarkan, kolmiulotteisen sijaintitiedon toimittaen leveys- ja pituusaste sekä korkeuslukemia, erittäin tarkan nopeustiedon, tarkan ajan, maailmanlaajuisen koordinaatiston, jatkuva reaaliaikainen tiedotus rajattomalle käyttäjämäärälle sekä käyttäjätuki siviilikäyttäjille hieman pienemmällä tarkkuudella. [27]

Järjestelmä perustuu siihen, että satelliitti lähettää vastaanottimelle signaalin. Vastaanotin laskee aikaleiman perusteella etäisyytensä satelliittiin. Paikkatiedon virhelähteitä ovat satelliitin ja vastaanottimen kellovirhe (jälkimmäinen voidaan poistaa kun saadaan yhteys neljään satelliittiin), ilmakehän aiheuttama refraktiovirhe, ionosfääri- ja troposfääriviive, vastaanottimen kohina ja kanavalla olevat häiriöt sekä monitie-etenemisen aiheuttama virhe. [32]

Satelliitit lähettävät kahdella L-taajuudella: L1:n taajuus on 1.575,42 megahertsiä ja L2:n 1.227,6 megahertsiä. Kolme satunnaista valekoodia (PRN-Pseudo-Random Noise) on käytössä. [27]

GPS-signaalin perustaajuus on $f_0=10,23$ megahertsiä, josta muodostetaan kertomalla satelliittien lähetystaajuudet $L1=154 \cdot f_0$ ja $L2=120 \cdot f_0$. L1-taajuudella lähetetään sirunopeudella 1,023 megabittiä sekunnissa DS-levitettyä C/A-koodia (Coarse Acquisition) sekä 10,23 megabitin sekuntinopeudella levitettyä P(Y)-koodia (Precision code). Taajuudella L2 lähetetään vain sotilaskäyttöön tarkoitettua P-koodia. C/A-koodi on niin sanottu gold code-tyyppinen 1 millisekunnin pituinen koodi. P-koodi on valesatunnainen koodi, jonka pituus on yksi viikko. [32]

P-koodi on tärkein etäisyyden navigointikoodi. Järjestelmän Y-koodia käytetään P-koodin sijaan aina kun A-S moodi (Anti-Spoofing) on toiminnassa. [27] Suojausekvenssihajotuksessa sirunopeudella (chip) 1,023 megabittiä sekunnissa levitettävä C/A-koodi leviää 2,046 megahertsin kaistalle ja vastaavasti P(Y)-koodi 20,46 megahertsin kaistalle. Levitys laskee lähetteen tehotiheyttä spektrissä niin paljon, että yli 20 000 kilometriä satelliitista maanpinnalle edettyään signaalin tehotiheys on laskenut alle termisen kohinatason, mikä tekee signaalista käytännössä erittäin vaikeasti havaittavan. [32]

Taajuus		Koodi	Sirunopeus	Datanopeus*	Isotrooppinen teho**
L1	1,575 GHz	C/A	1,023 MHz	50 b/s	- 130 dBm (-160 dBW)
L1	1,575 GHz	P(Y)	10,23 MHz	50 b/s	- 133 dBm (-163 dBW)
L2	1,227 GHz	P(Y)	10,23 MHz	50 b/s	- 136 dBm (-166 dBW)
L3	1,381 GHz	C/A	1,023 MHz	5500/11000	

* 50 bps datavirta muodostuu 30 sekunnin mittaisesta 1500 bitin peruskehuksesta.
** Taattu signaalin isotrooppinen teho maanpinnalla LOS-olosuhteissa. Teho vaihtelee elevaatiokulman mukaisesti 2 dB rajoissa (eli 0,8–1,3-kertaisesti).

Taulukko 2. Taajuuksien nopeudet. [32]

Vastaanottimien on kyettävä etsimään oikeat satelliitit, eli valittava oikeat C/A-koodit ja sotilasjärjestelmän osalta myös P(Y)-koodit. Tähän käytetään niin sanotun GPS-almanakan antamia tietoja siitä, mikä satelliitti on milloinkin näkyvässä ja missäkin paikassa. Vastaanotin etsii C/A-koodista oikean kohdan, eli lukittuu koodiin ja ryhtyy seuraamaan koodin oikeata vaihetta. [32]

C/A-koodi on käytössä L1- taajuudella ja P-koodi sekä L1- että L2- taajuuksilla. Useat satelliitit lähettävät kaikki samalla taajuudella, L1 ja L2, mutta yksilöllisillä kooditehtävillä. Signaalin hajaspektriominaisuudesta johtuen, järjestelmä tarjoaa suuren vastustuskyvyn häirinnälle. Jokainen satelliitti lähettää navigointiviestin sisältäen tietoja kiertoradasta, kellokäyttäytymisen, järjestelmäajan ja tilanneviestin. Lisäksi kalenteri antaa likimääräisen tiedon jokaisesta aktiivisesta satelliitista. Tämä mahdollistaa käyttäjälle jokaisen satelliitin löytämisen kun ensimmäinen on havaittu. [27]

GPS:llä on kaksi palvelua, peruspaikannuspalvelu (SPS-Standard Positioning Service) ja tarkkuuspaikannuspalvelu (PPS-Precise Positioning Service). [27]

SPS on palvelu joka tarjoaa kaikille GPS:n käyttäjille jatkuvaa, maailmanlaajuista tietoa sijainnista ja ajasta. SPS toimii GPS:n L1 taajuudella. Sen paikannustarkkuus on 100 m (95 prosenttia) vaakatasossa ja 156 m (95 prosenttia) pystytasossa. Ajantarkkuus on 340 ns (95 prosenttia) sisällä UTC:sta (Universal Time Coordinated). [27]

PPS on erittäin tarkka USA:n sotilaskäytössä oleva paikannus-, nopeudenmittaus- ja ajastuspalvelu. P(Y)-koodia käyttävä laite saavuttaa seuraavia tarkkuuksia: ainakin 22 metriä (95 prosenttia) vaakatasossa ja 27,7 metriä pystytasossa. Ajantarkkuus on 200 nanosekunnin (95 prosenttia) sisällä UTC:sta. PPS tiedot lähetetään GPS:n L1 ja L2 taajuuksilla. PPS on suunniteltu etupäässä USA:n armeijalle ja se on luvattoman käytön varalta salattu. [27]

Tähän mennessä neljän sukupolven GPS satelliittia on lennätetty tai ennustettu: Block I, Block II/IIA, Block IIR ja Block IIF. [27]

Block I satelliitit käytettiin GPS:n toimintaperiaatteiden testaamiseen. Niistä ensimmäisistä satelliiteista 11 käytettiin myös seuraavissa Blockeissa. 2003 yli puolet NAVSTARin satelliittikannasta oli Block II:a ja Block IIA:ta. Kaiken kaikkiaan 28 satelliittia otettiin käyttöön. Näistä neljä viimeistä lisättiin korvaamaan aikaisempia satelliitteja joiden eliniät olivat lopussa. [27]

Block IIR satelliitit toivat mukanaan huomattavia parannuksia aikaisempiin verrattuna. Niillä on kyky määrittää oma sijaintinsa suorittamalla mittauksia muihin IIR satelliitteihin. Niissä on uudelleen ohjelmoitavia satelliittiprosessoreita, mahdollisuus vian korjaukseen ja ohjelmistopäivitykseen kesken lentoa, lisätty itsehallinto ja parempi suoja säteilyltä. Lisäksi Block IIR:a on mahdollista laukaista suoraan tavoitetulle kiertoradalle, tavallisesti 60 päivän varoitusajalla. Se ei myöskään vaadi yhteyttä yhtä moneen maa-asemaan ylläpitääkseen muodostelmaa. Kaikki nämä parannukset lisäävät GPS:n tarkkuutta pienemmällä satelliittimäärällä. Block IIR korvasivat Block II/IIA satelliitteja niiden ikääntyessään. [27]

Block IIR aloitti vanhempien Block II/IIA satelliittien korvaamisen heinäkuussa 1997. Block IIR satelliiteista kahdeksan modifioitiin säteilemään uutta sotilassignaalia (M-

Military code) sekä L1- ja L2-kanavilla että tukevammalla siviilisignaaliilla (L2C) L2-kanavalla. M-koodin signaali on tukevampi ja pätevämpi signaalirakenne. Ensimmäinen modifioitu Block IIR (Block IIR-M) oli tarkoitus laukaista 2004. [27]

Block IIF ovat seuraavan ikäluokan GPS satelliitteja. Block IIF on suunniteltu tarjoamaan kaikki samat ominaisuudet kuin aikaisemmat Blockitkin, muutamalla lisäyksellä. Parannuksiin kuuluu 12 vuotta pitempi elinikä, nopeampia prosessoreita suuremmalla muistilla ja uudella siviilisignaaliilla kolmannella taajuudella. Ensimmäinen Block IIF on määrä laukaista 2006. [27]

Parannuksia käyttäjälaitteiden turvallisuuteen on tehty kehittämällä SAASM (Selective Availability Anti-Spoofing Module- saatavuutta valikoiva häirintävastainen moduuli). SAASM muuttaa aikaisemmin sotilasvastaanottimissa käytettyä sirua poistamaan saatavuutta valikoimiseen ja (P)Y-koodin jäljittämiseen, sekä varmentamaan omaa paikannusohjelmaa (NAVWAR-Navigation Warfare) osoitteeseen jota elektroninen sodankäynti uhkaa. Jälkimmäinen keskittyy ensin häirintävastaisen (AJ- anti-jam) antennijärjestelmän kehittämiseen. [27]

2.1.2.2 GPS:n häiritävyys

Järjestelmällä saavutettava tarkkuus on 10–200 metriä, jota Yhdysvallat voi heikentää SA-signaaliilla (Selective Availability). Tästä käytetään yleisesti nimitystä häirintä (jamming), vaikka kyseessä on itse asiassa jo lähetettäessä signaaliin sekoitettava satunnainen virhe, eikä häirintää siinä mielessä kuin se elektronisessa sodankäynnissä ymmärretään. Heikennys ei vaikuta sotilasvastaanotinten suorituskykyyn, mutta kaupallisten vastaanotinten tarkkuus pienenee 50–200 metriin. Häirintä voidaan poistaa ottamalla signaali vastaan paikassa jonka sijainti tiedetään tarkasti. Tällöin häirintä ja virheet satelliittien lentoradoissa voidaan laskea. Tällaisella differentiaalisella GPS:llä (DGPS) voidaan päästä 1-5 metrin tarkkuuksiin. Jos vielä käytetään signaalien vaihetta hyväksi (interferometrinen GPS), päästään millimetriluokkaa oleviin tarkkuuksiin. [32]

SAASM oli 1994 alun perin suuri ja kallis siru. Siitä se on kehittynyt turvallisuusarkkitehtuuriksi, joka täyttää useita käytännön ja fysiikan vaatimuksia.

SAASM korvaa PPS:n turvallisuusmoduulin, jota on käytetty aikaisemmissa sotilasvastaanottimissa yhdessä Key Data-prosessorin kanssa ja soveltaa peitettä joka on suojattu ulkopuolisilta muutostöiltä. Se lisää operatiivista käytettävyyttä ainakin kolmella mainittavalla tavalla: parempi salattavuus, muutoksilta suojattu raja vastaanottajan elektroniikasta ja ohjelmisto, jonka ansiosta vihollisella ei ole suurtakaan mahdollisuutta hyödyntämään kaapattua yksikköä. Salausavaimen rakenne mahdollistaa GPS:n laitteiston julkisuuden salaamisen jälkeen ja vastaanottaja voi hankkia P(Y)-koodin sotilassignaalilla suoraan. [27]

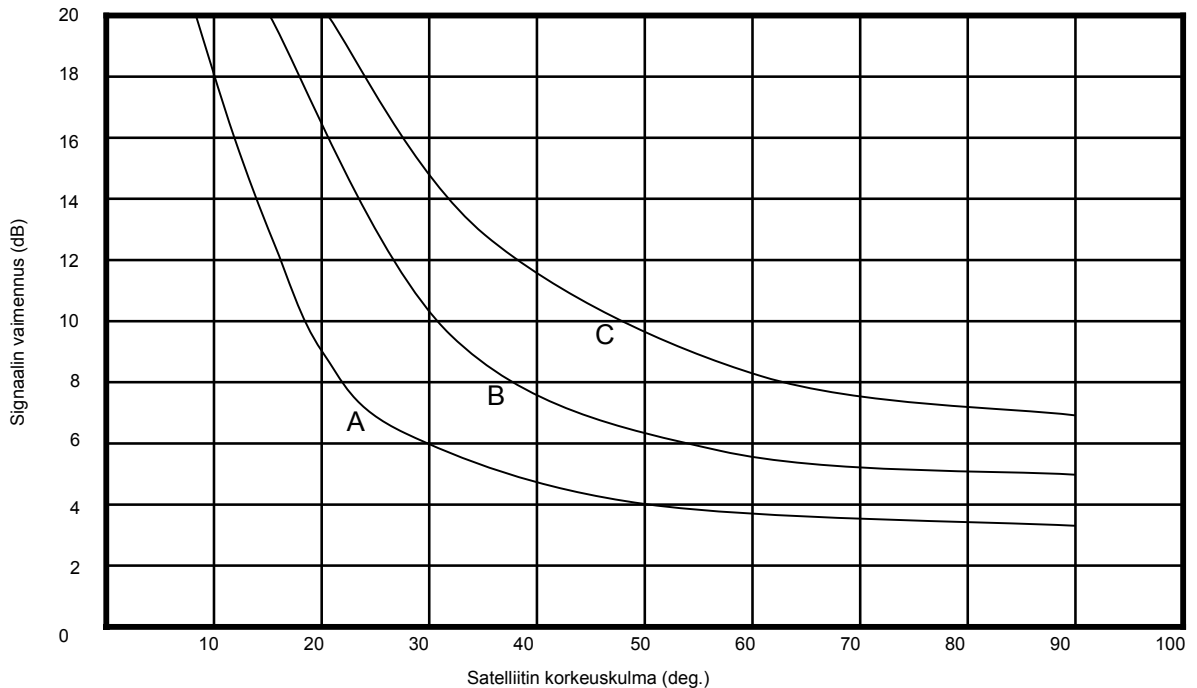
Kaikki 2003 puolen välin jälkeen valmistetut vastaanottimet ovat varustettuja SAASM sirulla, niin upotetuissa käyttölaitteissa kun käsivastaanottimissakin. [27]

Signaalien mitätön teho ja ylläpitäjän valta järjestelmään sallivat erilaisia häirintämekanismia, eli passiivinen ja aktiivinen häirintä. Passiivisena häirintänä on monitie-eteneminen ilmakehässä ja se on kaikille käyttäjälle yhteinen. Maanpinnalla olevat esteet, kuten puiden lehvästöt, korkeat talot ja sillat ovat vakava ongelma Suomen olosuhteissa. [28]

Monitie-etenemistä seuraa monitie / ionosfääristä skintillaatiota sekä amplitudin että vaiheen suhteen. Monitie-eteneminen vaikuttaa signaaliin samoin kuin se kulkisi ajan funktiona muuntuvan kaistanpäästösuotimen läpi. [28]

Skintillaatio tarkoittaa, että ilmakehässä on lämpötilaltaan ja tiheydeltään erilaisia kerroksia, joiden välillä ilma väreilee, eli niiden välillä esiintyy virtauksia ja pyörteisyyttä. Kun tähdestä tuleva valo joutuu läpäisemään ilmakerroksen, jonka ilma väreilee, tapahtuu nopeita refraktion satunnaisia muutoksia eri suuntiin. Tällöin tähdestä esimerkiksi ihmisen silmään tuleva valo vaihtelee nopeasti ja näyttää, että tähti tuikkisi. [11]

Refraktio tarkoittaa valonsäteen taittumista optisesti eri tiheyttä olevien aineiden rajapinnassa tai taitekertoimen muuttuessa. Refraktio- eli taittumisilmiöt syntyvät valon taittuessa ja heijastuessa eri lämpöisten ilmakerrosten rajapinnoista. [11]



Kuva 10. Lehvästön vaimennus vastaanotettavan signaalin tulokulman funktiona. Käyrät vastaavat eri vuodenaikoja siten, että A) on talvi, B) on kevät ja syksy ja C) on kesä. [28]

Oulussa suoritettiin testejä erilaisissa maastokohdissa. Olosuhteet olivat kuivia, sää oli aurinkoinen sekä lämpötila oli 24°C (metsäpalovaroitus). Taulukko eri satelliiteista saaduista S/N-arvoista (dB) erilaisissa tilanteissa on esitettyä liitteessä 2.1. [28]

Nämä testit tehtiin kaikki pysähtyneenä. Testit ilmaisevat selkeästi, että GPS-vastaanotin tulee nopeasti toimintakyvyttömäksi, kun se viedään jonkin esteen alle. Lehvästöjen vaikutus ilmenee hitaammin staattisessa navigoinnissa, mutta nopeuden lisääntyessä toimintakyky menetetään yhä nopeammin. Esimerkiksi ajettaessa moottoritiesillan alle menetetään navigointikyky aluksi noin kahdessa sekunnissa, mutta se palautuu vähitellen noin 30 sekunnissa. Liikkeelle lähdettyä navigointikyky katoaa muutamiksi sekunneiksi. Edelleen selvitettiin varjostuksen vaikutusta eri satelliittien kykyyn pysyä havaittavana. Taulukko on liitteessä 2.2. [28]

Kaikki nämä testit suoritettiin hitaalla nopeudella 20–30 kilometriä tunnissa. Tapauksessa T14 menetettiin navigointikyky ja T15 ja S3 aiheuttivat 2D tilan, eli vajaan navigointi tilan (taulukko liitteessä 2.2). [28]

Vaimennustestejä tehtiin kaksi ajamalla eri tienosuuksilla ja mittaamalla koordinaatit 10 sekunnin välein. Taulukko on liitteessä 2.3. Testissä havaittiin että Keski-Suomen metsätaipaleilla navigointikyky menetettiin useammin kuin Pohjanmaan lakeuksilla. Heinola-Helsinki – välin sillat ja kalliroleikkaukset taas lisäsivät hetkellisiä ”No Fix”-tilanteita. [28]

GPS-vastaanottimen toimintaa antennikorkeuden funktiona kuivalla ja kostealla säällä selvitettiin myös. Tulokset ovat esiteltynä liitteessä 2.4. Testin mittaustulokset osoittivat, että antennin korkeudella ei ole ratkaisevaa merkitystä S/N-suhteeseen jos antennin on näköesteiden alapuolella. [28]

Suoritettut testit osoittivat, että GPS-paikannin on saatava aukealle paikalle, joka on vähintään 20 metriä kapeimmalta kohdaltaan, mieluummin 30 metriä. [28]

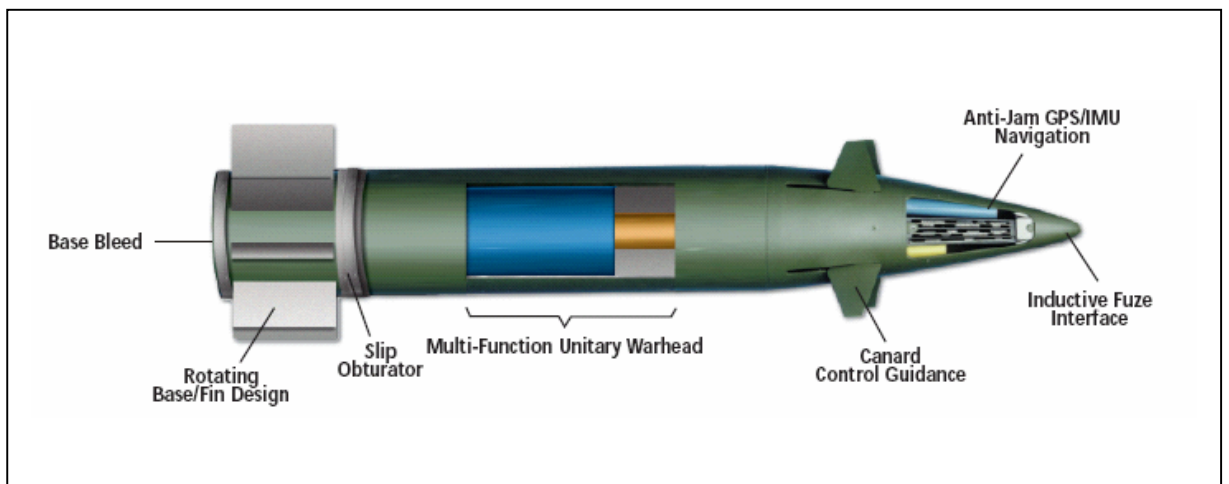
2.1.2.3 Kranaatti

Satelliittinavigointia hyväksikäyttävät sytyttimet vaikuttavat ammuksen lentorataan sen ulkoballistisessa vaiheessa, jolloin sytytin korjaa ammuksen lentorataa. Periaatteena on ohjata ammus ballistisen maalipisteen taakse, eli ammus ammutaan periaatteessa tarkoitettua kauemmaksi. Ammuksen sytyttimessä sijaitseva vastaanotin vastaanottaa satelliitista signaalin. Satelliittien signaalien perusteella ammus paikantaa sijaintinsa. Ammuksen kärjessä, joko sytyttimessä tai ammusosanrungan etuosassa on jarrusiivekkeet. Siivekkeiden avulla ammusta jarrutetaan siten, että se osuu mahdollisimman lähelle maalia. Osa satelliittinavigointijärjestelmää hyväksi käyttävistä sytyttimistä on suunniteltu asennettaviksi normaaleihin ammuksiin kuten esimerkiksi ranskalainen SAMPRASS. Tämä järjestelmä on kaksisuuntainen. Sytytin lähettää tietoa tuliyksikölle, jonka päästä tulee käsky milloin ammuksen pitää jarruttaa. [27]



Kuva 11. Ranskalainen SAMPRASS sytytin

Toinen lähestymistapa on ollut suunnitella koko ammus uudestaan, kuten tässä tutkielmassa esitelty amerikkalainen Excalibur.



Kuva 12. Excaliburin rakenne

Kranaatti koostuu kolmesta pääosasta: suunnistussyksiköstä (hakupää), kuormamunusosasta ja ohjaussyksiköstä. Suunnistussyksikön GPS-vastaanottimeen ohjelmoidaan laukaisupaikan koordinaatit. Täten pienennetään mahdollisen häirinnän vaikutus osumatarkkuuteen. Ohjaussyksikkö koostuu jopa kahdeksasta ohjaussiivekkeestä. Yksikkö voi olla joko kiinteä tai pyörivä. [4]

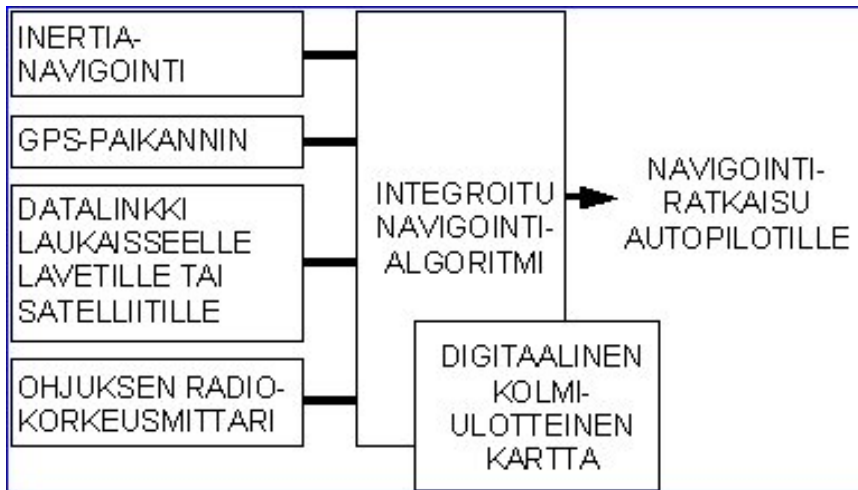
2.1.2.4 Ampumatarvikkeen toiminta

155 millimetrin Excalibur XM982 ammus on pitkän kantaman ammus, joka kykenee suunnistamaan itsenäisesti ja omaa hyvän liukukyvyn. Siinä on tiiviissä yhteistoiminnassa olevat GPS- ja inertiamittausyksikkö (GPS/IMU – GPS/Inertial Measuring Unit). XM982 projektilla käsitetään kolmen ammuksen perhe, jotka kaikki eroavat taistelulatauksissaan. Block I kantaa penetroivan yksikön, Block II herättesytyttimen ja Block III maalia erottelevan taistelukärjen. Jokainen näistä kolmesta ammuksista käyttää yhteistä ohjaus-, suunnistus- ja hallintayksikköä GNC (Guidance, Navigation and Control), siivekeohjausjärjestelmää ja tavallista kavennuskartiota sekä taittosiiveke-kokoonpanoa. Lisäksi kaikki kolme jakavat lukuisia tavallisia runkoja ja muita laitteistokohtia. [27]

Sytytin asetetaan joko erillisellä kannettavalla laitteella tai yhdistetyllä sytytinasetin/ induktiivisella datansiirtolaitteella. Nämä laitteet helpottavat myös alustavan tiedon siirtoa GPS/IMU GNC-yksikköön ennen ammuksen laukaisua. Ammus ladataan ja laukaistaan konventionaalisesti. XM982 on yhteensopiva kaikilla olemassa olevilla ja kehitysvaiheessa olevilla sarjapanoksilla. Koska ammus suunnistaa itsenäisesti, ei tarkalla suuntaamisella ja panosvalinnalla ole niin suurta merkitystä. Liukuva johtorengas mahdollistaa yhteensopivuuden kaikkien nykyisten kenttätykistöjärjestelmien kanssa samalla kun se pitää ammuksen pyörimisnopeuden matalana. [27]

Navigoiva ampumatarvike hakeutuu ennalta annettuun maalipisteeseen sisäisen inertipaikantimen tai satelliittipaikantimen avulla. Inertialaitteiden antama suunta- ja paikkatieto riittää yleensä vain summittaiseen hakeutumiseen maalialueelle ja lopullinen hakeutuminen maaliin tapahtuu jostain muuta menetelmää käyttäen. GPS:n antamaa suunta- ja paikkatietoa käytetään yleensä vain keinona päästä maalialueelle. Tämän vuoksi ammuksen tietokoneelle on ennen laukaisua ohjelmoitava maalin lopulliseen valintaan lennon terminaalivaiheessa tarvittavat tiedot. Ohjus voidaan esimerkiksi ohjata tiedustelusatelliitin tai -lentokoneen ottaman kuvan johonkin yksityiskohtaan, kuten kahden ääriiviivan - vaikkapa sillan kannen ja kannatinpilarin - leikkauspisteeseen. Nämä tiedot voidaan ainakin periaatteessa syöttää myös satelliitin

kautta ohjuksen lennon aikana, mikä mahdollistaa maalipisteen muuttamisen myös ohjuksen laukaisun jälkeen. [32]



Kuva 13. Esimerkki navigoivan ampumatarvikkeen navigointijärjestelmän lohkoakaaviosta. Datalinkkiä voidaan käyttää sekä sensori- ja navigointitiedon välittämiseen laukaisseelle lavetille tai satelliitin kautta komentokeskukseen että ohjuksen maalipisteen muuttamiseen. [32]

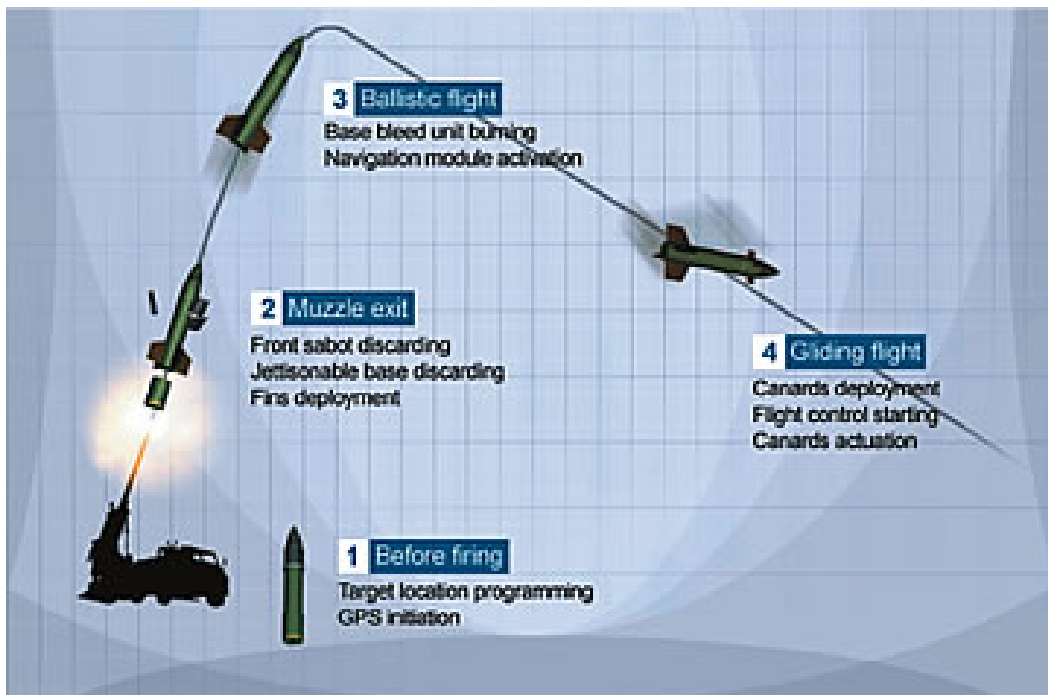
Ammuksen jätettyä putken suun, levittäytyvät vakaus-/nostosiivekkeet. Kaikki ylimääräiset kierrokset vähentyvät tavoitenopeuteen ja siivekkeillä vakautettu ammus seuraa peruskurssin lentoradan lakikorkeuteen asti. Lentoradan nousujakson aikana GPS-yksikkö aktivoituu, kalibroitu ja lukkiutuu satelliittiin. Lakikorkeudella neljä etummaista siivekettä avautuvat ja GNC-autopilottiin kytkeytyy virta. Ballistisesta lentolaskimesta syötettyjen tietojen perusteella autopilotti tulkitsee vaatimukset lentoradan korjaukseen ja muuttaa ne elektroniseksi impulssiksi, joka lähetetään nokkien ajomootoreihin. Siivekkeet käynnistetään pareittain, minkä ansiosta ammus muuttaa suuntansa ja kääntyy kaartuen. Ammus liikuu kohti ennalta määritettyä koordinaattipistettä. Koordinaatit ohjelmoidaan ballistiseen lentolaskimeen alustavien tietojen mukana ennen laukaisua. [27]

Syöttimen GPS-yksikkö mittaa ammuksen lentorataa sekä antaa korjauskomentoja inertianavigointiyksikölle. Järjestelmään kuuluvalla tutkalla voidaan sekä seurata ammusten lentoa, että lähettää korjauskomentoja ammuksille. Ohjaussiivekkeiden avulla kranaatti voi myös nostaa lentorataansa. [32]

Mikäli GPS-yksikkö häiriintyy lentoradan liukuvaiheessa, tiiviisti yhteistoiminnassa oleva IMU-yksikkö ottaa johdon ja pitää ammuksen suunnattuna viimeisen korjauksen mukaiseen suuntaan. [27]

Kun ammus saavuttaa maalin, se suorittaa viimeisen ohjausliikkeen joka on sopiva sille taistelukärjelle jota se kantaa. Block II:n toimii joko yhtenä kranaattina tai kuorma-ammuksena. Kuorma-ammuksen osalta viimeisin ohjausliike sisältää tytäkranaattien erottamisen. Erottamiskorkeus on määritetty tytäkranaattien suorituksen optimoimiseksi. Yksikkövariantille ammus suunnistaa maaliin osuakseen tietyllä kulmalla. [27]

Teknisten tietojen mukaan XM982 kykenee 30–40 kilometrin ampumaetäisyyksiin L/39-mallisesta aseesta (kuten M109A6, M777 tai NLOS-C) ja 50–60 kilometriin L/52-aseesta (kuten FH77BD). Lyhin ampumaetäisyys on 6-8 kilometriä. Virheen mahdollisuus CEP (Circular Error of Probability) on 10–20 metriä kaikilla ampumaetäisyyksillä. Penetroivan taistelukärjen tulee läpäistä 20 senttimetriä paksua vahvistettua betonia ja silti osoittaa suurta sirpaloitumista. [27]



Kuva 14. GPS-ohjautuvan kranaatin toiminta. Kranaatti laukaistaan noin 15 kilometrin korkeudelle, josta alkaa liukuvaihe. Liukuvaiheen aikana hakupää suunnistaa joko ennalta ohjelmoituun pisteeseen tai transponderin kautta maa-aseman lähettämien koordinaattien mukaiseen pisteeseen. Mikäli maa-asemalla on käytössään tutka-asema, kranaatin ja maa-aseman välinen kommunikointi voi sisältää myös tietoa kranaatin sen hetkisestä sijainnista. Liukuvaiheen ansiosta ampumaetäisyys kasvaa huomattavasti, jopa niinkin pitkäksi kuin yli 50 kilometriä. [4]

Excaliburin suorituskykyä yritetään parantaa häirinnänvastaisella toiminnalla, kustannustehokkuudella, lisäämällä teknologisia elementtejä ja parantamalla IMU-yksikköä yleissuunnistuksella/yleistunnistuksella CGCS (Common Guidance/Common Sensing IMU). [27]

Excaliburiin on myös suunnitteilla M-koodi GPS:n käyttö, uusia taistelukärkiä (savu-, lämpöhaku-, valaisu- ja ei-tappavia ominaisuuksia), puoliaktiivinen laserhakeutuminen sekä järjestelyjä tuloajan määrittämiseen. [27]

2.1.3 Millimetriaalto- ja infrapunaohjautuvat ammukset

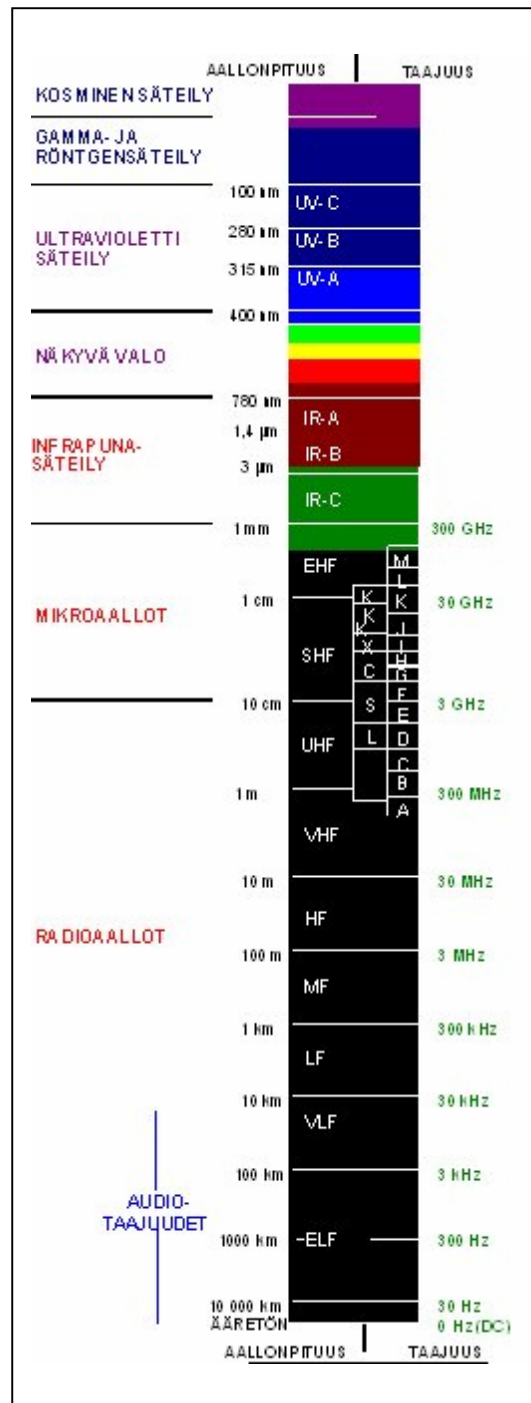
Aktiivisia millimetriaaltohakupäitä voidaan käyttää suhteellisen halvoissa sirotteissa, jotka toimitetaan maalialueelle esimerkiksi kuorma-ammuksissa. Sirotteessa on yleensä sekä millimetriaaltotutka että infrapunasensori, joilla se pyrkii löytämään maaleja. [32]

Tällä hetkellä markkinoilla on kaksi samankaltaista ampumatarviketta jotka käyttävät sekä millimetriaaltotutkaa ja infrapunasensoria hakupäössään. Saksalainen SMART (Sensor-fused Munition for Artillery) ja ruotsalainen BONUS (Bofors nutating shell) ovat molemmat valmistettu 155 millimetrin tykistöä varten. USA on 1960-luvulta lähtien tutkinut ja kehittänyt vastaavanlaista järjestelmää nimeltään SADARM (Sense and destroy armor), alun perin 203 millimetrin ja myöhemmin 155 millimetrin tykistöä varten. BONUS-ammusta on jo tuotettu ja toimitettu ainakin 1000 kappaletta Ranskan ja Ruotsin puolustusvoimille [10]. SADARM-projekti on erinäisistä syistä välillä jäähdytetty.

2.1.3.1 Sähkömagneettinen spektri

Sähkömagneettinen spektri jaetaan mielivaltaisesti aallonpituusalueisiin, joita kutsutaan kaistoiksi ja jotka erotetaan niiden tapojen perusteella, joilla kyseistä säteilyä voidaan tuottaa ja havaita. Sähkömagneettisen spektrin eri kaistojen säteily on periaatteessa samanlaista. Niitä koskevat samat lait ja niitä erottaa ainoastaan aallonpituus. [21]

Lyhytaaltojen puoleisessa päässä infrapunaisen alue rajoittuu tummanpunaiseen, joka on silmin nähtävissä. Pitkien aaltojen puolella infrapunakaista yhtyy mikroaallojen radiotaajuuksiin, jotka ovat millimetrialueella. Infrapunakaista jaetaan edelleen neljään kapeampaan kaistaan, joiden rajat on valittu mielivaltaisesti. Nämä ovat: lähi-infrapunakaista (0,75 — 3 mikrometriä), keski-infrapunakaista (3 — 6 mikrometriä), pitkäaaltokaista (6 — 15 mikrometriä) ja ääri-infrapunakaista (15 — 100 mikrometriä). Siitä huolimatta, että aallonpituudet ilmoitetaan mikrometreinä (μm), muut mittayksiköt ovat edelleen käytössä tämän spektrin alueen aallonpituuksien mittaamisessa, muun muassa nanometri (nm) ja Ångström (Å). [21]



Kuva 15. Sähkömagneettinen spektri. [32]

Eri aaltoalueiden mittaukset ovat yhteydessä toisiinsa seuraavasti:

$$10\,000\ \text{Å} = 1\,000\ \text{nm} = 1\ \mu = 1\ \mu\text{m}$$

Musta kappale määritellään kohteeksi, joka absorboi kaiken itseensä kohdistuvan säteilyn millä tahansa aallonpituudella. Nimitys musta säteilevän kappaleen yhteydessä on ilmeisen harhaanjohtava ja saa selityksensä Kirchhoffin laissa (Gustav Robert Kirchhoff, 1824–1887), jonka mukaan kappale, joka pystyy absorboimaan kaiken säteilyn millä tahansa aallonpituudella pystyy myös lähettämään säteilyä. [21]

Säteilylähteenä toimivan mustan kappaleen rakentaminen on periaatteessa hyvin yksinkertaista. Läpinäkymättömästä absorboivasta materiaalista valmistetun isotermisen ontelon aukko on säteilyominaisuuksiltaan miltei täydellinen musta kappale. Kaiken säteilyn itseensä imevän kappaleen rakentamisen käytännön yksi sovellus on valotiivis laatikko, jonka yhdellä sivulla on aukko. Kaikki aukosta laatikon sisään tuleva säteily siroaa ja absorboituu toistuvasti heijastuessaan siten, että vain äärimmäisen pieni osa siitä voi päästä ulos. Näin saavutettava aukon mustuus (säteilemättömyys) on lähes mustan kappaleen luokkaa ja miltei täydellinen kaikilla aallonpituuksilla. [21]

Jos kyseisen kaltaiseen isotermiseen onteloon asennetaan sopiva säteilijä, muodostuu ontelosäteilijäksi kutsuttu kohde. Tasaiseen lämpötilaan lämmitetty isoterminen ontelo muodostaa säteilylähteenä mustan kappaleen, jonka ominaisuudet määräytyvät yksinomaan ontelon lämpötilan perusteella. Kyseisen kaltaisia ontelosäteilijöitä käytetään usein mm. laboratorioissa säteilylähteinä termografisten mittalaitteiden kalibroinnissa tarvittavina lämpötilan vertailupisteinä. Näin myös FLIR Systemsin kameroiden tapauksessa. [21]

Mikäli mustan kappaleen lähettämän säteilyn lämpötila ylittää 525 °C (977 °F), lähde alkaa muuttua näkyväksi siten, että se paljaalla silmällä tarkasteltuna lakkaa olemasta musta. Säteilijä muuttuu ensin punahehkuseksi, sitten väri lämpötilan edelleen noustessa muuttuu oranssin kautta keltaiseksi. Kappaleen niin kutsutun väriämpötilan määritelmä on se lämpötila, johon musta kappale tulee lämmittää, jotta saavutetaan sama näkyvä aallonpituus. [21]

Kolme lauseketta, Planckin laki, Wienin siirtymälaki ja Stefan-Boltzmannin laki kuvaavat mustan kappaleen lähettämää säteilyä. [21]

Max Planck (1858–1947) kuvasi mustasta kappaleesta peräisin olevan säteilyn aallonpituuksien jakautumisen seuraavan kaavan avulla:

$$W_{\lambda b} = \frac{2\pi hc^3}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1)} \times 10^{-6} [\text{Watt/m}^2 \mu\text{m}]$$

Jossa:

$W_{\lambda b}$ = Mustan kappaleen säteilyteho aallonpituudella λ .

c = Valon nopeus = 3×10^8 metriä sekunnissa.

h = Planckin vakio = 6.6×10^{-34} joulesekuntia (Js).

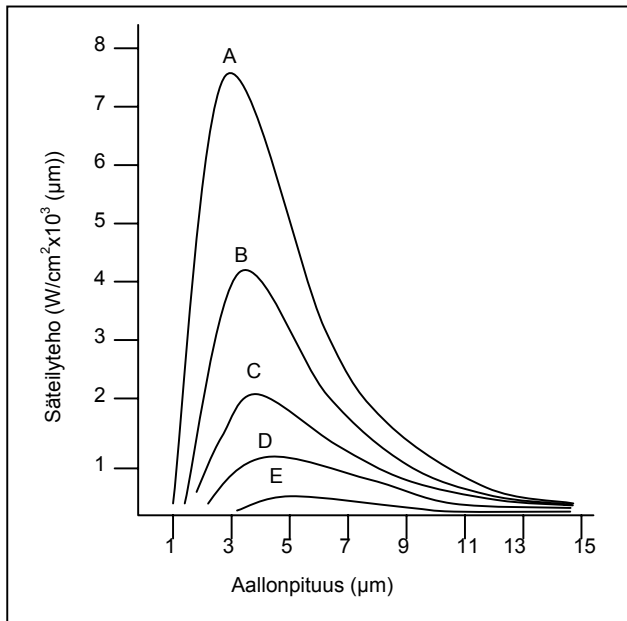
k = Boltzmannin vakio = 1.4×10^{-23} Joule/Kelvin (K).

T = Mustan kappaleen absoluuttinen lämpötila (K).

λ = Aallonpituus mikrometreinä (μm).

HUOM: Käytetään kerrointa 10^{-6} , koska käyrien kuvaama lähtevä säteily on ilmoitettu muodossa $\text{W/m}^2\mu\text{m}$. Jos kerroin jätetään pois, mittayksikkö on $\text{W/m}^2\mu\text{m}$. [21]

Planckin kaavaa käyttäen eri lämpötilojen pohjalta muodostetut graafiset kuvaajat muodostavat joukon käyriä. Kunkin Planckin käyrän säteilyteho on nolla, kun $\lambda = 0$, saavuttaa sitten nopeasti ääriarvon aallonpituudella λ_{max} ja tämän ohitettuaan lähestyy jälleen nollaa erittäin pitkillä aallonpituuksilla. Mitä korkeampi lämpötila, sitä lyhyemmällä aallonpituudella ääriarvo saavutetaan. [21]



Kuva 16. Planckin lain mukainen mustan kappaleen lähettämä säteilyteho eri absoluuttisissa lämpötiloissa. A: 900 Kelvin; B: 800 Kelvin; C: 700 Kelvin; D: 600 Kelvin; E: 500 Kelvin. [21]

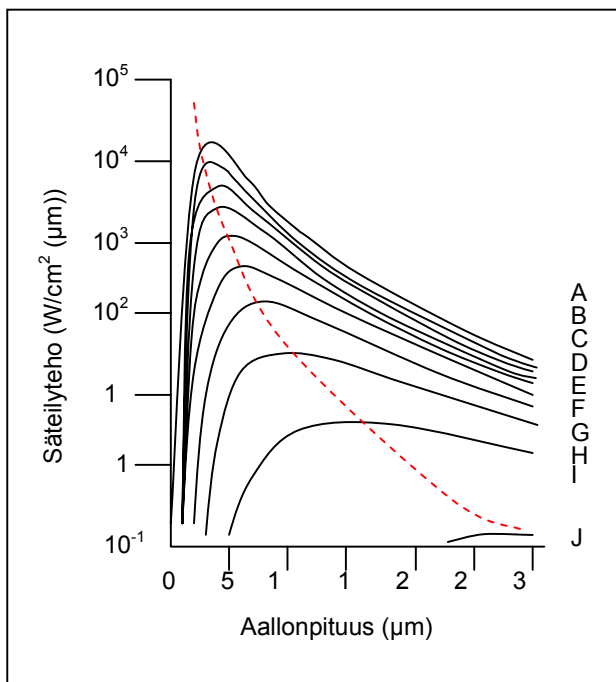
Derivoimalla Planckin kaavaa λ ja määrittämällä maksimikohta saadaan:

$$\lambda_{\max} = \frac{289}{T} [\mu\text{m}]$$

Tämä on Wienin kaava (*Wilhelm Wien*, 1864–1928), mikä ilmaisee matemaattisesti sen yleisen havainnon, jonka mukaan lämpötilan noustessa lämpösäteilijän väri vaihtuu punaisesta oranssin kautta keltaiseen. Väriin aallonpituus on sama, joka saadaan laskennallisesti kaavasta λ_{\max} . Minkä tahansa mustan kappaleen lämpötilan kaavan λ_{\max} mukaisen arvon hyvä likiarvo saadaan soveltamalla nyrkkisääntöä $3\,000/T$ mikrometriä. Näin siis erittäin kuumat tähdet, kuten Sirius (11 000 Kelvin), joka lähettää sinivalkoista valoa, säteilevät eniten paljaalle silmälle näkymättömällä ultravioletti-kaistalla, jonka aallonpituus on 0,27 mikrometriä [21]

Aurinko (noin 6 000 Kelvin) lähettää keltaista valoa, jonka huipputeho sijoittuu aallonpituudelle noin 0,5 mikrometriä, joka on näkyvän spektrin keskivaiheilla. [21]

Huoneenlämpötilassa (300 Kelvin) säteilytehon huippu sijoittuu kaukoinfrapunan kaistalle aallonpituudelle 9,7 mikrometriä, kun taas nestemäisen typhen lämpötilassa (77 Kelvin) miltei merkityksettömän säteilytehon huippu sijoittuu aallonpituudelle 38 mikrometriä, joka edustaa ääri-infrapunan kaistaa. [21]



Kuva 17. Planckin käyrät, jotka on piirretty puolilogaritmiselle asteikolle 100 Kelvin — 1000 Kelvin. Pisteviiva edustaa Wienin siirtymälain kuvaamaa, kunkin lämpötilan maksimisäteilytehon sijaintia. A: 1000 Kelvin; B: 900 Kelvin; C: 800 Kelvin; D: 700 Kelvin; E: 600 Kelvin; F: 500 Kelvin; G: 400 Kelvin; H: 300 Kelvin; I: 200 Kelvin; J: 100 Kelvin. [21]

Integroimalla Planckin kaava arvosta $\lambda = 0$ arvoon $\lambda = \infty$ saadaan mustan kappaleen kokonaissäteilyteho (W_b):

$$W_b = \sigma T^4 \text{ [Watt / m}^2\text{]}$$

Tämä on Stefan-Boltzmannin kaava (Josef Stefan, 1835–1893, ja Ludwig Boltzmann, 1844–1906), jonka mukaan mustan kappaleen kokonaissäteilyteho kasvaa

verrannollisesti absoluuttisen lämpötilan neljänteen potenssiin. Graafisesti kuvattuna W_b on Planckin käyrän alapuolella oleva tietty lämpötilaa vastaava alue. Voidaan osoittaa, että säteilyteho välillä $\lambda = 0 - \lambda_{\max}$ on vain 25 % kokonaistehosta, joka on suunnilleen auringon näkyvän valon alueella lähettämän säteilyn määrä. [21]

Jos ihmisruumiin säteilemä teho lasketaan Stefan-Boltzmannin kaavan mukaan lämpötilan ollessa 300 K ja antamalla ulkopinta-alksi noin 2 neliometriä, saadaan 1 kilowatti. Tämä on niin suuri tehohäviö, että se on jotenkin kompensoitava. Tämä tapahtuu ensinnäkin lisäämällä ympäristön heijastaman säteilyn määrää nostamalla lämpötila huoneenlämpöiseksi, mikä ei poikkea liikaa ruumiinlämpötilasta, ja toiseksi luonnollisesti käyttämällä vaatetusta. [21]

Toistaiseksi on käsitelty ainoastaan mustia kappaleita säteilijöinä ja niiden lähettämää säteilyä. Todellisen maailman esineet eivät juuri toteuta esiteltyjä lakeja merkittävillä aallonpituuskaistoilla, vaikkakin ne voivat toimia mustien kappaleiden tavoin tietyillä spektrin alueilla. Esimerkiksi jotkin maalityypit vaikuttavat näkyvässä valossa täysin valkoisilta, mutta muuttuvat selvästi harmaiksi, jos niihin kohdistetaan aallonpituudeltaan noin 2 mikrometrin säteilyä, ja yli 3 mikrometrin alueella ne näkyvät miltei mustina. [21]

On olemassa kolme ilmiötä, jotka toteutuessaan voivat estää todellisen maailman kappaleita toimimasta mustan kappaleen tavoin: osa sisään tulevasta säteilystä α voi absorboitua, osa ρ voi heijastua ja osa τ siirtyä. Koska jokainen näistä tekijöistä on enemmän tai vähemmän riippuvainen aallonpituudesta, käytetään alaindeksiä λ , joka ilmaisee näiden riippuvuuden spektrin alueesta. Täten:

- absorptiosuhde $\alpha_\lambda =$ kohteeseen absorboitunut säteily jaettuna kohteeseen tulleella säteilyllä.
 - heijastussuhde $\rho_\lambda =$ kohteen heijastama säteily jaettuna kohteeseen tulleella säteilyllä.
 - läpäisysuhde $\tau_\lambda =$ kohteen läpi siirtyvä säteily jaettuna kohteeseen tulleella säteilyllä.
- [21]

Koska näiden kolmen tekijän summan on aina vastattava kunkin aallonpituuden kokonaismäärää, saadaan relaatio:

$$\alpha_{\lambda} + \rho_{\lambda} + \tau_{\lambda} = 1$$

Läpinäkymättömien materiaalien tapauksessa $\tau_{\lambda} = 0$, jolloin relaatio pelkistyy muotoon:

$$\alpha_{\lambda} + \rho_{\lambda} = 1$$

Tietyssä lämpötilassa olevan kohteen tuottaman mustan kappaleen säteilytehon osan ε kuvaamiseksi tarvitaan emissiivisyydeksi kutsuttu lisätekijä. Näin saamme määritelmän:

Emissiivisyys ε_{λ} = kappaleen säteilytehon suhde vastaavan lämpöisen ja vastaavaa aallonpituutta lähettävän mustan kappaleen säteilytehoon. [21]

Matemaattisesti tämä voidaan ilmoittaa kohteen ja mustan kappaleen säteilytehojen suhteena seuraavasti:

$$\varepsilon_{\lambda} = \frac{W_{\lambda o}}{W_{\lambda b}}$$

Yleisesti säteilylähteet jakautuvat kolmeen tyyppiin, jotka eroavat toisistaan sen suhteen, miten niiden säteilyteho vaihtelee aallonpituuden mukaan.

- musta kappale, jonka $\varepsilon_{\lambda} = \varepsilon = 1$
- harmaa kappale, jonka $\varepsilon_{\lambda} = \varepsilon = \text{vakio}$, jonka arvo on alle 1
- selektiivinen säteilijä, jonka ε vaihtelee aallonpituuden mukaan Kirchhoffin lain mukaan kappaleen emissiivisyys ja absorptiosuhde ovat yhtä suuret kaikissa lämpötiloissa ja kaikilla aallonpituuksilla kappaleen materiaalista huolimatta. [21]

Toisin sanoen:

$$\varepsilon_{\lambda} = \alpha_{\lambda}$$

Tästä seuraa, että läpinäkyvämmän materiaalin (koska $\alpha_{\lambda} + \rho_{\lambda} = 1$):

$$\varepsilon_{\lambda} + \rho_{\lambda} = 1$$

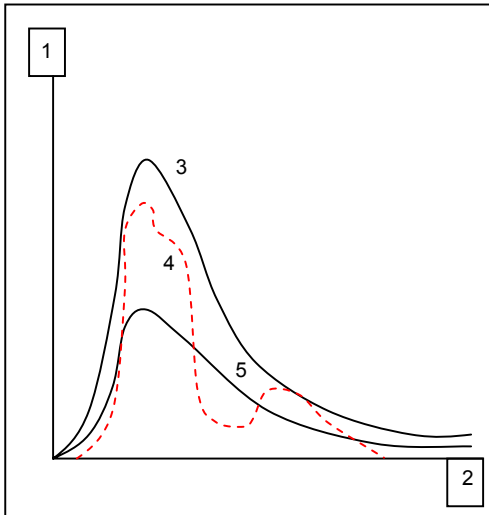
Erittäin kiiltävien materiaalien ε_{λ} lähestyy nollaa siten, että täysin heijastavan materiaalin (ts. täydellisen peilin tapauksessa) suhteen pätee:

$$\rho_{\lambda} =$$

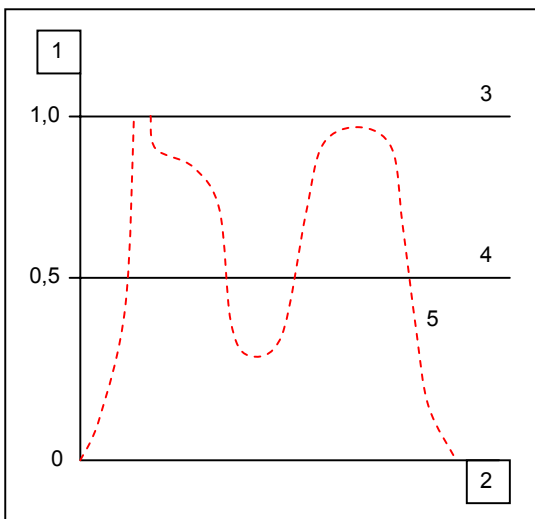
Harmaan säteilijäkappaleen tapauksessa Stefan-Boltzmannin kaava on muotoa:

$$W = \varepsilon \sigma T^4 \text{ [Watt / m}^2\text{]}$$

Tämä ilmoittaa, että harmaan säteilevän kappaleen koko säteilyteho on sama kuin vastaavassa lämpötilassa olevan mustan kappaleen säteilyteho vähennettynä verrannollisesti harmaasta kappaleesta lähtöisin olevan ε :n arvolla. [21]



Kuva 18. Kolmen säteilijätyyppin säteilyteho. 1: säteilyteho; 2: aallonpituus; 3: musta kappale; 4: selektiivinen säteilijä; 5: harmaa kappale. [21]



Kuva 19. Kolmen säteilijätyyppin emissiivisyys. 1: emissiivisyys; 2: aallonpituus; 3: musta kappale; 4: harmaa kappale; 5: selektiivinen säteilijä. [21]

Seuraavaksi tarkastellaan ei-metallista, puoliläpäisevää kappaletta, esimerkiksi paksua tasaista muovilevyä. Levyä lämmitettäessä massan sisään kehittyvä säteily pyrkii kohti kappaleen pintoja materiaalin lävitse, johon se osittain absorboituu. Lisäksi sen saapuessa pintaan osa säteilystä heijastuu takaisin kappaleen sisäosiin. Tämä takaisin heijastuva säteily absorboituu jälleen osittain, mutta osa siitä saavuttaa toisen pinnan, jonka lävitse suurin osa siitä poistuu osan heijastuessa uudelleen takaisin. Vaikka kappaleessa etenevät heijastukset heikkenevät jatkuvasti, ne on kaikki huomioitava

levyn kokonaisemittanssia määritettäessä. [21] Laskettaessa yhteen tuloksena oleva geometrinen sarja saadaan puoliläpäisevän levyn tehokkaaksi emissiivyydeksi:

$$\varepsilon_{\lambda} = \frac{(1 - \rho_{\lambda})(1 - \tau_{\lambda})}{1 - \rho_{\lambda}\tau_{\lambda}}$$

Levyn muuttuessa läpinäkyväksi tämä kaava supistuu yhteen kaavaan:

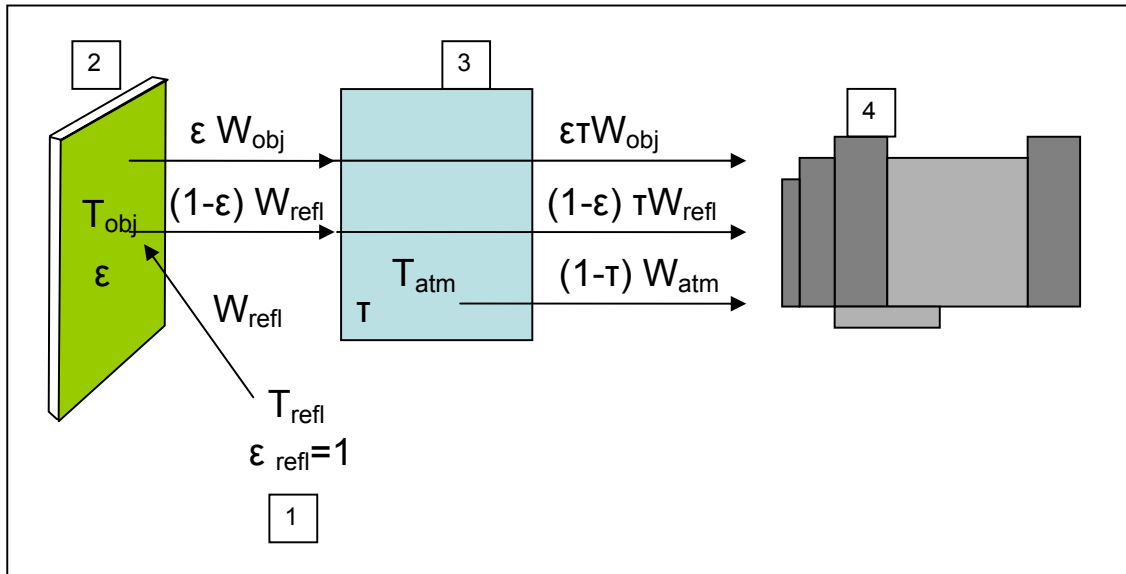
$$\varepsilon_{\lambda} = 1 - \rho$$

Tämä viimeksi annettu relaatio on erityisen käyttökelpoinen, koska heijastussuhteen mittaaminen usein on helpompaa kuin emissiivisyyden mittaaminen suoraan. [21]

Kuten jo mainittu, kohteeseen käännetty kamera ottaa vastaan myös muualta kuin kohteesta peräisin olevaa säteilyä. Osa säteilystä on peräisin kohteen pinnan heijastamasta ympäristöstä. Mittausreitit kaasukerros vaimentaa kumpaakin säteilyn komponenttia jossain määrin. Tässä vaiheessa on huomioitava kolmas säteilykomponentti, eli itse ilma. [21]

Seuraava mittaustilanteen kuvaus on toistaiseksi melko tarkka todellisten olosuhteiden kartoitus. Huomiotta on jätetty mm. auringonvalon sironta ilmassa tai näkökentän ulkopuolisesta voimakkaasta säteilylähteestä peräisin oleva hajasäteily. Tämänkaltaisille häiriöille on vaikea antaa numeroarvoa, mutta useimmissa tapauksissa niiden merkitys on mitättömän pieni. Sikäli kuin niitä ei voida jättää huomiotta, mittaustilanne on todennäköisesti sellainen, että häiriön vaara on ilmeinen etenkin kokeneelle operaattorille. Tässä tapauksessa operaattorin tehtävä on muuttaa mittaustilannetta siten, että häiriötekijöiden vaikutus voidaan eliminoida, mm. muuttamalla kameran suuntaa kohteeseen tai sulkemalla pois voimakkaat säteilylähteet. [21]

Mainittua lukua käyttäen johdetaan kaavan, jolla kohteen lämpötila voidaan laskea kalibroidun kameran antamasta mittaustuloksesta. [21]



Kuva 20. Tavanomaisen lämpötilan mittaustilanteen esitys kaaviona. 1: Ympäristö; 2: Kohde; 3: ilma; 4: Kamera. [21]

Oletetaan että säteilyteho W , joka on peräisin mustasta kappaleesta ja jonka lämpötila on T_{source} , saa lyhyellä etäisyydellä aikaan kameran mittaussignaalin U_{source} , joka on verrannollinen tulosignaaliin (kameran lineaarinen teho). Näin saadaan (yhtälö 1):

$$U_{source} = CW(T_{source}), \text{ or with simplified notation: } U_{source} = CW_{source}$$

, jossa C on vakio. [21]

Jos lähteenä käytetään harmaata kappaletta, jonka emittanssi on ϵ , vastaanotettu säteily olisi näin ϵW_{source} .

Nyt voidaan kirjoittaa säteilytehon kolme yhteistä tekijää:

1 – Kohteesta peräisin oleva säteily = $\epsilon \tau W_{obj}$, jossa ϵ on kohteen emittanssi ja τ ilman läpäisyysuhde. Kohteen lämpötila on T_{obj} .

2 – Ympäristöstä heijastunut säteily = $(1 - \epsilon) \tau W_{refl}$, jossa $(1 - \epsilon)$ on kohteen heijastuskerroin.

Ympäristölähteiden lämpötila on L_{hei} . [21]

Tässä oletetaan, että lämpötila T_{heij} on sama kaikille säteileville pinnoille, jotka vaikuttavat kohteeseen tämän pinnalta nähtävältä puolipalloilta. Tämä on joskus luonnollisesti todellisen tilanteen pelkistys. Toisaalta käyttökelpoisen kaavan saaminen edellyttää yksinkertaistuksia, ja L_{hei} voi – ainakin teoriassa – saada arvon, joka edustaa kompleksisen ympäristön tehollista lämpötilaa. [21]

On myös huomioitava tehty oletus, jonka mukaan ympäristön emittanssi = 1. Tämä on Kirchhoffin lain mukaan oikein: kaikki ympäristön pintoihin törmäävä säteily absorboituu lopulta samoihin pintoihin. Näin emittanssi = 1. (On huomattava, että viimeksi esitetystä arvioitavan kohteen oletetaan olevan täydellisen pallon sisällä.) [21]

3 – Ilmasta peräisin oleva säteily = $(1 - \tau)W_{atm}$, jossa $(1 - \tau)$ on ilman emittanssi. Ilman lämpötila on L_{ilma} . [21]

Vastaanotettu kokonaissäteilyteho voidaan näin ilmaista seuraavasti (yhtälö 2):

$$W_{tot} = \epsilon \tau W_{obj} + (1 - \epsilon) \tau W_{refl} + (1 - \tau) W_{atm}$$

Kukin tekijä kerrotaan yhtälön 1 vakiolla C ja korvataan tulot CW saman yhtälön mukaisella arvolla U, jolloin saadaan (yhtälö 3):

$$U_{tot} = \epsilon \tau U_{obj} + (1 - \epsilon) \tau U_{refl} + (1 - \tau) U_{atm}$$

Ratkaise yhtälö 3 arvolle U_{obj} (yhtälö 4):

$$U_{obj} = \frac{1}{\epsilon \tau} U_{tot} - \frac{(1 - \epsilon)}{\epsilon} U_{refl} - \frac{(1 - \tau)}{\epsilon \tau} U_{atm}$$

Tämä on kaikissa FLIR Systemsin lämpötilanmittauslaitteissa käytettävä yleinen mittauskaava. Kaavan jännitteet ovat:

U_{obj} = Laskennallinen kameran lähtöjännite mustalle kappaleelle, jonka lämpötila on T_{obj} eli jännite, joka voidaan muuntaa suoraan halutun kohteen todelliseksi lämpötilaksi.

U_{tot} = Kameran lähtöjännitteen todellinen mittausarvo.

U_{refl} = Teoreettinen kameran lähtöjännite mustalle kappaleelle, jonka tarkkuutuksen mukainen lämpötila on L_{hei} .

U_{atm} = Teoreettinen kameran lähtöjännite mustalle kappaleelle, jonka tarkkuutuksen mukainen lämpötila on L_{ilma} . [21]

Operaattori lisää laskelmassa tarvittavat parametrien arvot:

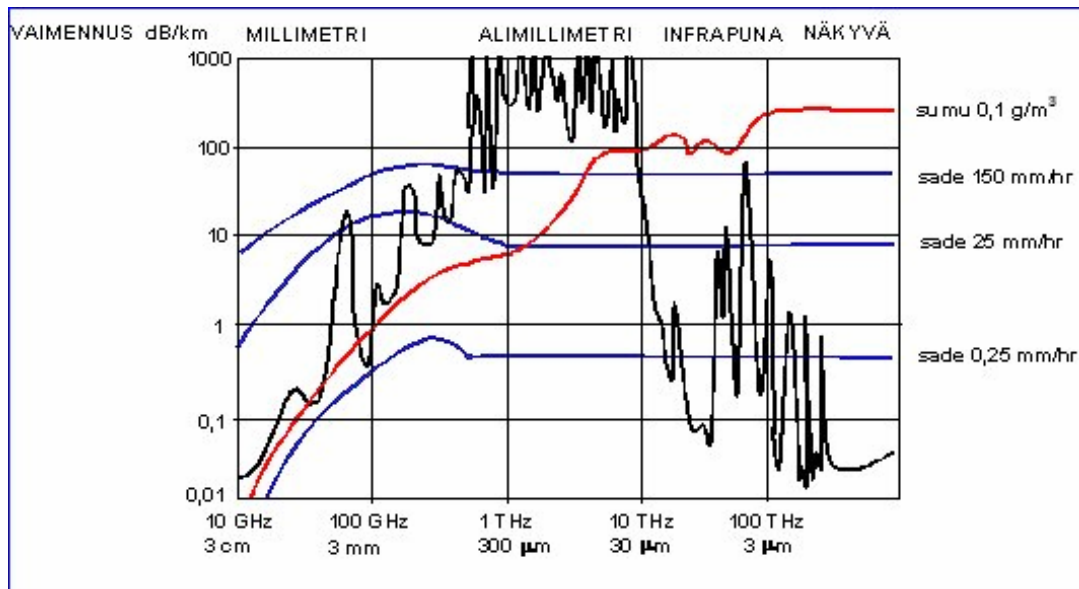
- kohteen emittanssi ϵ ,
- suhteellinen kosteus,
- L_{ilma}
- kohteen etäisyys (D_{obj})
- kohteen ympäristön (tehollinen) lämpötila, tai ympäristöstä heijastunut säteily L_{hei} ja
- ilman lämpötila on L_{ilma} [21]

Arvojen antaminen saattaa olla ajoittain ongelmallista, koska tavallisesti ei ole käytettävissä helppoa tapaa, jolla emitanssin ja ilman läpäisykertoimen todelliset arvot voidaan selvittää. Kyseiset kaksi lämpötilaa eivät tavallisesti muodostu ongelmallisiksi edellyttäen, että ympäristössä ei ole suuria ja voimakkaita säteilylähteitä. [21]

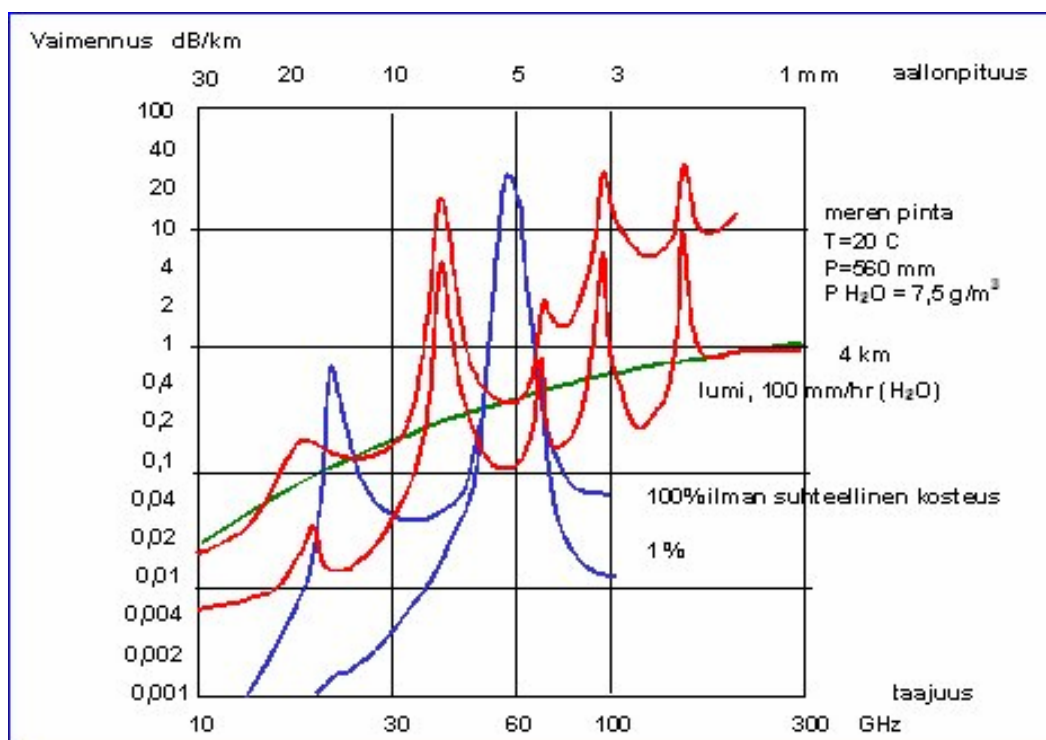
Oheiset kuvat esittävät kolmen säteilyyn vaikuttavan tekijän suhteellisen merkityksen kohteen kolmen lämpötilan, kahden emitanssiarvon ja kahden spektrialueen suhteen: lyhyet ja pitkät aallot. Muut parametrit saavat seuraavat kiinteät arvot:

- $\tau = 0.88$
- $L_{hei} = +20 \text{ °C} (+68 \text{ °F})$
- $L_{ilma} = +20 \text{ °C} (+68 \text{ °F})$ [21]

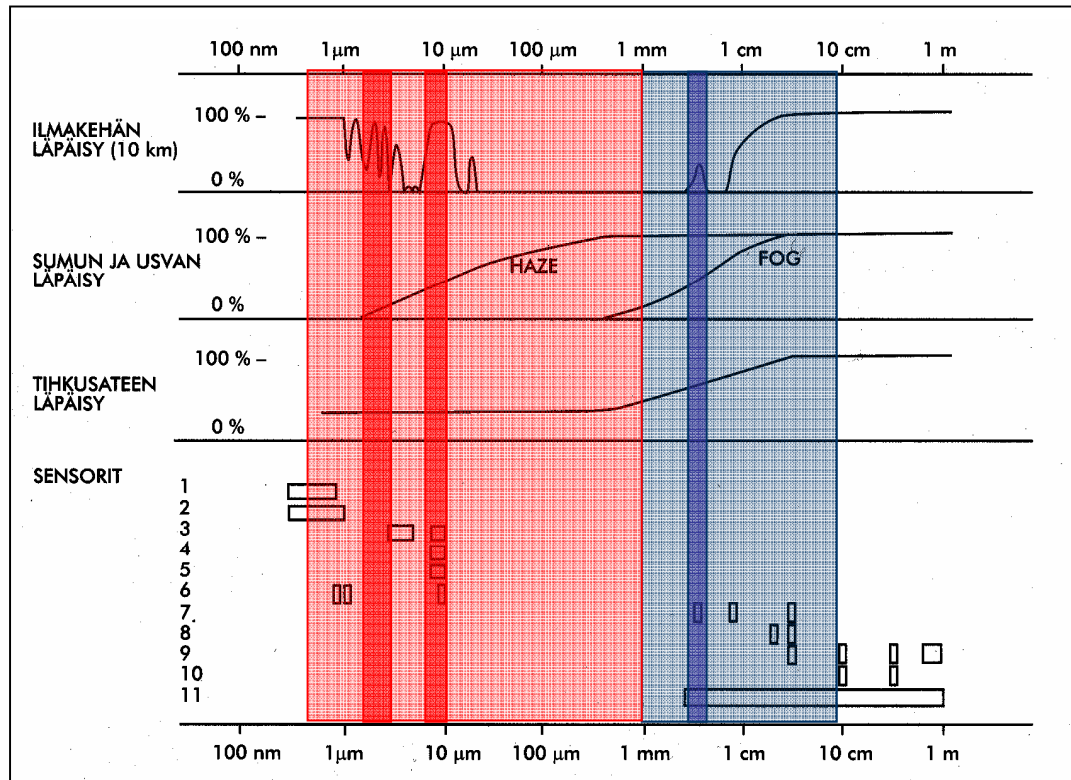
On ilmeistä, että kohteen matalien lämpötilojen mittaaminen on kriittisempää kuin korkeiden lämpötilojen. Tämä siksi, että ensin mainitussa tapauksessa ”häiritsevien” säteilylähteiden vaikutus on paljon suurempi. Tilanne vaikeutuu entisestään, jos myös kohteen emitanssi on pieni. [21] Säteilylähteiden suhteelliset voimakkuudet eri mittausolosuhteissa on esitelty liitteessä 3.



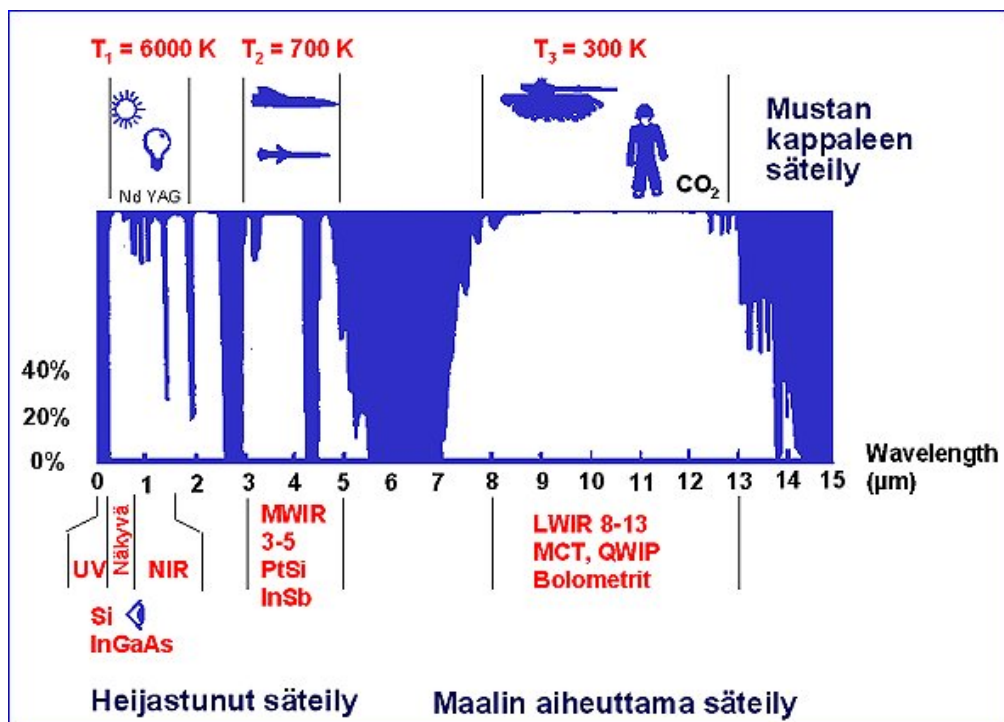
Kuva 21. Kirkkaan ilmakehän kaasujen absorptiosta johtuva vaimennus sekä kosteuden (sade ja sumu) aiheuttama lisävaimennus kasvaa voimakkaasti EHF-alueelta alkaen. [32]



Kuva 22. Ilmakehän aiheuttama vaimennus riippuvuus aallonpituudesta (punainen kirkkaassa ilmakehässä), ilmankosteudesta (sininen) ja sademäärästä. [32]



Kuva 23. Infrapuna- (punainen 780 nanometriä – 1 millimetri, tummanpunainen 3-5 mikrometriä ja 8-12 mikrometriä) ja millimetriaaltojen (sininen 1 millimetri – 10 senttimetriä, tummansininen ~94 gigahertsiä) läpäisykyky. [32]



Kuva 24. Infrapunän läpäisykanavat. [32]

2.1.3.1.1 Millimetriaalto

EHF-alueella (30–300 gigahertsiä) aallonpituus on millimetriluokkaa, jonka vuoksi alueesta käytetään myös nimitystä millimetriaaltoalue. Hyvin lyhyestä aallonpituudesta johtuen tutkajärjestelmien komponentit, erityisesti antennit, ovat pienikokoisia, minkä vuoksi millimetriaaltotutkia käytetään hyväksi ohjuksissa ja maaliin hakeutuvissa ammuksissa. EHF-taajuuksilla ilmakehän vaimennus on suuri, mikä pakottaa järjestelmät toimimaan ilmakehän vaimennusikkunoissa, esimerkiksi 94 gigahertsin alueella. [21]

Millimetriaaltoalueelta alkaen ilmakehän vaimennus kasvaa suureksi, minkä vuoksi millimetri- ja infrapuna-alueiden välissä ei juuri ole teknisiä sovelluksia. Ilmakehässä on millimetriaaltoalueella neljä kapeaa ikkunaa 8600, 3200, 2100 ja 1400 mikrometrin aallonpituuksilla (34, 94, 142 ja 214 gigahertsin taajuuksilla), jotka mahdollistavat lyhyen kantaman tiedonsiirto- tai sensorijärjestelmien käyttämisen näillä taajuuksilla. [32]

2.1.3.1.2 Infrapuna

Infrapunasensorin tehtävänä on muuntaa silmälle näkymätöntä infrapuna- eli lämpösäteilyä sähköiseksi suureeksi, joka voidaan edelleen tarvittaessa muuntaa näkyväksi kuvaksi tai tulkita suoraan tietokoneen avulla. Infrapunasäteily antaa informaatiota kohdealueen lämpötilajakaumasta. Taustaa lämpimämmät ja viileämmät kohteet erottuvat taustasta tai havaittu kohde voidaan tunnistaa sisäisen lämpötilajakaumansa avulla. Suurin osa infrapunajärjestelmistä toimii joko 3-5 mikrometrin tai 8-12 mikrometrin aallonpituuskaistalla. Näitä kutsutaan yleisesti ilmakehän ikkunoiksi, koska ilmakehä läpäisee infrapunasäteilyä hyvin näillä aallonpituuksilla. [48]

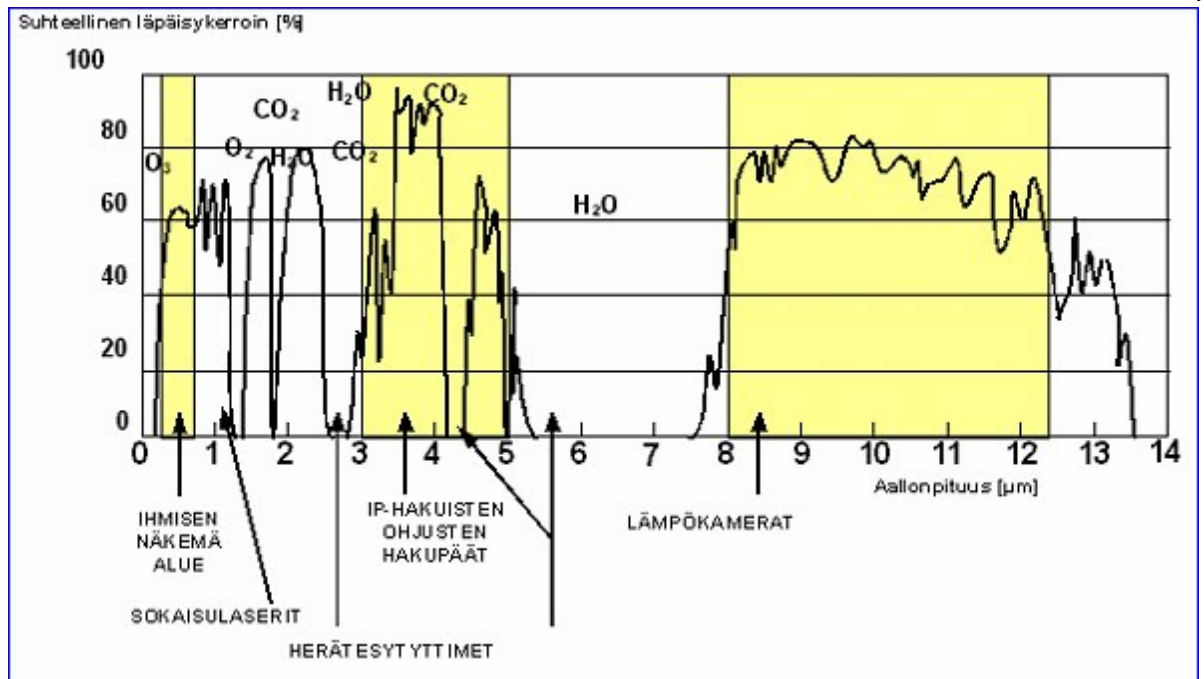
Infrapuna on näkyvää valoa pitkäaaltoisempaa sähkömagneettista säteilyä. Lähinnä valon aluetta ilmenevää infrapunaa kutsutaan lähi-infrapunaksi (Near InfraRed=NIR). Lämpösäteily on infrapunasäteilyä, joka on lähi-infrapunaa pitkäaaltoisempaa. Sitä lähettää jokainen kappale, jonka lämpötila on yli absoluuttisen nollapisteen (-273,16

astetta celsiusta) yläpuolella. Lämpösäteily liikkuu valon nopeudella, kuten muukin sähkömagneettinen säteily. Säteilyn voimakkuus korreloi kappaleen todelliseen lämpötilaan. [20]

Täydellistä mustakappaletta (=täydellinen säteilijä) lukuun ottamatta jokainen kappale myös heijastaa muista lähteistä tulevaa säteilyä. Kappaleen pintamateriaalirakenne määrittelee, kuinka suuri osa kappaleesta tulevasta säteilystä on sen itsensä lähettämää (emittoimaa). Metalliset paljaat pinnat heijastavat enemmän ympäristön energiaa kuin itse lähettävät. Tästä johtuen kiiltäviä metalleja ei voida varsinkaan matalissa lämpötiloissa (noin alle 100 astetta) mitata ollenkaan. [20] Muutamien materiaalien emissiivisyyslukuja on esitelty liitteessä 3.

Kappaleen säteilemän energian osuus kappaleen kokonaisenergian määrästä ilmaistaan emissiivisyytenä. Se on desimaaliluku nollan ja ykkösen väliltä. Mitä suurempi emissiivisyys, sitä vähemmän kappale heijastaa ympäristön energiaa ja sitä enemmän kappale säteilee lämpöä. [20]

Ilmakehän vesihöyry ja hiilidioksidi absorboivat osan lämpösäteilystä lyhyillä infrapunaa aallonpituuksilla. Tietyillä aallonpituuksilla lämpösäteily suodattuu lähes olemattomaksi. Lämpökamerat rakennetaan tämän johdosta ilmaisemaan ilmakehässä olevien "infrapunaikkunoiden" läpi. Käytännössä puhutaan lyhytaalto- ja pitkäaaltoalueesta. Keskiaaltoalue (Medium Wave, MW) on 3-5 mikrometriä, pitkäaaltoalue (Long Wave, LW) 8-12 mikrometriä. [20] Aaltojakaumasta käytetään myös seuraavia nimikkeitä: Near Infra-Red, NIR 780 nanometriä - 3 mikrometriä; Middle Infra-Red, MIR 3-6 mikrometriä; Far Infra-Red, FIR 6-15 mikrometriä. [32]



Kuva 25. VIS-, NIR-, MIR- JA FIR-alueen läpäisyikkunat. [32]

Eri aaltoalueilla lämpösäteily käyttäytyy huomattavan erilaisella tavalla. Kappaleiden emissiivisyys on yleensä pienempi keskiaaltoalueella. Emissiivisyys myös vaihtelee keskiaaltoisella mittauskaistalla selvästi enemmän. Lisäksi säteilyenergian erot ovat huomattavat. Alle 100 asteen lämpötilassa lämpösäteilyenergiaa on huomattavasti enemmän pitkäaalloalueella. Lämpökamerat kalibroidaan kuitenkin mittaamaan aallonpituuskaistasta riippumatta kohteen lämpötiloja oikein. [20]

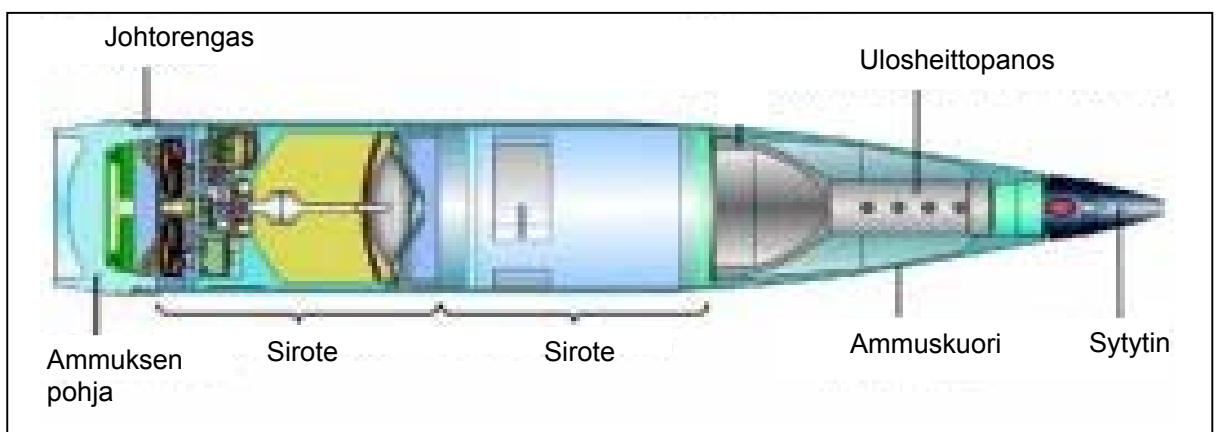
Lähellä näkyvän valon aluetta ei havaita kappaleen itse lähettämää lämpösäteilyä alle noin 650 astetta celsiusta vaikka alue määritelläänkin kuuluvaksi myös infrapuna-alueeseen. Tästä johtuen videokameroita, joissa on pimeäkuvausmahdollisuus (infrapunakuvaus), ei voida käyttää lämpökuvaukseen, koska näissä kameroissa ilmaistaan juuri ja juuri silmälle näkymätöntä valon alueen osaa, joka "valaistaan" infrapunaledeillä, eikä kappaleen itsensä lähettämää varsinaista lämpösäteilyä. Samaa aluetta hyödynnetään mm. television kaukosäätimissä, tietokoneiden ja matkapuhelinten langattomassa tiedonsiirrossa ja joissain langattomissa kuulokkeissa. Joissakin erikoissovelluksissa hyödynnetään myös lähi-infrapunan alueella toimivia kameroita ilmaisemaan vettä. Veden absorptio on erittäin voimakasta lähi-infrapunan alueella, joten lähi-infrapunakuvassa vesi näkyy täysin mustana. [20]

Infrapunasensorit soveltuvat erinomaisesti järjestelmiin, joilta vaaditaan pimeätoimintakykyä, koska ne eivät vaadi toimiakseen ulkopuolista valoa kuten näkyvän valon ja lähi-infrapuna-alueen sensorit vaativat. Infrapunasensorit ovat myös täysin passiivisia eli ne eivät paljasta olemassaoloaan viholliselle. Lisäksi tavalliset taistelukentän suojasavut ovat läpinäkyviä infrapuna-alueen sensoreille. [48]

Infrapunasensorijärjestelmien suurin heikkous on niiden suorituskyvyn melko voimakas riippuvuus vallitsevista sääolosuhteista. Erityisesti ilman sisältämän veden määrän sekä ilmassa leijuvien aerosolihiukkasten koko ja määrä vaikuttavat infrapunasensoreiden suorituskykyyn. Ilmassa olevan vesihöyryn vaikutus voidaan laskea melko helposti suhteellisen kosteuden ja lämpötilan avulla, mutta aerosolien vaikutuksen huomioon ottaminen on yleisesti hankalaa. [48]

2.1.3.2 Kranaatti

Ampumatarvike on käytännössä kuorma-ammus jonka hakupää sijaitsee siroteissa.



Kuva26. SMARt-ammuksen rakenne. [13]

SMARt ammus on ulkoiselta rakenteeltaan kuten tavallinen sirpalekranaatti. Kranaatti painaa 47 kiloa ja saavuttaa valmistajan ilmoittamien tietojen mukaan, tykkikalustosta riippuen, jopa 27,5 kilometrin ampumaetäisyyden. [13] BONUS lupaa jopa 33 kilometrin ampumaetäisyyden. [10]

Kranaatti koostuu kahdesta sirotteesta, joita kranaatti vapautta ulosheittopanosella lentoradan tietyllä kohdalla. Ulosheittopanos toimii aikasytyttimellä. [46]

2.1.3.3 Ampumatarvikkeen toiminta

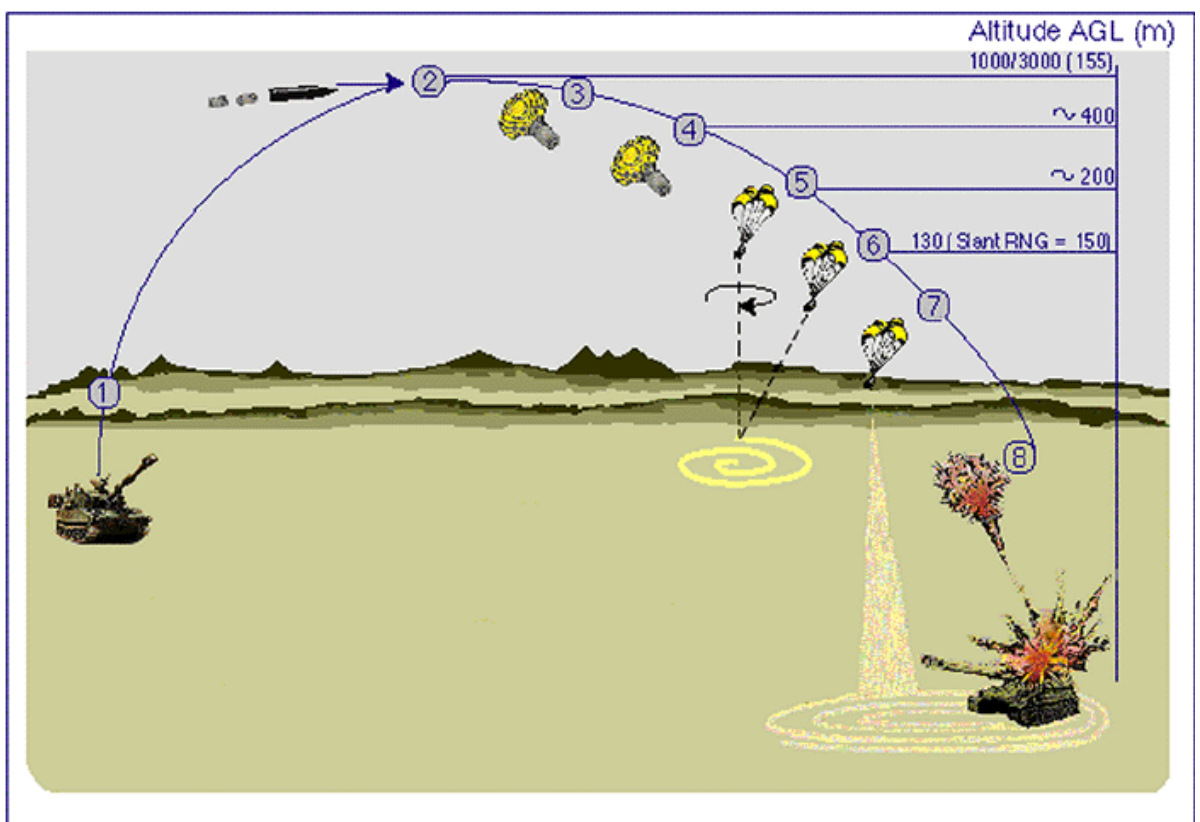
Tässä luvussa on esitelty SADARM ja Bonus-ammuksien toimintaa. SMART-ampumatarvikkeen toiminta on hyvin samanlainen. [32] Molemmat ampumatarvikkeet on suunniteltu panssaroituja ajoneuvoja vastaan. SADARM-ammus on suunniteltu lähinnä panssarihaupitseja ja muita kevyemmin panssaroituja ajoneuvoja vastaan, kun taas Bonus-ammuksella on noin 100 millimetrin panssariläpäisykyky. [12]



Kuva 27. Vasemmalla SMART ammuksen halkaistu sirote. Kuvassa sirotteen laskuvarjo on laukaistuna. [13] Oikealla Bonuksen sirote. [10]

Kuorma-ammus laukaistaan 155 millimetrin kaliiperisella tykillä. Jokaisessa kuorma-ammuksessa on kaksi sirotetta. [12] Sirotteet vapautuvat kuorma-ammuksesta kun vauhti on hidastunut 300 metriä sekunnista noin 100 metriin sekunnissa [10] noin kilometrin korkeudella maanpinnalta [3]. Kun sirotteet on vapautettu kuorma-ammuksesta, ne laukaisevat laskuvarjon kaltaisen jarrutuslaitteen ennalta määritetyllä korkeudella. Samalla sirote vapauttaa stabilisoivat ja kiertoliikettä synnyttävät siivekkeet. [12] Pyörimisnopeus on suuri, yli 10 kierrosta sekunnissa. [10] Kranaatin laskiessa ja kiertäessä millimetriaallon sensori ja infrapunainen sensorijärjestelmä tarkkailevat maanpintaa. Käyttämällä molempia sensoreita ja havaintologiikkaa hakupää tunnistaa maaleja useammassa ilmastossa. Testejä on kuitenkin

pääsääntöisesti suoritettu aavikko-olosuhteissa. [12] Maalinsintävaiheessa sensorit pyörivät lyhenevän spiraalin muodossa jolloin alueelta on mahdotonta päästä ulos. Muutamassa sekunnissa hakupää on tarkistanut yli 30 000 neliömetrin kokoisen alueen. [10] Mikäli sensorit havaitsevat maalin, suorittaa hakupää maalihierarkkisen päätöksen [10, 12] ja laukaisee suunnatun räjähtävän panoksen. Räjähde on kartiomuotoinen. [12] Panoksen nopeus on jopa 2000 metriä sekunnissa ja se laukaistaan noin 150–200 metrin korkeudelta. [3, 10] Jos maalia ei havaita, kranaatti suorittaa itsetuhon. [12]



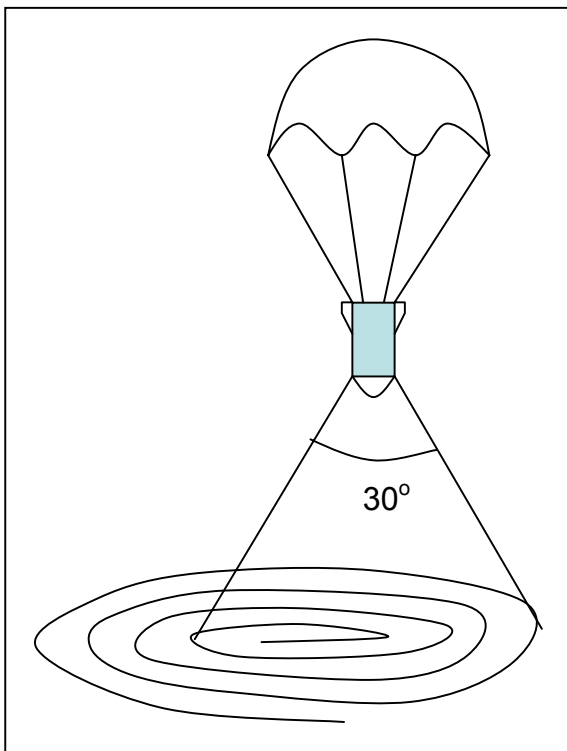
Kuva 28. 1. Toimitus; 2. Vapauttaminen; 3. Jarrutusvaihe ja korkeuden mittaaminen; 4. Laskuvarjon aukaisu; 5. Sensoreiden aktivoiminen; 6. Maalialueen skannaus ja laukaisun mahdollistaminen; 7. Havainnon saanti; 8. Skannauksen vahvistama laukaisu. [12]

Tämän tyyppisten ammusten tehokas käyttö edellyttää maalin pysymistä paikallaan tai korkeintaan hidasta liikettä. Ammustyyppejä lienee parhaimmillaan laajoja panssarivaunumuodostelmia tulittaessa. [46]

2.1.3.4 Hakupää

Kuten aikaisemmin on mainittu, hakupää sijaitsee sirotteessa. Hakupäässä on sekä millimetriaallonpituuden että infrapuna-alueen sensorit. Infrapunasensori käyttää pääsääntöisesti kahta aallonpituutta, 2-5 ja 8-12 mikrometriä. Parikaistan käyttö antaa infrapunasensorille paremman suojan vääriä signaaleja vastaan. Millimetriaaltosensorit toimivat tavallisesti noin 94 megahertsin kaistalla. [3]

Hakupään käynnistyttyä molemmat sensorit aloittavat maalialueen tutkaamisen. Hakupää kykenee näkemään 30 asteen kaistalle ja kiertää siivekkeiden avulla spiraalimuotoista aluetta. [3]



Kuva 29. Hakupään maalialueen tutkaaminen. [3]

Hakupäässä sijaitsee myös radiometrinen tutka, jolla sirote mittaa korkeutensa määrittääkseen projektiilin laukaisun vaatiman korkeuden. [49]

Hakupään toimintaan vaikuttavia tekijöitä on esiteltynä kadetti alikersantti Tuomo Ahosen tutkimuksesta saadussa taulukossa 3. Taulukossa ilmoitetut lukemat ovat

olosuhteiden vaikutus ampumatarvikkeen tuhoamistodennäköisyyteen. Olosuhteiden vaikutus on tarkemmin esitelty liitteessä 4. Taulukosta 3 saadut havainnot esitellään kohdassa 5.3.

Olosuhde	Tuhoamistodennäköisyys	
	SMARt	BONUS
Pouta (optimiolosuhte)	0,21	0,34
Vesisade	0,16	0,26
Lumi	0,21	0,33
Sumu	0,21	0,04
Pilvikorkeus	0,21	0,03

Taulukko 3. Olosuhteiden vaikutus tuhoamistodennäköisyyteen.

Arvoja on muutettu siten, että jos samana päivänä voi vaikuttaa kaksi olosuhdetta, niin heikompi on otettu huomioon ja lopuksi suhteutettu 100 prosenttiin.

2.2 Savuammus

Taistelukentän muuttuvat uhkakuvat, ennen kaikkea strategisen iskun mahdollisuus, asettavat tulevaisuuden suojasavuille uusia vaatimuksia. Taktiselta kannalta oleellisia vaatimuksia ovat ainakin:

- multispektrinen peittävyys: ultravioletti – näkyvä - lähi-infrapuna-alue, terminen infrapuna-alue (2-5 ja 8-14 mikrometriä), mahdollisesti myös millimetrialue alle 10 millimetrin kaistalla (sisältää esimerkiksi tutkataajuualueet 35 ja 94 gigaherts)
- savun muodostumisnopeus ja kyky suunnata savu oikea-aikaisesti uhkasektoriin
- savujen ja harhautusjärjestelmien integroitavuus
- hyvä varastoitavuus, hyvä kuljetuskestävyys. [48]

Pyroteknisellä aineella saadaan aikaan haluttu lämpö-, savu-, valo-, viive-, ääni- tai muu vastaava vaikutus. Pyroteknisten massojen pääkomponentit ovat polttoaine ja hapetin, jotka saatetaan reagoimaan sytyttämällä tai räjäyttämällä. Ne tuottavat savua

tai sumua, valoa ja ääntä. Pyroteknisiin massoihin luetaan myös aikautusmassat, joita käytetään pyroteknisissä välineissä. [57]

Pyroteknisinä ampumatarvikkeina tutkitaan tykistön käyttämiä valo- ja savuammuksia. Tämän luvun päälähteenä on kemiallisten reaktioiden ja aineiden käyttäytymisen osalta käytetty Yleistä ase- ja asejärjestelmäopasta.

2.2.1 Pyrotekniikka

Pyroteknisten massojen polttoaine (pelkistin) on alkuaine tai yhdiste, jolla on kyky luovuttaa elektroneja. Ilmiötä nimitetään palamiseksi silloin, kun polttoaine yhtyy happeen, muulloin puhutaan hapettumisesta, joka voi olla hyvinkin kiivas reaktio. Pyroteknisissä massoissa käytetään polttoaineina tavallisimmin

- metallijauheita (alumiini, magnesium tai sinkki)
- fosforia (punainen tai valkoinen)
- hiiltä (grafiitti, noki)
- rikkiä, booria tai piitä
- orgaanisia yhdisteitä (antraseeni, naftaleeni, hiilihydraatteja esimerkiksi tärkkelys, sokerit) ja
- polymeerejä (hartsit). [57]

Hapetin on aine (alkuaine tai yhdiste), jolla on kyky vastaanottaa elektroneja. Hapettimet ovat yleensä happea sisältäviä yhdisteitä. Hapettimena voivat toimia happea sisältämättömät aineet ja yhdisteet, mutta niillä täytyy olla kyky vastaanottaa elektroneja. Hapettimena pyroteknisissä massoissa käytetään tavallisimmin

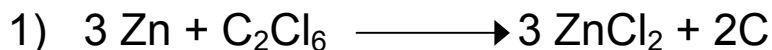
- kloraatteja (bariumkloraatti ja kaliumkloraatti)
- perkloraatteja (ammoniumperkloraatti, barium-, kalium-, litium tai strontium-perkloraatit)
- nitraatteja (ammoniumnitraatti, barium-, kalium-, litium- tai strontiumnitraatti)
- oksideja (kupari-, mangaani-, rauta-, sinkki- ja lyijyoksidit sekä lyijy-, titaanidioksidit)
- kromaatteja (barium- tai lyijykromaatit) ja
- heksakloorietaania. [57]

Kaliumkloraaattia käytetään hapettimena pääasiassa sytytys- ja valaisumassoissa. Se voi olla pääkomponenttina myös kloraatiräjähdyksaineissa. Kaliumkloraaatti liukenee huonosti kylmään veteen. Kaliumnitraattia käytetään pääasiassa sytytys- ja valaisumassoissa sekä mustaruudissa hapettimena. Kaliumnitraatti reagoi kiivaasti kuumennettaessa boorin, rikin, sulfidien, natriumasetaatin, syttyvien orgaanisten aineiden (öljy), talin ja kuituaineiden kanssa. Se liukenee helposti veteen. Natriumnitraattia käytetään seosaineena (noin 10 prosenttia) dynamiiteissa. Pyrotekniikassa sitä käytetään valaisumassoissa sekä hapettimena että kellertävän valon tuottajana. Se on palo- ja räjähdysvaarallinen kuumennettaessa joko yksistään tai pelkistävien aineiden kanssa. Natriumnitraatti on hygroskooppista ja liukenee hyvin veteen. Merkkisavuissa väriaine on polttoaineen ja hapettimen ohella pääkomponentti. Merkkivalo- ja valaisumassoissa käytetään hapettimena haluttua väriä synnyttävää ainetta, jolloin erillistä väriainetta ei tarvita. [57]

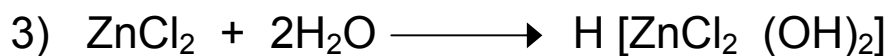
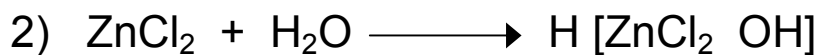
Pyroteknisissä massoissa käytetään lisäaineina erilaisia sideaineita, kosteudensuoja-aineita, hidastimia ja kiihdyttäjiä reaktionopeuden säätelyä varten sekä valmistusta helpottavia aineita ja flegmatiointiaaineita. Sideaineina käytetään hartseja, vahoja, muoveja ja öljyä. Näiden avulla saadaan pyroteknisistä massoista tasalaatuisempia ja ne estävät eri seoskomponenttien erottumista. Ne parantavat hapettimien ja pelkistimien tarttumista toisiinsa, jolloin puristeen tiheys ja paloteho kasvavat ja syttymisherkkyys huononee. Kosteudensuoja-aineina käytetään hartseja, stearaatteja, vahoja, muoveja öljyjä ja lakkoja. Oittain samoja aineita voidaan käyttää myös hidastimina (epäorgaanisia suoloja, muoveja, hartseja, vahoja ja öljyä). Ne hidastavat reaktionopeutta. Talkkia käytetään helpottamaan massan juoksevuuksi valmistettaessa. [57]

Esimerkkinä savumassoista on harmaa savumassa, joka koostuu sinkkijauheesta, heksakloorietaanista ja jauhetusta trotyylistä. Trotyyli nostaa seoksen palamislämpötilaa ja stabiloi savumassaa estäen sulaessaan savumassan itsesyttymisen. Se vaikuttaa paloreaktion ylläpitämiseen, mutta ei varsinaisesti savun muodostukseen. Savun muodostuminen perustuu useampivaiheeseen reaktioketjuun seuraavasti:

Primäärivaihe:

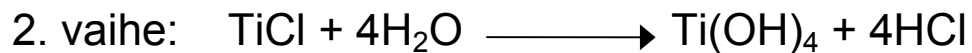
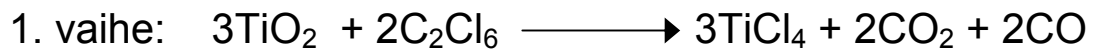


Jatkoreaktiot:



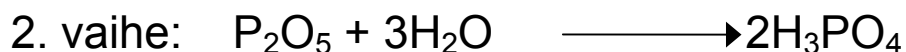
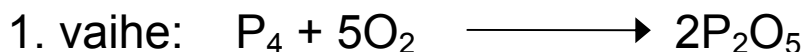
Reaktioketjun aluksi sinkki hapettuu kloorin vaikutuksesta sinkkikloridiksi, joka on muodostuvan primäärisumun pääkomponentti. Jatkoreaktioina ilmankosteus reagoi massassa olevien komponenttien ja palamisreaktioissa syntyvien välituotteiden kanssa, joista myrkyllisin on sinkkidikloridi (ZnCl_2). Seuraavassa vaiheessa pienen hiukkaskoon omaava primääriaerosoli reagoi ilman kosteuden kanssa muodostaen peittävän sumun, jonka hiukkaskoko on noin kymmenenkertainen primäärisumuun verrattuna. Savun tummuus johtuu ensimmäisen reaktiovaiheen jäännöshiilestä. Mitä kosteampaa ilma on, sitä peittävämpi savusta tulee jatkoreaktion seurauksena. Jos harmaata savumassaa poltetaan suljetussa tilassa, muodostuu pääasiassa primäärisumua, koska ilman kosteus ei riitä hydrolysoimaan kaikkea sinkkikloridia. Pienen hiukkaskoon omaava primäärisumu tunkeutuu hengitettäessä syvälle keuhkoihin aiheuttaen ärsytystä ja jopa vakavia keuhkovammoja. Lisäksi palamisjäänteinä syntyy edellä mainitun sinkkikloridin lisäksi terveydelle vaarallista suolahappoa (HCl). Myrkyllisyytensä vuoksi harmaan savun käyttö suljetuissa tiloissa on kielletty. [57]

Toisena esimerkkinä on titaanidioksidisavumassa, joka koostuu titaanidioksidista, heksakloorietaanista ja alumiinista. Savumuodostus perustuu kaksivaiheiseen reaktioon seuraavasti:



Jatkoreaktiossa titaanitetrakloridi reagoi edelleen ilman kosteuden kanssa muodostaen titaanihydroksidia ja suolahappoa. [57]

Valkoista ja punaista fosforia käytetään sekä savuaineena että lämpöä synnyttävänä aineena. Fosforisavu muodostetaan esimerkiksi siten, että kranaatin räjähtäessä täytteenä oleva fosfori hajoaa ilmaan ja reagoi hapen kanssa palaen fosforipentoksidiksi muodostaen kosteuden vaikutuksesta valkoisia fosforihappopisaroita. Pisarat ovat hyvin pieniä ja pysyvät pitkään ilmassa muodostaen savuverhon. Reaktio tapahtuu seuraavissa vaiheissa: [57]



Öljysavuissa käytettävä öljy suihkutetaan pieniksi pisaroiksi. Tämä voidaan tehdä joko erillisillä savugeneraattoreilla tai ruiskuttamalla öljy esimerkiksi panssarivaunun kuumaan pakosarjaan. [57]

Infrapunasavu antaa suojan passiivisia infrapunatiedusteluvälineitä vastaan. Toimintamekanismi perustuu siihen, että savun hiukkaskoko on sopiva peittämään infrapunasäteilyn käytetyimmät aallonpituusalueet 3-5 ja 8-14 mikrometriä. [57]

Infrapunasavuilla on kaksi toimintaperiaatetta:

- "Puhdas" aerosoli, jonka vaikutus perustuu lähinnä sirontaan. Sillä on sopiva hiukkaskokojakauma (< 20 mikrometriä) ja se peittää kohteen estämällä säteilyn etenemisen. Esimerkiksi talkki, metallipöly ja noki ovat tällaisia aineita.
- Lämmin aerosoli perustuu hiukkasten omaan säteilyyn ja se "kyllästää" lämpökuvan, jolloin kohdetta ei enää voi erottaa savuverhon takaa. [54]

Merkkisavuja käytetään värillisen savuun perustuvissa merkinantovälineissä. Toimintamekanismi perustuu siihen, että massassa oleva orgaaninen väriaine höyrystyy palamisreaktion lämmön vaikutuksesta. Tullessaan säiliöstä ulos höyry tiivistyy hienojakoisiksi värihiukkasiksi. Polttoaineena käytetään esimerkiksi sokeria, hapettimena kaliumkloraattia ja väriaineena antrakininiväriaineita. Sideaineina voidaan käyttää muoveja, jolloin massoista saadaan valettavia. Värisavuille on tärkeää, että savua muodostuu riittävästi ja värit erottuvat toisistaan ja käyttöympäristöstään. Käytettyjä värejä ovat violetti, punainen, keltainen ja oranssi. [57]

Epäpuhtaudet heikentävät pyroteknisten massojen stabiliteettia. Säilyvyyden, varastointikestävyyden ja toiminnan kannalta kosteus on haitallisinta, koska se aiheuttaa hajoamisreaktioita, jotka saattavat johtaa jopa itsesyttymiseen. Kostuneet massat eivät myöskään toimi odotetulla tavalla. Pyrotekniset massat on varastoitava niin, että niihin ei pääse kosteutta missään vaiheessa. Massassa epäpuhtauksina olevat metallit saattavat muodostaa galvaanisen parin metallijauheen kanssa (esimerkiksi kupari-lyijy pari) kostuneissa massoissa ja nopeuttaa näin massan pilaantumista varastoitaessa. [57]

Pyroteknisten massojen lähtöaineista voi syntyä yhteensopimattomia yhdistelmiä, joissa reaktiot voivat lähteä liikkeelle itsestään ja kehittyä voimakkaasti aina räjähdykseen saakka. Valkoinen fosfori syttyy joutuessaan kosketuksiin ilman kanssa. Kaliumkloraatin (KClO_3) joutuessa tekemisiin ammoniumsuolojen kanssa saattaa syntyä ammoniumkloraattia (NH_4ClO_3), joka voi hajota itsestään eksotermisesti (lämpöä voimakkaasti vapauttaen) ja seurauksena voi olla itsestään syttyminen ja räjähtäminen. Ammoniumkloraatti reagoi räjähtämällä 94 celsius asteessa, 100 celsius asteessa kolmessa ja 107 celsius asteessa kahdessa minuutissa. [57]

Ammoniumnitraatti ja klooraattiseokset ovat yleensä sopimattomia syttymisherkkyyden vuoksi. Esimerkiksi AN + KClO_3 – seos stökiometrisessä suhteessa räjähtää jo 120 celsius asteessa. Kaliumklooraatti – rikkiseos saattaa syttyä itsestään happamissa olosuhteissa. Happamuuden poistamiseksi näissä seoksissa käytetään yleensä neutralointiainena karbonaatteja, jotka lisätään rikkiin tai kaliumklooraattiin ennen sekoittamista. Kaliumklooraatin tai –perklooraatin ja punaisen fosforin saa sekoittaa vain kosteana, sillä seos on niin herkkää, että se saattaa syttyä sekoituksessa syntyvästä hankauksesta tai aivan itsestään sekoituksen jälkeen. Glyseroli – kaliumpermanganaatti seos syttyy 10 – 20 sekunnin kuluttua aineiden yhdistämisestä. Ammoniumnitraatin, kaliumklooraatin tai –perklooraatin ja öljyn seokset ovat räjähdysaineita. [57]

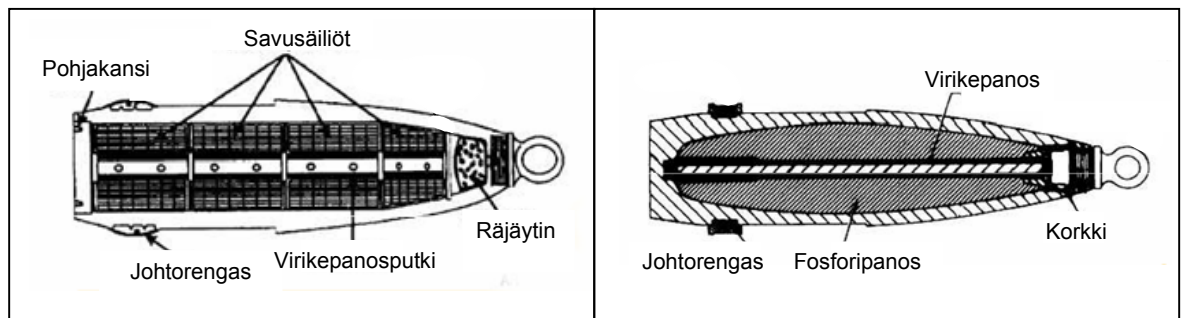
2.2.2 Sytytin

Aikasytyttimiä käytetään savu-, valo- ja kuorma-ammuksissa sekä kranaateissa, joiden halutaan räjähtävän ilmassa kohteen läheisyydessä tehokkaan sirpalevaikutuksen aikaansaamiseksi. Aikasytyttimen toiminta on kohteesta riippumaton. Ennen ammuntaa, sytytin aikautetaan toimimaan määrätyn ajan kuluttua laukaisusta. Aikasytyttimen aikautus voi olla mekaaninen, paloaikaan perustuva tai sähköinen. Aikasytytin voi olla varustettu myös iskulaitteella, jolloin se lentoajan ylittävän aikautuksen johdosta toimii iskusta kohteeseen. [57]

Mekaanisella kellokoneistolla varustettu aikasytytin vapauttaa halutulla hetkellä iskurin, joka iskee jännitetyn jousensa vaikutuksesta sytytysnalliin. Pyroteknisen aikasytyttimen paloaikakanavan palettua määrättyssä ajassa pääsee ruutikanavasta liekki yhteyskanavaan aiheuttaen muiden nallien toiminnan. Elektronisen aikasytyttimen ohjauselektronikka antaa määrääjän kuluttua sähkövirtapulssin sähkönallille, joka välittää räjähdysten eteenpäin. [57]

Aikasytyttimien iskutoiminta on toteutettu yleensä samalla tavalla kuin jäykkätoimisissa iskusytyttimissä. Sähkötoimisissa sytyttimissä iskutoiminta toteutetaan yleensä sähkönallilla siten, että sytyttimen iskeytyessä kohteeseen sähkövirta kytkeytyy mekaanisesti sähkönallille. [57]

2.2.3 Kranaatti



Kuva 30. Vasemmalla heksakloorietaanilla ja oikealla valkoisella fosforilla toimivat panokset. [22, 23]

Savuaine on pakattuna kranaattiin joko säiliöihin tai suoraan ammuskuoreen. Kummassakin tapauksessa räjähdys välittyy iskusytyttimen räjähtäessä, joko suoraan tai räjäyttimen välityksellä virikepanoksen kautta savumassaan. [22, 23]

2.2.4 Ampumatarvikkeen toiminta

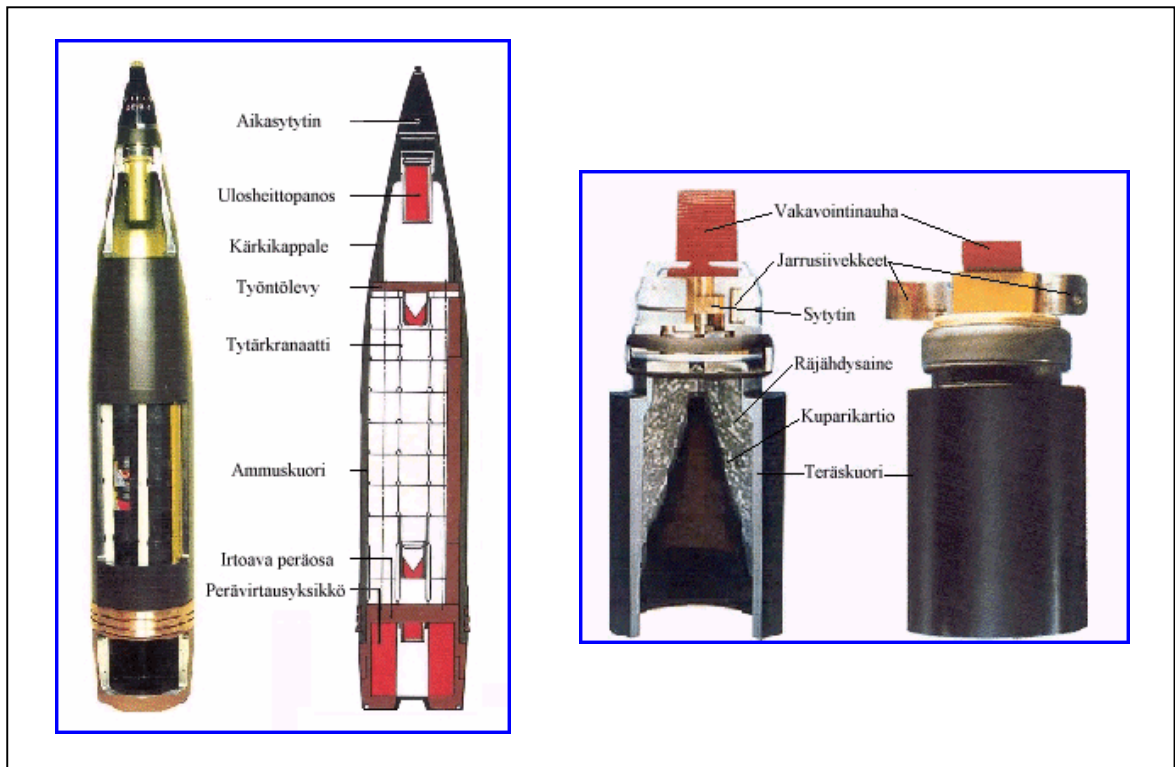
Savuammus lentää yleensä kokonaisena maanpintapisteeseen, jossa savupanos syttyy iskusytyttimestä. Käytettäessä matalalla toimivaa herätesytytintä savupanos syttyy ilmassa ja savun peittävyys on parempi erityisesti pehmeässä maastossa ja lumessa. Iskemän paikka on valittava siten, että tuuli kuljettaa savun halutulle alueelle. [29]

2.3 Kuorma-ammus

Kuorma-ammuksia ovat ammuksien kuoret, joiden kuorella ei ole ammusvaikutusta ja jotka purkavat kuormansa ilmassa maalialueen yläpuolella. Tavallisimpia kuorma-ammuksia ovat valaisu-, miina- ja siroteammukset. [29]

Kuorma-ammuksia käytetään yleensä maalin ollessa laaja ja käsittäessä panssaroituja ajoneuvoja. Kuorma-ammuksilla on varsin suuri tuho vaikutus. Kuorma-ammuksien tytär ammuksina voi olla esimerkiksi panssariammuksia tai sirpaleammuksia. [30]

Tykistön kuorma-ammus koostuu kuoresta, aikasytyttimestä, ulosheittopanaxesta, panoskupista, männästä, 15-180 tytärkruanaatista kaliiperista riippuen, tytärkruanaattien tukikappaleista ja -holkeista, kiilasta sekä ontelo- tai perävirtausyksiköllisestä peräosasta. Kuoren kärkiosa valmistetaan usein alumiinista ja lieriöosaan laminoidaan lasikuituvyö, jotta ammuksen painoa saadaan pienennettyä. [45]



Kuva 31. Kuorma-ammus ja tytärkruanaatti.

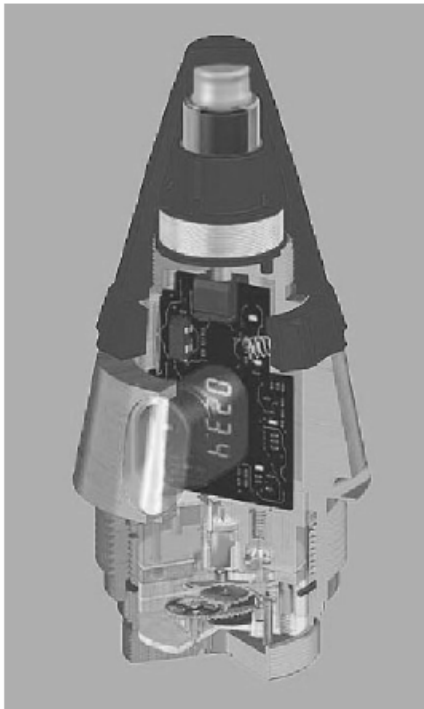
Tytärkruanaatti muodostuu sirpaloituvasta teräskuoresta, kuparikartiosta, räjähdysaineesta, itsetuholla varustetusta sytyttimestä, jarrusiivekkeistä ja vakavointinauhasta.

Kuorma-ammuksia tarkasteltaessa päälähteenä on käytetty kadettialikersantti Jari Luikun vuonna 2000 laatimaa tutkielmaa ”Kuorma-ammuksen käytöstä prikaati 2005:n tykistön tärkeimmissä tehtävissä” .

2.3.1 Sytytin

Yleisimmin käytettyjä ovat iskusytyttimet, jotka toimivat kosketuksesta kohteeseen joko mekaanisesti tai sähkömekaanisesti. Kuorma-ammusten tytärkранаattien sytyttimet ovat herkkiä iskusytyttimiä, joissa on lisäksi pyroteknisesti tai elektronisesti toimiva itsetuhomekanismi sekä varmistin, joka estää sytyttimen virittämisen käsin. Niiden toiminta voi olla asetettu herkäksi, jäykäksi, herkkähidasteiseksi tai jäykkähidasteiseksi. Sytyttimet ammutaan herkkinä silloin, kun tarvitaan tehokas sirpalevaikutus esimerkiksi suojatonta elollista voimaa vastaan. Herkän iskusytyttimen toiminta-aika on alle 0,001 sekuntia. Tällöin kranaatti ei ehdi tunkeutua maahan, tai se räjähtää jo osuessaan oksistoon, ja näin tehokkaita sirpaleita muodostuu enemmän. Sytyttimen herkkä ja nopea toiminta on erityisen tärkeää, jos maassa on lunta tai tiheä aluskasvillisuus, jotka pidättävät suurimman osan sirpaleista. [45] Herkkä sytytin saattaa toimia myös vesipisaroiden vaikutuksesta, joten sateella sytyttimet täytyy yleensä ampua jäykkinä. Jäykän sytyttimen toiminta-aika on 0,001–0,005 sekuntia, eli se antaa kranaatin tunkeutua kohteeseen ennen räjähtämistä. Tällöin sirpalevaikutus vähenee, mutta kranaatin painevaikutusta voidaan käyttää esimerkiksi linnoitteita ja niihin suojautunutta elollista voimaa vastaan. [29] Samaan tarkoitukseen käytetään myös hidasteisia iskusytyttimiä, jotka toimivat vasta hidastepanoksen paloajan jälkeen. Viive on yleensä 0,05–0,2 sekuntia. [58]

Aikasytytin toimii kohteesta riippumatta ennen ammuntaa asetetun aikautuksen mukaisesti. Niitä käytetään savu-, valo- ja kuorma-ammuksissa sekä kranaateissa, joiden halutaan räjähtävän ilmassa kohteen läheisyydessä tehokkaan sirpalevaikutuksen aikaansaamiseksi. Aikasytyttimen toiminta voi perustua mekaaniseen tai elektroniseen kellokoneistoon, tai paloaikasytyttimissä tietyllä nopeudella palavaan massa. [58]



Kuva 32. Elektroninen aikasytytin.

Elektronisia aikasytyttimiä käytetään tarkkuutensa takia erityisesti kuorma-ammuksissa, [58] mutta muutenkin ne tulevat osin korvaamaan vaikeasti valmistettavat ja epätarkat mekaaniset ja pyrotekniset aikasytyttimet. [45] Haluttaessa räjäyttää kranaatti tarkasti tietyllä etäisyydellä kohteesta sirpalevaikutuksen optimoimiseksi käytetään herätesytytintä, joka mittaa etäisyyden kohteeseen, esimerkiksi maan pintaan, ja toimii etäisyyden ollessa ennalta määrätty. Aika- ja herätesytyttimissä on yleensä myös iskutoiminto, joka räjäyttää kranaatin, jos aikautus on liian pitkä tai herätetoiminto ei toimi. Kuorma-ammuksen aikasytyttimessä ei kuitenkaan ole iskutoimintoa, sillä toimimattoman ammuksen on parempi tunkeutua maahan kuin levittää toimimattomia tytärammuksia maastoon. [58]

2.3.2 Ampumatarvikkeen toiminta

Kuorma-ammukset räjäytetään ilmassa yleensä aikasytyttimen avulla. Niiden iskupiste valitaan siten, että kuormana oleva valopanos, miinat tai sirotteet osuvat halutulle alueelle maalialueella vallitsevassa tuulessa. Siroteammusten iskupisteen on oltava yleensä satojen metrien korkeudella, jotta sirotteet ehtisivät hajautua ja virittyä ennen maahan iskeytymistään. [29]

Miina-ammus voi sisältää panssari- tai jalkaväkimiinoja, jotka virittyvät iskeytyessään maahan. Panssariamiinoja voi olla 3-7 kussakin ammuksessa. Niissä on ylöspäin suunnattu ontelohanke, joka laukeaa panssarivaunun aiheuttamasta herätteestä ja läpäisee vaunun pohjan. Jalkaväkimiinoja on kussakin ammuksessa useita kymmeniä. [29]

Siroteammukset sisältävät yleensä 50–90 kaksoisvaikutteista sirotetta. Kukin sirote sisältää alaspäin suunnatun ontelohanoksen ja sirpaloituvan kuoren. Osuessaan panssariin ajoneuvoon ontelo läpäisee noin 10 senttimetrin terästä. Sirpaleiden vaikutusalue on noin 25 neliometriä. Yhden ammuksen sirotteet hajoavat halkaisijaltaan noin 50–100 metrin laajuiselle alueelle. [29]

Kuorma-ammuksien sisällä on suuri määrä tytäkranaatteja, jotka vapautetaan kohteen yläpuolella. Lentoradan määrittäminen ei poikkea tavallisen ammuksen lentoradan määrittämisestä. Kuorma-ammuksen avautumishetken paikasta, asentokulmasta sekä rata- ja pyörimisnopeudesta saadaan lähtöarvot tytäkranaattien lentoratojen laskemiseksi. Tytäkranaattien lähtöarvot vaihtelevat suuresti riippuen niiden paikasta kuorma-ammuksessa. Tytäkranaatin lentoradan määrittämiseen käytetään tavanomaista lentoradamallia. Vastuseroin saadaan riittävällä tarkkuudella koeammuntojen perusteella. [57]

Nykyisissä tytärammuksissa on pääsääntöisesti jonkin tasoinen itsetuho- tai deaktivoitumistoiminto. Tätä huolimatta jotkut lähteet ilmoittavat, että paksu lumipeite aiheuttaa sen, että moni tytäkranaatti jää räjähtämättä. [27]

Sirpalevaikutuksen tehostamiseksi sirpalekoko pyritään optimoimaan ohjatulla sirpaloitumisella, joka aikaansaadaan kuoren lämpökäsittelyllä ja sisäpuolisella urituksella tai teräsrenkailla. Kaikissa tytäkranaateissa sirpaloitumista ei ole ohjattu, kuten esimerkiksi Yhdysvaltojen M483A1-kuorma-ammuksen 88 tytäkranaatista vain lähinnä kärkeä olevat 64 on uritettu, ja lopputta 24 ei ole voitu urittaa kestävyysden takia. [8] Räjähdyksineena on yleensä vahalla flegmatisoitu heksogeeni, jota yhdessä tytäkranaatissa on 30–45 grammaa. Ontelohanoksen läpäisyn lisäämiseksi tytäkranaateissa on rakenteellinen stand off -etäisyys, noin 20 millimetriä, joka on tehty

upottamalla kuparikartio kuoren sisälle. Sytytinosa voi olla kiinni jarrusiivekkeet, joiden tehtävänä on hidastaa tytäkranaatin pyörimistä. Vakavointinauha pitää tytäkranaatin oikein päin ja vakauttaa ilmalennon. [45]

Kuorma-ammuksen toimiessa aikasytytin sytyttää mustaa ruutia olevan ulosheittopanoksen noin 300–500 metrin korkeudessa maalialueen yläpuolella. Ruutikaasujen aiheuttama paine työntää männän avulla tytäkranaatteja taaksepäin ja ammuksen peräosa irtoaa. Tytäkranaatit leviävät ympäriinsä ammuksen pyörimisliikkeen aiheuttaman keskipakovoiman vaikutuksesta ja putoavat maahan noin 120 x 150 metrin kokoiselle ellipsin muotoiselle alueelle. Alueen koko riippuu ammuksen pyörimisnopeuden lisäksi sen tulonopeudesta, tulokulmasta ja toimintakorkeudesta. Ilmalennon aikana tytäkranaatit virittyvät ja itsetuhoelementin pyrotekninen viiveosa syttyy tai sähköinen itsetuhomekanismi virittyy. Vakautusnauhan ansiosta tytäkranaatit kääntyvät oikein päin ja osuvat maahan 70–80 asteen kulmassa. Maahantulonopeus on noin 45 metriä sekunnissa. Jarrusiivekkeet hidastavat tytäkranaatin pyörimisnopeuden alle 2500 kierrokseen minuutissa. Tytäkranaatin osuessa kohteeseen herkkä iskusytytin toimii ja räjäyttää panoksen. Jos tytäkranaatti ei toimi iskusta, niin itsetuhomekanismi räjäyttää sen noin 15 sekunnin viiveellä. Kaikkien valmistajien tytäkranaateissa ei ole itsetuhomekanismia, mikä on vakava puute, sillä räjähtämättä jääneet tytäkranaatit voivat jäädä maastoon virittyneinä ja aiheuttavat näin myöhemmin omia tappioita tai ainakin aikaa ja rahaa vievän raivaustarpeen. [45]

Kuorma-ammuksen vaikutus perustuu tulen massoittamiseen. Usean pienen tytäkranaatin yhteenlaskettu vaikutusala on suurempi kuin yhden tavallisen sirpalekranaatin ja samalla osumatodennäköisyys panssarivaunuihin kasvaa. Tytäkranaatin tehokas sirpale-etäisyys on seitsemästä kymmeneen metriin, riippuen kranaatista, maastosta ja maalista. Esimerkiksi israelilainen kuorma-ammusten valmistaja ilmoittaa esitteessään M395-ammuksen tytäkranaatin vaikutusetäisyydeksi 9 metriä. Tähän esitearvoon päästään luultavasti kuitenkin vain optimiolosuhteissa, joten käytännössä vaikutusetäisyys jää pienemmäksi. Sirpaleet leviävät ympäristöön noin 85–95 asteen kulmassa tytäkranaatin pituusakseliin nähden. [45]

Ontelopanoksen läpäisy perustuu suunnattuun räjähdysvaikutukseen. Siinä räjähdysaineen energia sidotaan kuparikartiosta muodostuvan kappaleen liike-energiaksi, jolla sitten vaikutetaan maaliin. Teräväkulmaisen kuparikartion sisäpinnasta muodostuu kärkisuihku, jonka alkupään nopeus on noin 8000 metriä sekunnissa ja peräosan nopeus noin 2000 metriä sekunnissa. Kärkisuihkun massa on alle 10 prosenttia koko kartion massasta. Kartion loppuosasta muodostuu porkkanaa muistuttava jälkisuihku, jonka nopeus on noin 1000 metriä sekunnissa, ja joka ei juuri vaikuta läpäisyyn. Kartion kupari ei ole suihkussa sulana, vaan kiinteässä muodossa, ja sen lämpötila on noin 400–500 astetta celsiusta. Kärkisuihku aiheuttaa osuessaan kohteeseen erittäin pienelle pinta-alalle suuren paineen, joka ylittää panssarin lujuuden, ja siten läpäisee sen. Mitä pidempi kärkisuihku on, sitä parempi on läpäisy, ja tämän takia ontelopanoksen ja kohteen välissä täytyy olla niin sanottu stand off -etäisyys, jonka aikana suihku ehtii venyä riittävän pitkäksi. Optimietäisyys on noin viisi kaliiperin mittaa. Kuitenkin samalla kun suihku pitenee ja sen läpäisy kasvaa, niin sen aiheuttama paine- ja sirpalevaikutus vaunun sisällä heikkenevät. Kartion materiaalina käytetään pääsääntöisesti kuparia sen tiheyden takia, sillä mitä tiheämpää kartion materiaali on, sitä enemmän kärkisuihkussa on läpäiseviä partikkeleita. Suihkun nopeus vaikuttaa läpäisyyn, mutta tärkeämpää on saada kärkisuihkun kärki- ja peräosan välinen nopeusero mahdollisimman suureksi. Tämä aikaansaadaan muotoilemalla kartio trumpetin muotoiseksi tai paksuntamalla kartion seinämää kartion pohjaa kohti. Suihkun täytyy olla mahdollisimman suora, jotta se vaikuttaa koko ajan samalle pienelle pinta-alalle. Tärkein suihkun suoruteen vaikuttava tekijä on panoksen valmistustarkkuus; sytytyksen täytyy olla symmetrinen, räjähdyspanoksen on oltava homogeeninen ja symmetrinen, samoin kuin metallikartion. Panos ei saisi myöskään pyöriä, sillä silloin suihku leviää laajemmalle pinta-alalle ja läpäisy pienenee. Tämän takia tytäkranaateissa käytetäänkin pyörimistä hidastavia jarrusiivekkeitä. [45]

Tytärkranan ontelopanoksen läpäisy voi olla jopa yli 100 millimetriä panssariterästä, [45] esimerkiksi israelilaisen M395-kuorma-ammuksen tytäkranaan M85 läpäisy on esitteen mukaan keskimäärin 105 millimetriä valssattua homogeenistä panssariterästä. [59] Tämä valmistajan ilmoittama läpäisy voidaan saavuttaa myös käytännössä, sillä Suomessa koeammunnoissa testatut tytäkranaatit läpäisivät kaikki ilmoitettua enemmän panssariterästä. Kolmen eri valmistajan tytäkranaattien läpäisyjen keskiarvo oli 128 millimetriä, kun ne räjäytettiin panssariteräslevyn pinnalla. Keskiarvo perustuu

Puolustusvoimien materiaalilaitoksen esikunnan ampumatarvikeosastolta saatuun materiaaliin koeammunnoista.

Ontelopanoksen läpäisytehon täytyy olla 20–30 prosenttia suurempi kuin panssarin läpäisemisen edellyttämä teho, jotta jälkisuihkulla ja läpäisyreiästä irtoavilla sirpaleilla on riittävä vaikutus myös panssarin takana oleviin kohteisiin. [58] Rynnäkköpanssarivaunuista, taistelupanssarivaunuista ja panssarihaupitseista liitteissä 1-3 olevien tietojen perusteella voidaan päätellä, että kuorma-ammuksien tytärkранаattien ontelopanoksien läpäisy on riittävä varsinkin rynnäkköpanssarivaunuja ja panssarihaupitseja vastaan. Tytärkранаatilla saattaa olla vaikutusta myös taistelupanssarivaunua vastaan, varsinkin jos vaunussa ei ole reaktiivipanssarointia. Reaktiivipanssari on kehitetty erityisesti ontelopanosta vastaan. Siinä kahden yhdestä kolmeen millimetriä paksun teräslevyn välissä on noin kymmenen millimetriä pentriittiä tai heksogeenia. Ontelopanoksen kärkisuihku räjäyttää sen, ja räjähdys sekä liikkeelle lähtevät teräslevyt häiritsevät ontelopanoksen suihkua niin, että ammuksen läpäisy saattaa jäädä vain kolmannekseen normaalista. [45]

Tytärkранаattien purkautuminen kuorma-ammuksista näkyy ja kuuluu selvästi ympäristöön, mikä antaa varoituksen maalina olevalle henkilöstölle. Henkilöstö ehtii suojautua, koska tytärkранаattien putoaminen kestää muutaman sekunnin, ja näin kuorma-ammusten vaikutus pienenee. [6] Kuorma-ammuksista on esitelty teknisiä tietoja liitteessä 5, josta näkee myös eri kuorma-ammusten suurimmat kantamat.

3 Kenttätykistön maalit

Maali on tulitettavaksi aiottu kohde tai maaston kohta, jossa havaitaan vihollisen joukkoja, kalustoa tai laitteita taikka johon niitä odotetaan tulevan. [30]

Tässä tutkimuksessa hyödynnetään majuri Heikki Roiton käyttämä maalimallia diplomityöstään.

3.1 Maalitarkastelu

Maalit voidaan jakaa sijaintinsa ja laatunsa mukaan maaleihin, jotka:

- ovat ilmassa,
- ovat vedessä,
- panssari eri tavoin sovellettuna muodostaa,
- maanpinta sellaisenaan muodostaa,
- ovat erilaisia ihmisten aikaansaannoksia (tiet, sillat, rakennukset, jne.),
- muodostuvat erilaisista linnoitteista,
- muodostuvat suojautumattomasta elävästä voimasta. [38]

Kenttätykistön päätehtävän mukaisesti sen maaleina eivät tule yleensä kyseeseen ilmassa tai vedessä olevat maalit. Veden pinnalla olevista maaleista voidaan kenttätykistöllä tulittaa ampumamenetelmistä johtuen lähinnä hitaasti liikkuvia maihinousuosastoja, määrättyä reittiä kulkevia aluksia taikka purkamisen, lastaamisen tai vaurioitumisen takia paikallaan olevia aluksia. [38]

Kenttätykistön tyypillisinä maaleina voidaan pitää eri tavoin suojautuneita, ryhmittyneitä ja liikkuvia joukkoja, eri tavoin panssaroitujen ajoneuvojen ryhmyksiä, linnoituslaitteita, maastonkohtia sekä eri tavoin suojautuneita ja ryhmittyneitä tuliasemia. [38]

Maalit voidaan jakaa neljään luokkaan seuraavilla perusteilla:

- kovuusaste,
- etäisyys tuliasemasta,
- liiketila,
- laajuus.
- Jokainen näistä perusteista asettaa omat erityisvaatimuksensa kenttätykistön aseille ja ampumatarvikkeille. [55]

Kovuusasteensa perusteella maalit voidaan jakaa kolmeen luokkaan: kovat, puolikovat ja pehmeät. Seuraavassa on esitetty neljän eri maalianalyysin tuloksina syntyneet eri luokkien prosentuaaliset osuudet. Eri luokkien osuus on seuraava:

- kovia maaleja 35 prosenttia, esimerkiksi taisteluvaunuja,

- puolikovia maaleja 45 prosenttia, esimerkiksi rynnäkkö- ja kuljetuspanssarivaunuja ja panssarihaupitseja,
- pehmeitä maaleja 20 prosenttia, esimerkiksi panssaroimattomat ajoneuvot ja suojaeton elävä voima. (Kenttätykistö kehittyy)

Kovien tai puolikovien maalien osuus vähenee kauempana rintamasta ollen 15–30 kilometrin etäisyydellä noin 40 prosenttia ja yli 30 kilometrin etäisyydellä noin 30 prosenttia maaleista. Koviin ja puolikoviin maaleihin vaikuttaminen edellyttää vaikutussuunnasta riippuen 100 – 300 millimetrin teräksen läpäisykykyä. [55]

3.2 Maalien ominaisuudet ja sijainti taistelukentällä

Maalialkioina ovat taisteluvaunut, kuljetus- ja rynnäkkövaunut, muut ajoneuvot ja aseet sekä yksittäiset henkilöt. Tavanomaisin maalialkio on henkilö, jonka suojautumistaso vaihtelee. Tavanomaiset suojautumistasot ovat:

- pystyssä tai maahan heittäytyneenä,
- avopoterossa,
- katetussa poterossa,
- rynnäkkö- tai kuljetuspanssarivaunussa
- taistelupanssarivaunussa.

Panssaroimattomassa ajoneuvossa oleva henkilö on verrattavissa suojaattomaan henkilöön. [31]

Tavanomaisin maalityyppi on rynnäkkö- tai kuljetuspanssarivaunuissa taikka niiden tukemana hyökkäävä tai ryhmittynyt jalkaväki, joka edustaa joukkotyypistä riippuen 40–50 prosenttia kaikista kenttätykistön maaleista. Tavanomaisin maalin suuruus on komppania, jolla on mahdollisesti vahvennuksina esimerkiksi panssarivaunuja. Toinen hallitseva maalityyppi on kenttätykistön, raketinheittimistön, kranaatinheittimistön tai panssaritorjunta-aseiden tuliasemat, joita on 30–40 prosenttia kaikista maaleista. Tuliasemista puolet on panssaritorjunta-aseiden tuliasemia. Loput maalit ovat johtamispaikkoja ja elektronisen sodankäynnin asemia, joita on noin 10 prosenttia ja huollon ryhmitysalueita, joita on noin 5 prosenttia maaleista. [38] Liitteessä 6 on esitetty kenttätykistön tyypillisiä maaleja, niiden sijainti ja kovuusluokitusarvio.

Oman tykistömme maaleina ovat ensivaiheessa nopeasti liikkuvat panssaroidut tiedustelujoukot, selustan maahanlaskujoukot sekä nopeasti tuliasemiinsa ryhmittyvät tykistö- ja raketinheitinyksiköt. [40]

Hyökkäyksen käynnistyessä maaleina ovat taisteluun nopeasti keskitettävät ensimmäisen portaan panssaroidut joukot oman tykistön kantaman ulkopuolella. Taisteltaessa puolustusryhmityksessä tykistön maaleina ovat rintamassa taisteleva moottoroitu jalkaväki, sen hyökkäystä tukeva kranaatinheittimistö, tykistö ja raketinheitimistö, rykmenttien ja divisioonan komentopaikat, huoltopaikat sekä taisteluun nopeasti suunnattavat toisen portaan joukot. [40]

Armeijan painopistesuunnassa hyökkäävän divisioonan alueella olevien maalien kokonaismäärä on noin 300 kappaletta. Lähes puolet kaikista maaleista on alle 15 kilometrin etäisyydellä rintamasta. Näistä maaleista vajaa puolet on vastatykistötoimintamaaleja. Tiedustelu- ja jalkaväkimaalien osuus on vajaa kolmannes. Maalityypit ja niiden esiintymistiheydet prosentteina eri etäisyyksillä rintamasta on koottu taulukkoon 4. [40]

Etäisyydet (km)	Tiedustelu- ja jalkaväki-maalit (%)	Vastatykistö-maalit (%)	Elso- ja johtamis-paikka-maalit (%)	Huollon maalit (%)	Oman selustan maalit (%)	Yhteensä etäisyys alueittain (%)
0 – 15 kaikista	30	46	13	7	4	42
15 – 30 kaikista	31	31	12	26	0	31
30 – kaikista	25	26	9	25	15	27
Yhteensä maali-tyypeittäin	30	35	12	18	5	100

Taulukko 4. Maalien esiintymistiheys ja maalityypit eri etäisyyksillä rintamasta. [40]

Graafinen esitys maalien esiintymistiheydestä on esiteltyä liitteessä 6.

Taulukosta nähdään että lähes puolet kaikista maaleista on korkeintaan 15 kilometrin etäisyydellä rintamasta. Hyökkääjän tuhovoimaisimmat asejärjestelmät ja huollon tukijärjestelmät ovat yli 30 kilometriä rintamasta. [40]

Noin kolmannes kaikista maaleista on 15 – 30 kilometriä rintamasta. Suurimman kokonaisuuden näistä maaleista muodostavat tiedustelu- ja jalkaväkimaalit sekä vastatykistömaalit, joita on yhteensä yli puolet tämän alueen maaleista. Hieman yli neljännes kaikista maaleista on yli 30 kilometriä rintamasta. Suurimpana maaliryhmänä ovat tällä alueella huollon maalit. [40]

Maalien lukumäärän perusteella maalitiedustelun painopistealue on 3 – 15 kilometriä rintamasta. Alueella olevat tärkeimmät maalityypit ovat hyvin suojattuja ja nopeasti liikkuvia. Yli puolet alueen maaleista on paikannettavissa elektronisen tiedustelun ja tutkatiedustelun menetelmin. Alueen maalitiedustelujärjestelmä on suhteutettava maalien määrään ja käytettävien maalitiedustelumenetelmien on muodostettava toisiaan tukeva kokonaisuus. Alueen tärkeimmät maalitiedustelumenetelmät ovat tähystys-, tutka- ja elektroninen tiedustelu. [40]

Välittömästi rintamassa taistelevien joukkojen takana olevat tärkeimmät maalit muodostuvat ensimmäisen portaan taistelusta irti olevista reserveistä, raketinheitinyksiköistä ja huollon keskuksista. Yli kolmannes tämän alueen maaleista on paikannettavissa tutkatiedustelun ja elektronisen tiedustelun menetelmin. Yli 30 kilometriä rintamasta olevat maalit muodostuvat toisen portaan joukoista, tykistöohjussyksiköistä sekä huoltokeskuksista. [40]

Maalien lukumäärä ja maalien kovuus edellyttävät tykistöjärjestelmältä tappioiden tuottamiskykyä koviin ja puolikoviin maaleihin 3 – 15 kilometriin rintamasta. Taistelujen kehittymisen kannalta maalien sijainti sekä maalin vastatoimenpiteet edellyttävät tappioiden tuottamiskykyä yli 30 kilometriin rintamasta sekä tappioiden tuottamiskykyä ja kykyä eristää taistelualue yli 70 kilometriin rintamasta. [40]

4 Suomalaiset olosuhteet

Suomi on pinta-alaltaan 338 145 neliökilometriä, josta sisävesien osuus on 33 551 neliökilometriä. Maapinta-alaa Suomessa on siis 304 593 neliökilometriä. [52]

4.1 Sääolosuhteet

Sää on jatkuvasti muutostilassa. Suomen sääoloihin vaikuttavat usein länsivirtaukset ja niihin liittyvät matalapaineet, joille tyypillisiä ilmiöitä ovat säärintamat. Säärintamapinnoissa sään muutokset ovat nopeita. Vuoden- ja vuorokaudenajalla on myös merkitystä sään muutoksien kannalta. [33]

Sään muutokset, varsinkin troposfäärin alaosassa, ovat yhteydessä maan pinnanmuotoihin ja -laatuun. Pinnan epätasaisuus aiheuttaa tuuleen pyörteisyyttä ja sen vaikutus voi ulottua jopa 1000 metrin korkeudelle. [33]

Ilman kosteudella tarkoitetaan ilmassa olevan vesihöyryn määrää, ja se ilmoitetaan yleisimmin suhteellisena kosteutena. Suhteellinen kosteus ilmoittaa prosentteina sen kuinka suuri on ilmassa olevan vesihöyryn tiheyden osuus vallitsevaa lämpötilaa vastaavasta kylläisen vesihöyryn tiheydestä. Suhteellisen kosteuden saavuttaessa 100 prosenttia vesihöyry tiivistyy näkyväksi. Näkyvimvät kosteuden esiintymismuodot ovat sumu ja pilvisuus. [53]

Sadepäiviä on Suomessa yleensä melko tasaisesti kaikkina vuodenaikoina. Kesä- ja talvikaudet eroavat toisistaan sademäärältään. [42] Sadepäiviä, jolloin vettä tulee vähintään 0,1 millimetriä on ainakin puolet vuoden päivistä. Vuotuinen sademäärä vaihtelee 600 ja 700 millimetrin välillä. [15]

Vuodessa pilvisiä päiviä on yli 150. [52] Pilvisiä päiviä esiintyvät kaikkina kuukausina enemmän kuin selkeitä tai osittain pilvisiä päiviä. Pilvisiksi lasketaan päivät, jolloin vuorokauden keskipilvisuus on suurempi kuin 80 prosenttia. Selkeiksi lasketaan päivät, jolloin keskipilvisuus on pienempi kuin 20 prosenttia. [19] Sumupäiviä, jolloin

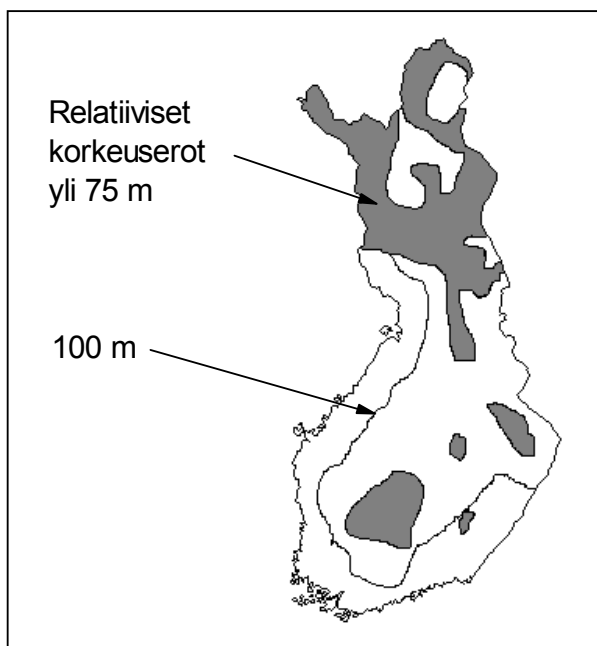
pilvikorkeus on jopa maanpinnan tasossa, on paikkakunnasta riippuen noin 50 vuodessa. [26] Sadepilvet eli alapilvet alkavat jo 100 metrin korkeudelta. Kumpupilvet alkavat vasta kilometrin korkeudelta. [26]

4.2 Maasto ja kasvusto

Suomi sijaitsee pohjoisella havumetsävyöhykkeellä, jonka ulkopuolelle jäävät vain Lapin tunturien puuttomat paljakat. Noin 70 prosenttia Suomen pinta-alasta on metsän peitossa, eli noin 236 700 neliökilometriä. [42]

Pääosan Suomen puustosta muodostavat mänty, kuusi ja koivu. Parhailla kasvupaikoilla mänty saavuttaa 30–35 metrin, kuusi jopa 40 metrin ja koivut 22–30 metrin pituuden. [25]

Rannikkoalueilla ja maan kaakkoisosissa maasto on suhteellisen tasaista. Ensimmäinen 100 metrin korkeuskäyrä tulee vastaan sisämaassa noin 100 kilometriä rannikolta. Lapissa suhteelliset korkeuserot ovat jo yleisesti yli 75 metriä. [42] Suurin osa Suomesta voidaan lukea alangoksi, käytettäessä alangon ylärajana 200 metrin korkeutta merenpinnasta. Alankoa on maamme pinta-alasta 80 prosenttia. Ylänköä on vain viidennes pinta-alastamme. [56]



Kuva 33. Korkeuserot. [42]

4.3 Vuodenajat

Sääilmiöt ja niiden voimakkuudet vaihtelevat vuodenaikojen mukaan. Tuulioloja tarkasteltaessa voidaan kuitenkin rannikkoseudun tuulitilastojen perusteella todeta lounaistuulen olevan vallitsevana, varsinkin etelärannikolla. Tuulen keskinopeus on yleensä suurin syksyllä tai syystalvella ja pienin kesällä. [33]

4.3.1 Talvi

Meteorologiassa puhutaan termisestä talvesta, jolloin keskilämpötila on 0 celsiusasteen alapuolella. Lämpimät ilmavirtaukset saattavat nostaa päivän lämpötilan ajoittain 0 celsiusasteen yläpuolelle. Talvi alkaa Suomessa paikasta riippuen loka- ja joulukuun välisenä aikana. [14]

Talvi on vuodenaajoista pisin. Se kestää maan lounaisimmissa osissa noin 100 päivää ja Lapissa noin 200 päivää. Napapiirin pohjoispuolella vallitsee osan talvea polaariyö, jolloin aurinko ei nouse horisontin yläpuolelle. Maan pohjoisimmissa osissa tämä aika kestää 51 vuorokautta. Etelä-Suomessa lyhimmän talvipäivän pituus on noin 6 tuntia. [33]

Talven kylmin vuorokausi on tammikuun lopulla. Talven alimmat lämpötilat ovat Lapissa ja Itä-Suomessa -45:stä -50 celsiusasteeseen, muualla Suomessa yleensä -35:n ja -45 celsiusasteen välillä. [14] Päiviä, jolloin lämpötila laskee alle 20 celsiusastetta pakkasta, on kuitenkin hyvin vähän, keskimäärin 26 vuodessa. [56]

Talvisin alapilvien korkeus on keskimäärin 500m. [56]

4.3.2 Kevät

Keväällä vuorokauden keskilämpötila nousee 0:sta 10 celsiusasteeseen. Kevät alkaa Suomessa huhtikuun - toukokuun kuluessa. [18]

Keväisin alapilvien korkeus on keskimäärin 1200m. [56]

4.3.3 Kesä

Vuoden lämpimin vuorokausi sattuu heinäkuun 20. päivän tienoille koko maassa. Kesän korkeimmat lämpötilat ovat sisämaassa 32–35 celsiusastetta. Meren läheisyydessä ja saaristossa 30 celsiusasteen ylittävät lämpötilat ovat erittäin harvinaisia. [17]

Ukkospäiviä on kesän kuluessa maan sisäosissa keskimäärin kahdeksasta neljääntoista, rannikoilla ja Pohjois-Lapissa neljästä kahdeksaan. [17]

Kesäisin alapilvien korkeus on keskimäärin yhtä korkea kuin keväällä, eli 1200m. [56]

4.3.4 Syksy

Syksyllä lämpötila laskee pysyvästi 10 celsiusasteen alapuolelle. Syksyn ensimmäiset lumisateet tulevat yleensä syys-lokakuussa. [16]

Syksyisin alapilvien korkeus on keskimäärin yhtä korkea kuin talvisin, eli 500m. [56]

4.4 Asutuskeskukset

Asutuskeskus on mallinnettu seuraavalla tavalla: Asutuskeskus on kokonaisuus, joka voidaan jakaa neljään osaan. Asutuskeskuksesta noin 70 prosenttia on lähiötä. Lähiössä rakennustiheys on noin 1,5 taloa/hehtaari. Talojen välimatka on 10–50 metriä. Talot ovat joko yksi- tai kaksikerroksisia. Kaksikerroksiset talot ovat keskimäärin noin 7 metriä korkeita.

Toinen pääosa on keskusta, noin 28 prosenttia, jossa rakennukset ovat hyvinkin lähellä toisiaan, jopa kiinni toisissaan. Talojen välimatka on 0-20 metriä. Rakennukset muodostavat kortteleita, jotka ovat kooltaan noin 100 kertaa 100 metriä. Rakennukset ovat suurimmilta osin jopa yli kolmekerroksisia, korkeutta noin 30 metristä ylös, kuitenkin harvoin yli 40 metriä.

Pienimpänä osuutena on puisto, tori tai muu aukio. Tämä on tavallisimmin ainakin hehtaarin kokoinen, eikä sisällä välttämättä yhtään rakennusta.

Asutuskeskuksen ulkopuolella sijaitsee yksi tai enemmän teollisuus- tai laitosrakennuksia. Se on kooltaan ainakin korttelin kokoinen eikä sen lähetyvillä ole yleensä muita korkeita rakennuksia. Nämä rakennukset ovat todennäköisesti hyvin tärkeitä asutuskeskukselle. Kyseessä voi olla sähkökeskus, voimala, sairaala tai asutuskeskuksen suurin työnantaja.

5 Käyttömahdollisuudet

Tässä luvussa tutkija esittelee omia päätelmiään esitettyjen ampumatarvikkeiden käyttömahdollisuuksista Suomalaisissa olosuhteissa. Lopuksi esitellään myös niiden käyttömahdollisuudet tykistömaaleja vastaan.

5.1 Laserohjattavat ammuksiset

Suurimpina haittoina laservalaisuun ovat näköesteet puuston muodossa ja sää. Laservalaisun käyttö ei ole mahdollista yli puolena vuoden päivistä, johtuen sateesta tai ilman korkeasta kosteudesta. Lisäksi lasersäde vaatii suoran näköyhteyden valaisupaikasta paikannettuun maaliin. Ilmasta tämä onnistuu, mutta vain matalilla korkeuksilla, sillä lasersäde ei etene normaalisti pilvien läpi. Koska Suomen maasto on hyvinkin tasainen, on vaikeaa löytää valaisupaikkoja jossa valaisija olisi niin korkealla, että pystyisi suorittamaan valaisun maalialueen puuston yläpuolelta.

Asutuskeskukset asettavat vielä enemmän rajoituksia maalin paikantamiseen. Jotta korkeat rakennukset eivät estäisi hakupäätä havaitsemasta laserheijastusta ajoissa, niin pitäisi maali paikantaa aukealla paikalla. Toisaalta strategisesti tärkeät kohteet kuten esimerkiksi tehtaat ja sähkölaitokset eivät yleensä ole muiden rakennusten suojaamina. Maali pitää paikantaa joko korkealle tai siten, että ampumatarvikkeen tulo-suunta on riittävän aukea.

Kylmyys rajoittaa valaisimen toimintaa vain vähän. Kuten aikaisemmin on todettu päiviä jolloin laite ei toimi pakkasen takia on vähän. Kuitenkin niitä on ja melkein joka vuosi sattuu tilastopoikkeamia, jolloin pakkasta voi hetkellisesti olla jopa 40 astetta. Tällöin laservalaisin ei todennäköisesti toimi lainkaan.

Pilvisuus haittaa eniten hakupään toimintaa. Vaikka kaikki pilviset päivät eivät ole täysin pilvisiä, niin riittää kuitenkin, että yksi pilvi tulee hakupään ja laserheijastuksen väliin häiritäkseen ohjautuvuutta. Tämän takia hakupään toiminta on mahdollista vain niinä päivinä, jolloin pilvikorkeus on riittävän suuri tai on täysin pilvetöntä.

Taulukosta 1 havaitaan että tykillä laukaistun kranaatin lentorata on matala lyhyillä ampumaetäisyyksillä. Varsinkin kesäisin, selkeinä päivinä, on mahdollista, että kranaatin lentorata ei ylitä pilvikorkeutta lainkaan. Tämä mahdollistaa sen, että hakupää näkee laserheijastuksen riittävältä etäisyydeltä maalista. Pitkillä etäisyyksillä lentorata on korkeimmillaan useamman kilometrin korkeudella ja vielä siinä vaiheessa kun hakupään viimeistään pitäisi aloittaa ohjaus kohti maalia, niin kranaatti on pilvisinä päivinä pilvipeitteen yläpuolella.

Asutuskeskuksen tulittamiseen tykistöillä ammuttu kranaatti ei sovi yhtä hyvin kuin kranaatinheittimellä ammuttu kranaatti. Tulokulma on pieni jopa pitkillä ampumaetäisyyksillä. Korkeat rakennukset aiheuttavat sen, että hakupää ei havaitse laserheijastusta riittävän ajoissa suorittaakseen korjauksia lentorataan.

5.2 GPS-ohjautuvat ampumatarvikkeet

GPS-vastaanottimen toimivuus käyttökokemusten perusteella riippuu GPS-antennin sijainnista ja liiketilasta. Mittausten perusteella satelliittien signaalitien esteet (maaston muodot, puusto, sillat, talot, katokset jne.) johtavat joko hetkelliseen tai täydelliseen lukituksen (paikannuksen) menetykseen. Hetkellisestä häiriöstä on hyvä esimerkki moottoritien alapuolella oleminen, jolloin vastaanotin menee aluksi ”no fix”-tilaan, mutta palautuu vähitellen (noin puolen minuutin aikana) navigoimaan. Puuston tai kerrostalon katveessa sen sijaan paluuta ei yleensä ole ”no fix”-tilasta ilman antennin paikan muuttamista. Edelleen käytännössä kaikilla vastaanottimilla esiintyy antennin paikasta riippumatta muutaman kerran kuukaudessa lukituksen lopullinen menetys

ilman selkeää selitystä. Suomessa ei periaatteessa ole satelliittien konfiguraatiosta johtuvia katveaikoja, jolloin navigointi ei olisi mahdollista. [28]

Testituloksista nähdään myös että vuodenajalla on merkitystä GPS-signaalin vaimennukseen. Vaimennus (dB) on alhaisempi mitä pienempi satelliitin korkeuskulma on. Suuremmilla korkeuskulmilla vuodenaikojen merkitys kasvaa. Talvella vaimennus on pienin, keväällä ja syksyllä vähän isompi ja kesällä vaimennus on suurin.

Toimivuustestin tuloksissa ei ole havaittavissa että viiden asteen lämpötilaerolla tai sateella olisi huomattavaa vaikutusta GPS-laitteen toimivuuteen. On kuitenkin huomioitavaa, että joitakin lukemia ei ole lainkaan merkitty lähteen tuloksiin ja selitystä siihen ei ole annettu.

Tutkimuksen tuloksista on havaittavissa että passiivinen häirintä vaikuttaa GPS-navigointiyksikön toimintaan. Kuitenkaan mikään ei ole osoittanut että navigointi häiriintyisi suuresti passiivisesti rakenteiden ja puuston yläpuolella. GPS-paikantaminen tapahtuu maanpinnalla ennen ampumatarvikkeen laukaisua ja sen jälkeen seuraavaksi hakupään suunnistusvaiheen aikana. Jotta paikantaminen onnistuisi häiriöttä, pitää laukaisun tapahtua aukealta paikalta. Kalliomäki – Mannermaa tutkimuksen mukaan aukean tulisi olla vähintään 20 metriä leveä, mieluiten 30 metriä jotta laukaisupaikan voidaan määrittää GPS-järjestelmällä häiriöttä.

GPS-ohjautuvien ampumatarvikkeiden toimittajat eivät ilmoita missä lämpötiloissa hakupäät toimivat. Kaupallisille, maanpinnalla käytettäväksi tarkoitettujen, vastaanottimille ilmoitetaan 15 pakkasasteen olevan alarajana. [9] Suomalaisissa olosuhteissa esiintyy harvoin päiviä, jolloin pakkasta on enemmän kun 40 astetta. On kuitenkin huomioitavaa, että nämä lukemat ovat maanpinnalla. Taulukosta 1 nähdään, että jo vajaan 30 kilometrin ampumaetäisyydellä on lakikorkeus lähellä 8 kilometriä. Tällä korkeudella lämpötila voi olla alimmillaan 50 astetta pakkasta [24]. Ampumaetäisyyden kasvaessa, lakikorkeus suurenee ja lämpötila laskee. Excaliburia ilmoitetaan laukaistavaksi ensin 15 kilometrin korkeuteen ennen liukuvaiheen alkua.

Ampumatarvikkeen palattua kohti maanpintaa tulee vastaan seuraava varjostusmahdollisuus, varsinkin jos maali on paikannettu asutuskeskukseen. Tämä

lentovaihe kestää kuitenkin hyvin lyhyen ajan, murto-osa sekunnista, joten tutkija on päättänyt jättää tämän seikan huomioimatta.

5.3 Millimetri- ja infrapunaohjautuvat ammukset

Infrapunasensori on helposti vaikuttunut säästä. Se ei havaitse pilvien läpi. Millimetriaallot kulkevat jopa savun läpi, mutta ongelmia toimiessa maanpinnan materiaalissa. [3]

Sateella ei ole kovin suurta merkittävyyttä, poislukien hetket jolloin on kaatosade. Huomioimalla sateen kesto, voidaan todeta, että sadepäivät eivät haittaa yhdistelmähakupäätä. Sen sijaan pelkkää infrapunahakupäätä sade häiritsee enemmän, koska vaikutukseen yhdistyy helposti pilvikorkeuden merkitys.

Taulukosta 3 nähdään että sääilmiöillä on välillä suurtakin merkitystä hakupään onnistumisprosenttiin. Yhdistämällä kahta eri sensoria on kuitenkin onnistuttu ohittamaan osa ongelmista. Kuitenkin voidaan todeta, että ampumatarvikkeen toiminta on tarkasta osuvuudestaan vähintäänkin heikentynyt yli 30 prosenttia vuoden päivistä.

Millimetriaalto- ja infrapunahakupään toiminnasta on myös muistettava, että kyseessä on teknologiaa, jolle valmistajat eivät ilmoita pakkasrajaa. On siis epäselvää, mikäli hakupää kestää lakikorkeudella vallitsevia lämpötiloja, varsinkin talvisin.

5.4 Savuammus

Savuammukselle ei kranaattina ole pahemmin vaikuttanut olosuhteista, koska ampumatarvikkeen toiminta alkaa vasta ballistisen lentoradan jälkeen maalissa. Savuammuksen toiminta ei koe häirintää olosuhteista lentoradallaan. Maalissa savun muodostumiseen vaikuttaa lähinnä ilman kosteus. Mitä kosteampi ilma, sitä paremmin savu muodostuu. Tämä ominaisuus on kaikille savuille enemmän tai vähemmän yhteinen.

Savuammusta käytetään joko oman toiminnan suojaamiseen tai vihollisen ”merkkaamiseen”. Kummassakin tapauksessa savumassa toimii samoissa olosuhteissa.

Suomessa kosteita päiviä on runsaasti, jopa puolet koko vuoden päivistä. Tuuli voi kuitenkin vaikuttaa niin, että kovassa tuulessa savu kantautuu väärään suuntaan tai haihtuu liian nopeasti. Näitä asioita huomioiden, tutkija toteaa, että Suomalaiset olosuhteet eivät juuri rajoita savuammusten käyttöä.

5.5 Kuorma-ammus

Kuorma-ammus lentää, kuten savuammus ballistista lentorataansa maalialueelle asti ja on näin ollen tunnoton Suomalaisiin olosuhteisiin. Tytärkранаattien toimintaan olosuhteet voivat vaikuttaa. On epäselvää paljonko lumi vaikuttaa tytärkранаattien toimivuuteen. On kuitenkin havaintoja, että paksu lumipeite vaikuttaa rajoittavasti tytärkранаattien räjähtämiseen.

Toinen vaikuttava tekijä on tuuli. Voimakkaassa tuulessa voi tytärkранаatit ajautua tuulen mukana jopa satoja metrejä. Tämä on kuitenkin ohitettavissa tulenjohtajan toimesta.

5.6 Maalit

Palaamme taulukkoon 4 vertaamaan erikoisampumatarvikkeiden käyttömahdollisuuksia erilaisia tykistön maaleja vastaan.

Etäisyydet (km)	Tiedustelu- ja jalkaväki-maalit	Vastatykistö-maalit	Elso- ja johtamis-paikka-maalit	Huollon maalit	Oman selustan maalit	Yhteensä etäisyys alueittain
0 – 15 kaikista	30	46	13	7	4	42
15 – 30 kaikista	31	31	12	26	0	31
30 – kaikista	25	26	9	25	15	27
Yhteensä maali-tyypeittäin	30	35	12	18	5	100

Laserohjattavasta ampumatarvikkeesta on aikaisemmin mainittu, että sen käytettävyys Suomalaisissa olosuhteissa on varsin heikko, etenkin jos ampumatarvikkeen lakikorkeus nousee pilvirajan yläpuolella. Taulukosta 1 nähdään, että lentorata pysyy ohjautusvaiheessa alle 500 metriä ja tulokulma alle 20 astetta kun ampumaetäisyys on 10 kilometriä ja käytetään nelos- tai täyspanosta. Taulukosta 4 näemme että kymmenen kilometrin ampumaetäisyyden sisällä esiintyy vajaa kolmasosa jalkaväki-, yli kolmasosa vastatykistö-, suurin osa elso- ja johtamispaikka- sekä osa oman selustan maaleista. Kaiken kaikkiaan yli kolmasosa kaikista tykistön maaleista esiintyvät kymmenen kilometrin ampumaetäisyyden sisältä.

GPS-ohjautuvat ampumatarvikkeet eivät koe häirintää Suomalaisista olosuhteista juuri ollenkaan. Ampumaetäisyydeksi on luvattu jopa 60 kilometriä. Verraten tutkimuksessa saadut tiedot GPS-ohjautuvista ampumatarvikkeista, taulukkoon 4 saatuihin tuloksiin voidaan todeta, että kyseiset ampumatarvikkeet ovat käyttökelpoisia kaikkia maaleja vastaan.

Millimetriaalto- ja infrapunaohjautuvat ammuksat kokevat suurtakin häiriötä Suomalaisista olosuhteista. Ampumatarvikkeen ampumaetäisyydeksi on ilmoitettu vajaa 30 kilometriä. Osa olosuhteiden vaikutuksesta voidaan ohittaa, kuten

laserohjattavilla ampumatarvikkeilla, lyhentämällä ampumaetäisyyttä. Esimerkiksi pilvipeitteen vaikutus jopa häviää alle 10 kilometrin ampumaetäisyydellä. Kyseisten ammusten tarkoitus on toimittaa panssariläpäisykykyä omaavia sirotteita maaliin. Taulukkoa 4 tarkastaen voidaan todeta, että kantaman puitteissa ampumatarvikkeella saavutetaan yli 70 prosenttia kaikista tykistön maaleista, ja näin ollen suurin osa panssaroiduista maaleista. Ampumatarvikkeen käyttömahdollisuuksia kuitenkin heikentää olosuhteiden vaikuttavuus sen toimintaan. Lyhyemmällä ampumaetäisyydellä saavutetaan kuitenkin yli 40 prosenttia maaleista.

Savuammukset toimivat kuten tavalliset konventionaaliset ampumatarvikkeet koko lentoratansa aikana. Savuammuksien ampumaetäisyys voidaan pidentää muun muassa perävirtausyksiköillä, jolloin voidaan toimittaa esimerkiksi fosforisavuammuksia myös syvyyteen. Taulukkoa 4 tarkastamalla voidaan todeta että savuammuksia voidaan käyttää kaikkia maaleja vastaan.

Kuorma-ammuksiin on usein yhdistettynä kantamaa kasvattavia osia, kuten perävirtausyksikkö. Tämän lisäksi kuorma-ammusten tytärkранаateilla on hyvä panssarinläpäisykyky puolikovia maaleja vastaan. Taulukkoa 4 tarkastellen voidaan todeta, että kuorma-ammuksia voidaan (tytärkранаattien ominaisuuksien mukaan) käyttää kaikkia tykistömaaleja vastaan.

6 Yhteenveto

Luonto on aina tarjonnut tietyn asteista suojaa ja vaikeuttanut niin puolustajan kuin hyökkääjänkin toimintaa. Suomen olosuhteet tarjoavat ainutlaatuisen vaihtelevan taistelukentän, joka pakottaa sekä puolustajan että hyökkääjän tarkkaan harkitsemaan käyttämänsä aseistusta ja taktiikkaa.

Laserohjattavat täsmäaseet ovat erittäin laadukkaita. Niiden osumatarkkuus on korkea ja se tekee niistä tehokkaita ja edullisia. Laservalaisuun on kuitenkin paljon vaikuttavia tekijöitä. Ympäristö ja olosuhteet määrittelevät pitkälti valaisun onnistumisen ja hakupään mahdollisuuden havaita laserheijastus.

Laserohjattavien ampumatarvikkeiden käyttömahdollisuudet suomalaisissa olosuhteissa ovat huonoja. Päiviä ja paikkoja on erittäin rajoitetusti jolloin laservalaisu onnistuu ja hakupäällä on mahdollisuus havaita laserheijastus ajoissa. Ampumatarvikkeet toimivat todennäköisesti erittäin hyvin muualla päin maailmaa, missä ilmasto on kuivempaa ja kasvusto vähäisempää.

GPS-ohjautuvat ampumatarvikkeet kokevat hyvin vähän passiivista häirintää olosuhteista laukaisuvaiheen jälkeen. Tykki, jolla laukaisu suoritetaan, vaatii kuitenkin saman verran aukeaa tilaa mitä lähtöpisteen koordinaattien määrittäminen GPS-järjestelmällä vaatii. Olosuhteet eivät vaikuta itse lentoradalla tapahtuvaan GPS-navigointiin.

GPS-ohjautuvien ampumatarvikkeiden suurin kysymysmerkki lienee sen aktiivinen häirittävyys, mitä tässä tutkimuksessa ei ole huomioitu. Yhdysvalloilla on mahdollisuus heikentää GPS-signaalia tietoisesti ja tämän lisäksi on paljon kaupallisia laitteita, joita on kehitetty ainoastaan GPS-signaalin häiritsemiseen. Mielenkiintoista näiden ampumatarvikkeiden kehityksessä on se, etteivät Venäläiset ole lähteneet tähän teollisuuteen mukaan.

Infrapunasensori- ja millimetriaallon hakupäät törmäävät osittain samankaltaisiin ongelmiin kuin laserohjatut ampumatarvikkeet. Yhdistelmähakupään vahvuus on kuitenkin kahden eri sähkömagneettisen spektrin osa-alueen yhdistyminen ja täten suurimpien ympäristövaikutusten vähentäminen. Siinä missä yksi on heikko, niin toinen kykenee vielä toimimaan.

Savu- ja kuorma-ammukset kokevat vähän passiivista häirintää lentoratojensa aikana. Maalissa niiden toimintaa voidaan ennakoida, maalitoimintaan ei voida kuitenkaan vaikuttaa laukaisuvaiheen jälkeen. ”Tyhmien ampumatarvikkeiden” suurin etu onkin siinä, että ne lentävät sinne minne niitä ammutaan. Tämä vaatii maalinpaikantamiselta ehkä eniten.

Tässä työssä tutkitut ampumatarvikkeet kokevat jokainen jonkin asteista vaikutusta Suomalaisista olosuhteista. Suurempi määrä teknologiaa lisää sen häirittävyyttä. Kuitenkin voidaan todeta, että jokaista esitettyä ampumatarviketta voidaan käyttää yli

kolmatta osaa kaikista tykistömaaleista vastaan, ja että olosuhteet mahdollistavat kaikkien ampumatarvikkeiden käytön jopa puolet vuoden päivistä.

Tutkimus ei kuitenkaan ole ottanut huomioon erikoisampumatarvikkeiden kustannustehokkuutta. Toteamalla, että ampumatarvike on käyttökelpoinen olosuhteisiin nähden, ei tarkoiteta, että se on kaikin puolin paras vaihtoehto. Ampumatarvikkeiden valintaan liittyy myös taloudellinen näkökulma.

On huomioitavaa, että älykkäiden ampumatarvikkeiden käyttö ei kuitenkaan helpota tulenjohtajan toimintaa. Päinvastoin, tulenjohtaja on vaihtoehtojen kasvaessa huomattavasti vaikeammassa tehtävässä. Hänen on tunnettava yhä monimutkaisempien teknisten laitteiden toiminta, jotta kalliiden ampumatarvikkeiden käyttöteho ei menisi hukkaan.

Ampumatarvikkeiden erikoistuesssa ja teknologian lisääntyessä kasvaa tarpeellisuus suorittaa kenttäkokeita mitä vaativimmissa olosuhteissa. On vaikeata etukäteen tietää milloin se esimerkiksi lämpötila- tai kosteusraja vastaan, jolloin korkeasti teknologinen laite ei enää toimi.

Tulevaisuudessa tulemme näkemään mitä erikoisimpia yhdistelmiä tässä tutkimuksessa esitetyistä ampumatarvikkeiden ominaisuuksista. Kantamia ja tarkkuutta yritetään kasvattaa, samalla kun kustannustehokkuus yritetään pitää kurissa. Ampumatarvikkeiden on oltava toimintavarmoja ja epäherkkiä ulkopuoliseen vaikutukseen, niin aktiiviseen kuin passiiviseen.

LÄHTEET

- [1] Alphonse, Rune- Bergström, Lars- Björkman, Lars- Gunnvald, Per-Johansson, Erik- Lindahl, Göran- Nilsson, Roy och Bokförlaget Natur och Kultur, Stockholm: Fysik för gymnasieskolan B, Ljungföretagen, Örebro 1998.
- [2] Ampumataulukot 155 K 98: TU 8108 GA I v 2003, TU 8108 GA III, v 2003, TU 8112 GA I v 2003, TU 8102 GA I v 2003, TU 8106 GA I v 2003, TU 8106 GA II, v 2003.
- [3] Armada International 2/1990/E April/May 1990.
- [4] Blomgren, Stefan: Excalibur. Artilleri-tidskrift. Nr 3. Volym 132, 2003.
- [5] Courtney-Green P. R: Ammunition for the Land Battle. Brassey`s New Battle field Weapons System and Technology Series, Vol. 4. 1991.
- [6] Evans, Nigel: Artillery Indirect Fire and Its Weapons. Military Technology n:o 10. 1995.
- [7] Forsman, Hannu: Kenttätykistön ja raketinheitimistön erikoisampumatarvikkeiden tarve ja käyttö. Sotakorkeakoulun diplomityö 1758/1991.
- [8] Gander Terry J, Cutshaw Charles Q: Jane`s Ammunition Handbook, Seventh Edition. 1998-99.
- [9] GPS:n käyttöohje. Garmin Geko™ käyttöopas. 2003.
- [10] <http://www.artreg.mil.se/index.php?c=news&id=9056&do> 31.10.2005.
- [11] <http://www.ava.fmi.fi/oppimateriaali/envisat/valonsade/ilmiot.html> 22.12.2005.

- [12] <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/land/sadarm.htm> 31.10.2005.
- [13] <http://www.gr.admin.ch/internet/armasuisse/en/home/laufende/imbereich/kampffahrzeuge/intelligente.html> 31.10.2005.
- [14] http://www.ilmatietaenlaitos.fi/tutkimus_ilmasto/ilmasto_6.html 11.6.2004.
- [15] http://www.ilmatietaenlaitos.fi/tutkimus_ilmasto/ilmasto_9.html. 11.6.2004.
- [16] http://www.ilmatietaenlaitos.fi/tutkimus_ilmasto/ilmasto_22.html 11.6.2004.
- [17] http://www.ilmatietaenlaitos.fi/tutkimus_ilmasto/ilmasto_23.html 11.6.2004.
- [18] http://www.ilmatietaenlaitos.fi/tutkimus_ilmasto/ilmasto_24.html 11.6.2004.
- [19] http://www.ilmatietaenlaitos.fi/tutkimus_ilmasto/ilmasto_25.html. 11.6.2004.
- [20] <http://www.infradex.com/teoria.html>. 2.1.2006.
- [21] <http://www.infradex.com/pdf/teoria.pdf> Publ. No. 1 557 713 Rev. A – FINNISH (FI) – April 16, 2003.
- [22] http://www.tpub.com/content/explosives/TM-43-0001-28/css/TM-43-0001-28_297.htm 9.2.2006.
- [23] http://www.tpub.com/content/explosives/TM-43-0001-28/css/TM-43-0001-28_301.htm 9.2.2006.
- [24] <http://fi.wikipedia.org/wiki/Ilmakeh%C3%A4> 10.2.2006
- [25] Hyvämäki, Touko - Aarnio, Jukka - Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio: Tapion taskukirja, Metsälehti, Gummerus, Jyväskylä 2002.
- [26] Ilmastopalvelu, Ilmatieteenlaitos. 13.10.2004.

- [27] Jane´s ammunition handbook 2005. Tietopankki.
- [28] Kalliomäki, Kalevi – Mannermaa, Jari – Tutkimus ja skenaario GPS-navigointijärjestelmän käytettävyydestä Suomen olosuhteissa. Maanpuolustuksen tieteellinen neuvottelukunta (MATINE) Raporttisarja A. Helsinki 1996/5.
- [29] Kenttätykistöopas I osa (KtOpas I). Ampumaoppi. Sisälähetysseuran kirjapaino Raamattutalo. Pieksämäki 1992.
- [30] Kenttätykistöopas II osa (KtOpas II). Tulenjohton koulutusopas (Luonnos). Maavoimaesikunta. 1989.
- [31] Koli, Markku: Kenttätykistön ampumatarvikkeiden käytön optimointimalli, Sotakorkeakoulun diplomityö 1987.
- [32] Kosola, Jyri- Solante, Tero: Digitaalinen taistelukenttä; Informaatioajan sotakoneen tekniikka. Julkaisusarja 1 n:o 13. Toinen painos. Edita Prima Oy, Helsinki 2003.
- [33] Lammi, Petri. Kapteeni. Sään pysyvyys ja sen vaikutukset operatiiviseen ja ballistiseen sääpalveluun. Julkaisusarja 1. Tekniikan tutkimuksia N:0 1/1998.
- [34] Laser-etäisyysmittari käyttöohje, SIMRAD LP7F, Ohjesääntötoimisto, Helsinki 1984.
- [35] Lasertekniikan käyttömahdollisuudet maanpuolustuksessa. Maanpuolustuksen tieteellinen neuvottelukunta (MATINE) 1/B/78, Helsinki 1978.
- [36] Laskin97-tulos, 155 K 98, TP pvy, amet 27km. PvMatLE/Inskapt Ari Nieminen. 20.10.2004.

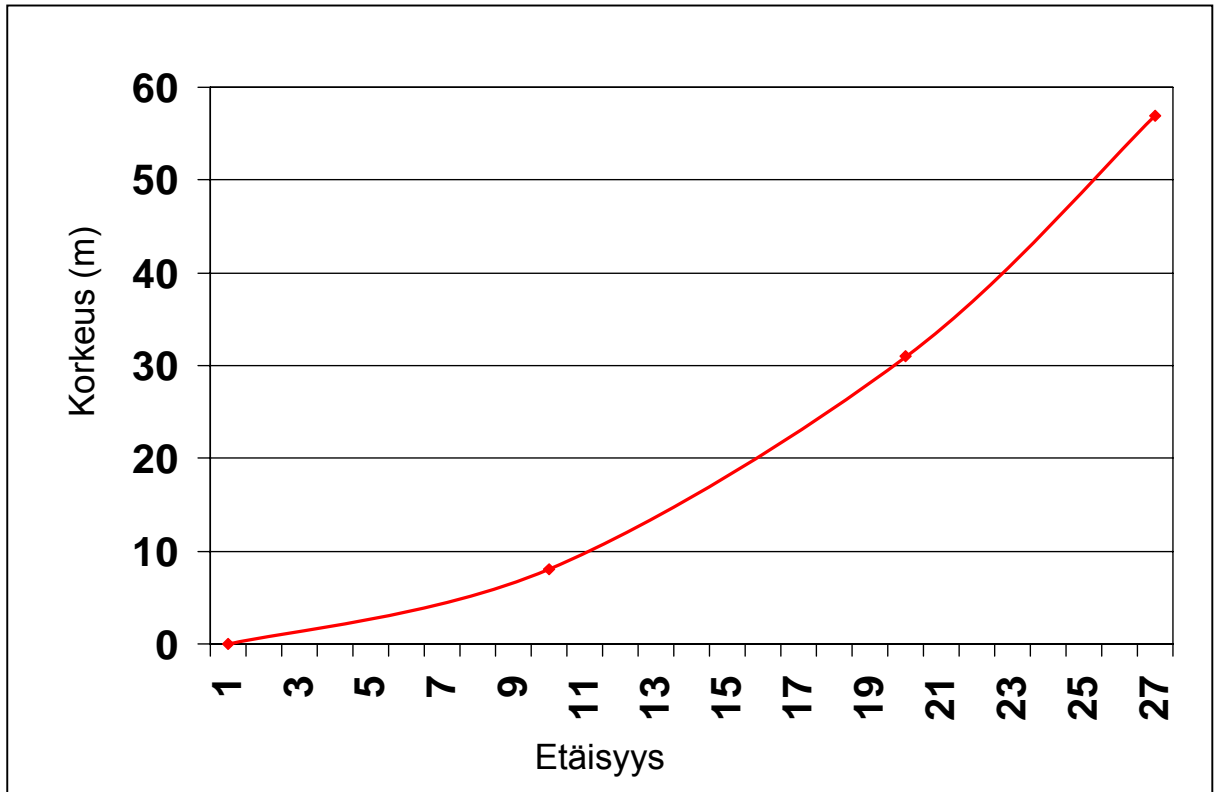
- [37] Ling, Conny: Styrda vapen sämre  n v ntat. Tidskrift f r Kustartilleriet 1/97.
- [38] Mäki, Erkki ja Alasjärvi, Jouko: Taktiikan ja sotatekniikan kehittymisen asettamia vaatimuksia kenttätykistön tulen käytölle. Tiede ja ase 43/1985.
- [39] OGRE 155 G1, Giat Industries. Esite.
- [40] P aesikunnan kentt tykist osasto: Katsaus kentt tykist mme kehittämisen perusteisiin ja kehityksen suuntaviivoihin. Suomen Kentt tykist s  ti n vuosikirja n:o 21, Helsinki 1996.
- [41] Rankila Jari: Vuosituhannen vaihteen taistelukentän maalien asettamat vaatimukset kenttätykistön suorituskyvyllä. Sotakorkeakoulun diplomityö. 1993.
- [42] Rikkinen, Kalevi: Suomen aluemaantiede. Vammalan Kirjapaino Oy. Vammala 1994.
- [43] Steinvall, Ove: Laser från sensor till vapen - kortfattad översikt av milit r och civil laserteknik, FOA Rapport A 30074-3.1, Linköping 1992.
- [44] Steinvall, Ove: Spaning, styrda vapen och m rkerstrid. Viktiga elektrooptiska tillämpningar under "Desert Storm", FOA Rapport A 30058-8.4, Linköping 1991.
- [45] Sotatekninen arvio ja ennuste (STAE) osa 1: Sotatekniikan kehitys. Tekniikan aloittain. Gummerus Kirjapaino Oy. Jyväskylä 1993.
- [46] Sotatekninen arvio ja ennuste (STAE) osa 2 1993: Puolustusj rjestelmien kehitys. Gummerus Kirjapaino Oy. Jyväskylä 1994.
- [47] Sotatekninen arvio ja ennuste (STAE I). Tietopankki. 08 Ase- ja ammusteknologia, 08.2.5.10 älykkäät ammuksset, 1998.

- [48] Sotatekninen arvio ja ennuste (STAE 2020) osa 1: Sotatekniikan kehitys. Tekniikan aloittain. Edita Prima Oy. Helsinki 2004.
- [49] Sotatekninen arvio ja ennuste (STAE 2020) osa 2: Puolustusjärjestelmien kehitys. Edita Prima Oy. Helsinki 2004.
- [50] Sotilaselektronikkaopas, Vaasa Oy, Vaasa 1985.
- [51] Suomen Kartasto, 1987.
- [52] Suomen tilastollinen vuosikirja 1996, Tilastokeskus, Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä 1996.
- [53] Sääpalveluopas (SääpO). Helsinki 1988.
- [54] Tekninen käsikirja. Tekniikan Laitos. Maanpuolustuskorkeakoulu.
- [55] Utunen, Erkki: Kenttätykistö kehittyä – tuhovoima kasvaa. Suomen Kenttätykistösäätiön vuosikirja n:o 19. Lappeenranta 1992.
- [56] Uusitalo, Harri, majuri, haastattelu 21.10.2004.
- [57] Yleinen ase- ja asejärjestelmäopas, Vammalan Kirjapaino Oy, Vammala 2001.
- [58] Yleinen ase- ja asejärjestelmäoppi (Luonnos). Pääesikunta. Helsinki 1998.
- [59] 155mm DP-ICM projectile M395, TAAS - Israel Industries Ltd. Esite.

LIITTEET

- Liite 1 Maankaarevuuden vaikutus
- Liite 2 GPS:n häiritävyyden testit ja tulokset
- 2.1 Eri satelliiteista saatuja arvoja erilaisissa tilanteissa.
 - 2.2 Varjostuksen vaikutus.
 - 2.3 Vaimennustestien tulokset
 - 2.4 Toimivuustestin tulokset
- Liite 3 Sähkömagneettinen spektri
- 3.1 Säteilylähteiden suhteelliset voimakkuudet eri mittausolosuhteissa
 - 3.2 Emissiivisyyslukuja eri materiaaleille
- Liite 4 Olosuhteiden vaikutus millimetriaalto- ja infrapunahakupään toimintaan
- Liite 5 Eri maiden kuorma-ammusten tekniset tiedot
- Liite 6 Kenttätykistön maalit
- 6.1 Kenttätykistön tyypillisiä maaleja
 - 6.2 Kenttätykistön maalien sijainti ja kovuusluokitusarvio
 - 6.3 Maalien esiintymistiheys

Maan kaarevuuden vaikutus



Kuva 34. Korkeuskomponentit eri etäisyyksillä.

Eri satelliiteista (SV) S/N arvoja (dB) erilaisissa tilanteissa (TX). Periaatteessa kaikki satelliitit olivat koko ajan käyttökelpoisia.

SV	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
4	43	39	36	35	46	48	45	47	40	40	34	24	30
5	43	38	39	0	32	28	33	35	35	39	32	0	39
7	47	45	37	39	40	38	37	39		28	34	20	
14	47	38	49	48	44	46	47	48		46	48	34	
15	34	41	34	40	32	29	27	38		33	0	0	33
20	39	34	43	43	38	36	36	43		45	39	0	45
25	44	33	34	40	37	32	34	44		43	34	0	
29	42	34	27	42	42	35	32	38		44	40	32	

Taulukko 5. Satelliittien arvot eri tilanteissa

Koodien selitykset:

- SV satelliitin numero,
- T1 avoin parkkipaikka,
- T2 lehvästön (1) reunustama pyörätie, leveys noin 5 metriä (koivuja, korkeus noin 5 metriä). Huom. Vaimennus yhdestä lehvästökerroksesta),
- T3 T2 minuutin kuluttua,
- T4 sisäpiha, jota kolmelta suunnalta ympäröi noin 6 metriä korkeat seinät,
- T5 T2 noin kolmen minuutin kuluttua,
- T6 rakennusten ja koivulehvästön (noin 5-10 metriä) ympäröimä,
- T7 T6 kääntymisen jälkeen,
- T8 puurakenteisen rakennuksen (omakotitalo) autotallin suuaukossa siten, että GPS-antenni on seinän kohdalla,
- T9 puurakenteisen rakennuksen (omakotitalo) autokatoksessa,
- T10 tuuhea koivulehvästö tien (leveys noin 6-7 metriä) ja puut noin 5-10 metriä korkeita,
- T11 tuuhea lehtipuulehvästö tien (leveys noin 4 metriä) ja puut noin 5-8 metriä korkeita,

T12 T11 minuutin kuluttua

T13 moottoritiesilta (noin 10 metriä leveä ja 6 metriä korkealla). [28]

Varjostuksen vaikutus eri satelliittien (SV) toimintakykyisyyteen erilaisissa varjostustilanteissa (TX ja SX). Aukealla kaikki satelliitit olivat toimintakykyisiä.

SV	T14	T15	T16	S1	S2	S3	S4
4			48	X	X	X	X
14		38			X	X	X
18			43	X	X		X
20	33		47				
24			42	X	X		X
25		42		X	X		
29		49	46	X	X	X	X

Taulukko 6. Varjostuksen vaikutus satelliitteihin.

Koodien selitykset:

SV satelliitin numero,

T14 Oulun Tuiraan-kaupunginosan Tuira-yliopistotien ylittävä rautatiesilta, leveys noin 10 metriä ja korkeus tien pinnasta noin 6 metriä,

T15 Oulussa Tuiraan-kaupunginosan Merikosken silloille menevän tien länsipuolella tehdyt mittaukset, kun varjostajia ovat 7-kerroksiset kivitalot,

T16 Oulussa Tuiraan-kaupunginosan Merikosken silloille menevän tien itäpuolella tehdyt mittaukset, kun varjostajia ovat 5-kerroksiset kivitalot,

S1 satelliitit, jotka kykenivät navigointiin Oulun Torikadun talojen numero 10 ja 13 välissä,

S2 satelliitit, jotka kykenivät navigointiin Oulun Pakkahuoneenkadun talon numero 12 A edessä,

S3 satelliitit, jotka kykenivät navigointiin Oulun Pakkahuoneenkadun talon numero 15 A edessä, ja

S4 satelliitit, jotka kykenivät navigointiin Oulun Hallituskadun ja Uudenmaankadun risteuksen liikennevaloissa. [28]

Vaimennustesti, joka on tehty 10.8.1995 ajaen pitkin 4-tietä välillä Oulu-Helsinki (kuitenkin Päijänteen itäpuolelta).

Tulokset ovat luokiteltu mielenkiintoisille osuuksille (Pohjanmaa, Keski-suomi ja Eteläsuomi).

Reitti	Täysi navigoitavuus 3D (%)	Vajaa navigoitavuus 2D (%)	No Fix NF (%)
Oulu - Lintulahti	2071 / 93,0	125 / 5,6	32 / 1,4
Lintulahti - Heinola	1600 / 87,5	172 / 9,4	56 / 3,1
Heinola - Helsinki	807 / 94,2	22 / 2,5	28 / 3,3

Taulukko 7. Navigoitavuus 4-tiellä. [28]

Vaimennustesti, joka on tehty 4.8.1995 ajaen pitkin 8-tietä välillä Oulu-Pietarsaari ja siitä Seinäjoen ja Parkanon kautta Kankaanpähän.

Reitti	Täysi navigoitavuus 3D (%)	Vajaa navigoitavuus 2D (%)	No Fix NF (%)
Oulu – Liminka	333 / 93,5	15 / 4,2	8 / 2,3
Liminka – Himanka	1129 / 95,2	48 / 4,0	9 / 0,8
Himanka - Kankaanpää	1306 / 92,0	82 / 5,8	19 / 1,4

Taulukko 8. Navigoitavuus 8-tiellä. [28]

Syyskuussa 1995 suoritettu GPS-toimivuustesti, mittalaitteena XR4. Tulokset ovat S/N suhteita dB:a. ATx-testeissä sää oli kuiva ja lämpötila noin +18°C. BTx-testeissä sää oli sateinen ja lämpötila noin +13°C.

AT1				BT1		
SV	L	M	H	SV	L	M
14	41	41	38	17		
18	41	46	43	18	42	32
24	29	34	32	22	37	33
25	39	34	36	24	37	36
29	39	39	38			

Taulukko 9 a ja b.

AT2				BT2		
SV	L	M	H	SV	L	M
4	34	34	18	17		
14	36	32	33	18		
18	36	39	40	22		
22	34		33	24		
24	36	34	33			
29	39	39	36			

Taulukko 10 a ja b.

AT3				BT3		
SV	L	M	H	SV	L	M
4	36	44	32	16	39	34
14	32	40	24	17	38	30
18	28	40	31	18	38	31
20		34	30	19	38	41
22	14	22	30	22		
24	16	26	20	27	35	34
29	43	41	40			

Taulukko 11 a ja b.

AT4				BT4		
SV	L	M	H	SV	L	M
4	37	37	30	16	45	38
14	32	33		17		
18	42	41	36	18		35
22	38	34	34	19	40	31
24		39	16	22		
25	31	20	28	27	40	37
29	34	31	37			

Taulukko 12 a ja b.

AT5				BT5	
SV	L	M	H	SV	M
4	43	42	39	16	40
14	39	31	35	19	33
18	35	31	31	27	32
22	34	33	38		
24		35	32		
25			31		
29			39		

Taulukko 13 a ja b.

AT6				BT6	
SV	L	M	H	SV	M
4	40	39	38	2	29
6		36	36	16	44
14	34	39	37	17	34
18	39	41	38	18	35
22		36	27	19	43
24	36	38	41	26	
25		33	31	27	42
29	41			28	35

Taulukko 14 a ja b.

AT7				BT7	
SV	L	M	H		
4	35	33	33		
6	29	33	22		
14	33	33	28		
18	38	36	37		
22	34	39	31		
24	37	41	30		

Taulukko 15 a ja b.

AT8				BT8	
SV	L	M	H		
4	29	34	34	2	
6			24	16	32
14	31	34	29	17	16
18	36	36	37	18	28
22	30			19	41
24	37	38	22	26	
				27	38
				28	30

Taulukko 16 a ja b.

Taulukkojen 9-16 a ja b mittausten suorituspaikkojen kuvaukset:

AT1 ja BT1 aukea parkkipaikka, lähimmät näköesteen 20–30 metrin päässä

AT2 ja BT2 viiden männyn muodostama saareke; mäntyjen etäisyydet toisistaan luokkaa metri ja korkeudet 4-7 metriä,

AT3 ja BT3 Pohjois-eteläsuuntainen pyörätie, jota reunusti toiselta puolen noin 5-6 metriä korkeat koivut ja toiselta samankorkuinen havupuumetsä

AT4 ja BT4 Itä-länsisuuntainen pyörätie, jota reunusti noin 6-8 metriä korkeat havupuut,

AT5 ja BT5 Itä-länsisuuntainen pyörätie, jota reunusti toiselta puolen noin 8 metriä korkea talo ja toiselta puolen samankorkuinen lehti- ja havupuumetsä,

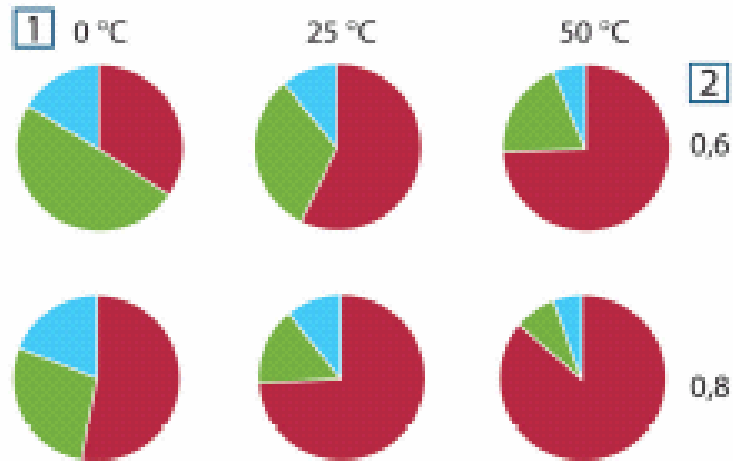
AT6 ja BT6 pieni aukea (halkaisija noin 10 metriä) harvassa metsässä, jonka havupuut noin 8-15 metriä korkeita,

AT7 ja BT7 tuuhea metsän lounas-koillisensuuntainen lenkipolku (leveys noin 4-5 metriä), jota ympäröivät havupuut noin 8-15 metriä korkeita, ja

AT8 ja BT8 tapauksen AT7 ja BT7 tuuhean metsän sama lenkipolku (mutta pohjois-eteläsuuntainen), jota ympäröivät havupuut noin 8-15 korkeita. [28]

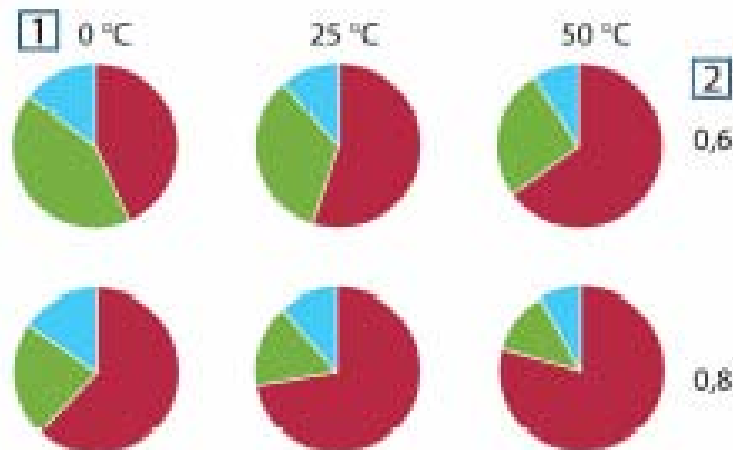
Säteilylähteiden suhteelliset voimakkuudet eri mittausolosuhteissa

■■■■■



Kuva 35. Säteilylähteiden suhteelliset voimakkuudet eri mittausolosuhteissa (lyhytaaltokamera). 1:kohteen lämpötila; 2: emittanssi; PUNAINEN: kohteen säteily; SININEN: heijastunut säteily; VIHREÄ: ilman säteily. Kiinteät parametrit: $\tau = 0,88$; $L_{hei} = 20 \text{ °C (+68 °F)}$; $L_{ilma} = 20 \text{ °C (+68 °F)}$. [21]

■■■■■



Kuva 36. Säteilylähteiden suhteelliset voimakkuudet eri mittausolosuhteissa (pitkäaaltokamera). 1: kohteen lämpötila; 2: emittanssi; PUNAINEN: kohteen säteily; SININEN: heijastunut säteily; VIHREÄ: ilman säteily. Kiinteät parametrit: $\tau = 0,88$; $L_{hei} = 20 \text{ °C (+68 °F)}$; $L_{ilma} = 20 \text{ °C (+68 °F)}$. [21]

Emissiivisyyslukuja eri materiaaleille

1	2	3	4	5	6
Graniitti	karkea	21	erikoispitkät aallot	0,879	8
Graniitti	karkea, 4 eri kappaletta	70	lyhyet aallot	0,95–0,97	9
Graniitti	karkea, 4 eri kappaletta	70	pitkät aallot	0,77–0,87	9
Hiekka			T	0,60	1
Hiekka		20	T	0,90	2
Hiekkakivi	karkea	19	erikoispitkät aallot	0,935	8
Ihmisen iho				0,95	10
Maaperä	kuiva	20	T	0,92	2
Maaperä	kyllästetty vedellä	20	T	0,95	2
Metalli	ruostunut			0,2–0,8	10
Puu		17	lyhyet aallot	0,98	5
Puu		19	erikoispitkät aallot	0,962	8
Puu	mänty, 4 eri kappaletta	70	lyhyet aallot	0,67–0,75	9
Puu	mänty, 4 eri kappaletta	70	pitkät aallot	0,81–0,89	9
Puu	valkoinen, tuore	20	T	0,7–0,8	1
Vesi	jää, paksun kuuran peitossa	0	T	0,98	1
Vesi	jää, sileä	– 10	T	0,96	2
Vesi	jää, sileä	0	T	0,97	1
Vesi	jääkiteet	– 10	T	0,98	2
Vesi	kerroksen paksuus >0,1 mm	0-100	T	0,95–0,98	1
Vesi	Lumi		T	0,8	1
Vesi	Lumi	– 10	T	0,85	2

Taulukko 17. Emissiivisyyslukuja eri materiaaleille.

Taulukko 17:n selitykset:

T: Kokonaisspektri

lyhyet aallot: 2 - 5 μm

pitkät aallot: 8 - 14 μm

erikoispitkät aallot: 6,5- 20 μm

1: materiaali

2: erittely

3: lämpötila ($^{\circ}\text{C}$)

4: spektri

5: emissiivisyys

6: lähdeviite

Lähdeluettelo

- 1 Mikaél A. Bramson: Infrared Radiation, A Handbook for Applications, Plenum press, N.Y.
- 2 William L. Wolfe, George J. Zissis: The Infrared Handbook, Office of Naval Research, Department of Navy, Washington, D.C.
- 5 Jones, Smith, Probert: External thermography of buildings..., Proc. of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, vol.110, Industrial and Civil Applications of Infrared Technology, June 1977 London.
- 8 Kern: Evaluation of infrared emission of clouds and ground as measured by weather satellites, Defence Documentation Center, AD 617 417.
- 9 Öhman, Claes: Emittansmätningar med AGEMA E-Box. Teknisk rapport, AGEMA 1999. (Emittance measurements using AGEMA E-Box. Technical report, AGEMA 1999.)
- 10 Kosola, Jyri- Solante, Tero: Digitaalinen taistelulukenttä; Informaatioajan sotakoneen tekniikka. Julkaisusarja 1 n:o 13. Toinen painos. Edita Prima Oy, Helsinki 2003.

Olosuhteiden vaikutus millimetrialto- ja infrapunahakupään toimintaan

Alue	Poutapäiviä	Esiintymistod.näk. %
Helsinki	195	55
Jyväskylä	190	50
Kajaani	185	50
Keskiarvo	190	50

Taulukko 17. Poutapäivien esiintyminen. [51]

Alue	Sadepäiviä	Esiintymistod.näk. %
Helsinki	105	30
Jyväskylä	110	30
Kajaani	105	30
Keskiarvo	105	30

Taulukko 18. Sadepäivän esiintymistodennäköisyys. [51]

Sateen voimakkuus / h		Vaimennus dB/km	
		Vaimennustekijä	
	Millimetri	Radiometri	Infrapuna
Tihkusade 0,25 mm	ei vaikuta (1,00)	ei vaikuta (1,00)	0,4 (0,99)
Sade 4 mm	3 (0,87)	3 (0,93)	2 (0,95)
Rankkasade 50 mm	10 (0,63)	10 (0,79)	10 (0,79)
Kaatosade 150 mm	50 (0,10)	50 (0,32)	40 (0,32)

Taulukko 19. Sateen voimakkuuden vaikutus. [51]

Alue	Pysyvä lumipeite	Lumisade päiviä	Esiintymistodennäköisyys %	
			Lumipeite	Lumisade
Helsinki	130 vrk	80	35	20
Jyväskylä	160 vrk	110	45	30
Kajaani	190 vrk	150	50	40
Keskiarvo	160 vrk	115	45	30

Taulukko 20. Lumen esiintyminen. [51]

Vuodenaika	Helsinki	Jyväskylä	Kajaani	Keskiarvo
Kevät	15	10	5	10
Kesä	10	15	5	10
Syksy	20	20	10	15
Talvi	20	15	10	15
Keskiarvo	15	15	10	15

Taulukko 21. Sumupäivien esiintymistodennäköisyys prosentteina. [51]

Pilvipisarat ovat kooltaan 5 - 50 mikrometriä, kun taas sumupisarat 50 - 100 mikrometriä. [51] Pilvien vesihöyry vaimentaa erittäin voimakkaasti infrapunasäteilyä, koska sirottavien pisaroiden koko on samaa suuruusluokkaa kuin säteilyn aallonpituus. [47] Tarkkaa vaimenemiskerrointa ei ole mutta tutkimuksessa arvioidaan kertoimen olevan samaa suuruusluokkaa kuin sumun, jopa hieman suurempi, jolloin infrapunasensorin $P(\text{tuho}) = 0,03$. Millimetrialueen aallonpituudet taas ovat useita kertalukuja suurempia, joten pilvien vaimennus on olematonta. [47]

Pilvikorkeus ei estä kokonaan BONUS:n toimintaa, vaan maalin etsintä alkaa matalammalta, sen jälkeen, kun pilvikerros on läpäisty. Tästä seuraa kuitenkin hakualueen raju supistuminen. Esimerkiksi jos maalin etsintä voidaan aloittaa vasta 60 metrin korkeudessa, hakualue on noin 78 prosenttia pienempi verrattuna normaaliin aloituskorkeuteen. Tällöin ammuksella on noin yksi sekunti aikaa maalin havaitsemiseen. [47]

Kuorma-ammusten teknisiä tietoja

Ammus 155 mm	M483A1	M864BB	DM642	DM652 BB	M395	M397	OGRE G1
Valmistusmaa	USA	USA	Saksa	Saksa	Israel	Israel	Ranska
Pituus (mm)	937	899	899	896	898	952	921
Paino (kg)	46,54	46,94	47	47	46,95	43,5	46
Maksimi ampumaetäisyys (km)	17,7	22,1	22,4	28,8	22,4	30	28,5
V _o (m/s)	650		802	815	797	840	820
Tytärkranaatit	64 M42 + 24 M46	48 + 24	63 DM1383	49 DM1383	63 M85	49 M85	63
Pituus (mm)	82,55	82,55	95	95			93
Halkaisija (mm)	38	38	42	42			39,5
Paino (g)	208/213	208/213	290	290			250
R-aine (g)	30,5	30,5			44	44	50
Ohjattu sirpale	M42 on	M42 on	on	on	on	on	ei
Itsetuho	ei	ei	on	on	on	on	on
Jarrusiivekkeet			on	on	on	on	on
Läpäisy (mm)*	70	70			105	105	90
Sirp-et (m)*	6	6			9	9	7

* Valmistajien ilmoittamia arvoja, mitattu optimiolosuhteissa

Taulukko 22. Kuorma-ammusten teknisiä tietoja. [8, 39]

Kenttätykistön tyypillisiä maaleja

Maalin laatu	Maalin koko	Maalialkioiden	
		laatu	määrä
Panssaroitu jalkaväkijoukkue hyökkäyksessä jalan etenemisryhmityksessä puolustuksessa	150 x 50 m	mies	22
	100 x 100 m	rspsv	3
	200 x 150 m	rspsv pesäke asepesäke	3 3 3
Vahvennettu panssaroitu jalkaväkikomppania hyökkäyksessä jalan etenemisryhmityksessä	700 x 200 m	mies rspsv/psv	70 10/3
	400 x 400 m	rspsv/psv kuljetuspsv	10/3 2
Vahvennettu panssarivaunukomppania etenemisryhmityksessä	400 x 200 m	psv/rpsv kuljetuspsv	10/3 1
Maahanlaskupataljoona laskeutumisalue pudotusalue ryhmitysalue	500 x 500 m	heko	4 x 12
	900 x 900 m	rspsv	10
	1000 x 1000 m	mies	500
Maahanlaskukomppania laskeutumisalue pudotusalue ryhmitysalue	150 x 50 m	heko	12
	800 x 400 m	rspsv	3
	500 x 500 m	mies	115

Kenttätykistöpatteri tuliasemissa	250 x 100 m	psh ajon mies	8 15 100
Kenttätykistöpatteristo tuliasemissa	1500 x 1000 m	psh mies	24 400
Kranaatinheitinjaos tuliasemissa	150 x 100 m	krhpsv ajon mies	4 4 30
Elektronisen sodankäynnin joukkue	300 x 200 m	ajon mies	10 50

Taulukko 23. Kenttätykistön maalit.

Taulukossa käytetyt lyhenteet:

rspsv – raskas panssarivaunu

psv – panssarivaunu

ajon – ajoneuvo

heko – helikopteri

psh – panssarihaupitsi

krhpsv – kranaatinheitinpanssarivaunu

- divisioonan esikunta vastaa telahaupitsipatteristoa tuliasemissa, mutta henkilöstön määrä on kaksinkertainen
- divisioonan komentopaikka ja prikaatin esikunta vastaavat vahvennetun panssarijalkaväkikomppanian etenemisryhmitystä
- pataljoonan komentopaikka vastaa panssarijalkaväkijoukkueen etenemisryhmitystä. [38, 41]

Kenttätukikistön maalien sijainti ja kovuusluokitusarvio

1. Puolustuksessa

Etäisyys etulinjasta (km)	Maali	Kovuus		
		Pehmeä	Puolikova	Kova
0 – 1	1. Hyökkäävien pataljoonien, komppanioiden ja joukkueiden ryhmykset	x	x	x
	2. Kranaatinheittimistön tuliasemat	x	x	
	3. Tulitukiaseet	x	x	x
1 – 3	1. Reservikomppaniat		x	x
	2. Kranaatinheittimistön tuliasemat	x	x	
	3. Pataljoonan johtamispaikka		x	
	4. Rykmenttien ja prikaatien johtamispaikat	x	x	
	5. Elektronisen sodankäynnin asemat	x	x	
3 – 10	1. Reservipataljoonan ja komppanioiden ryhmitysalueita		x	x
	2. Rykmentin/prikaatin esikunta	x	x	
	3. Divisioonan johtamispaikka	x	x	
	4. Tukevan tykistön tuliasemat	x	x	
	5. Viestikeskukset	x	x	
	6. Ilmatorjunta ja pioneerijoukkoja	x	x	
	7. Tuliyksiköiden huoltopaikat	x	x	
	8. Pataljoonien huoltopaikat	x	x	
10 – 20	1. Rykmentin/prikaatin huoltokeskus	x		
	2. Reservipataljoonien ryhmitysalueet		x	x
	3. Viestikeskukset	x		
	4. Divisioonan komentopaikka	x	x	
20 – 30	1. Divisioonan esikunta	x		
	2. Armeijan komentopaikka	x		
	3. Viestikeskukset	x		
	4. Divisioonan huoltokeskus	x		
	5. Huoltokuljetukset	x		

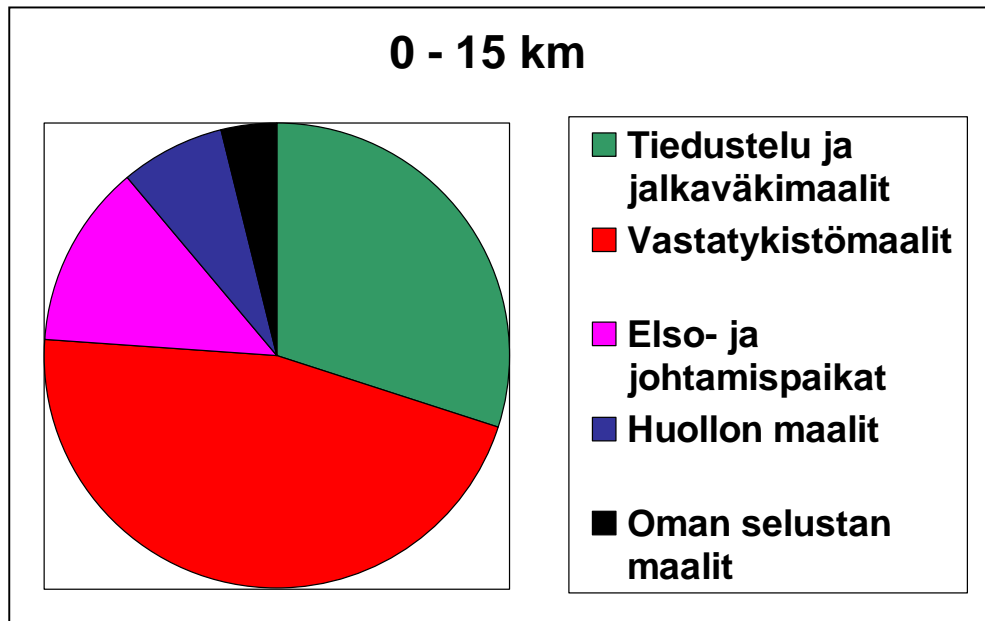
Taulukko 24. Maalien sijainnit ja kovuusaste puolustuksessa. [7]

2. Hyökkäyksessä

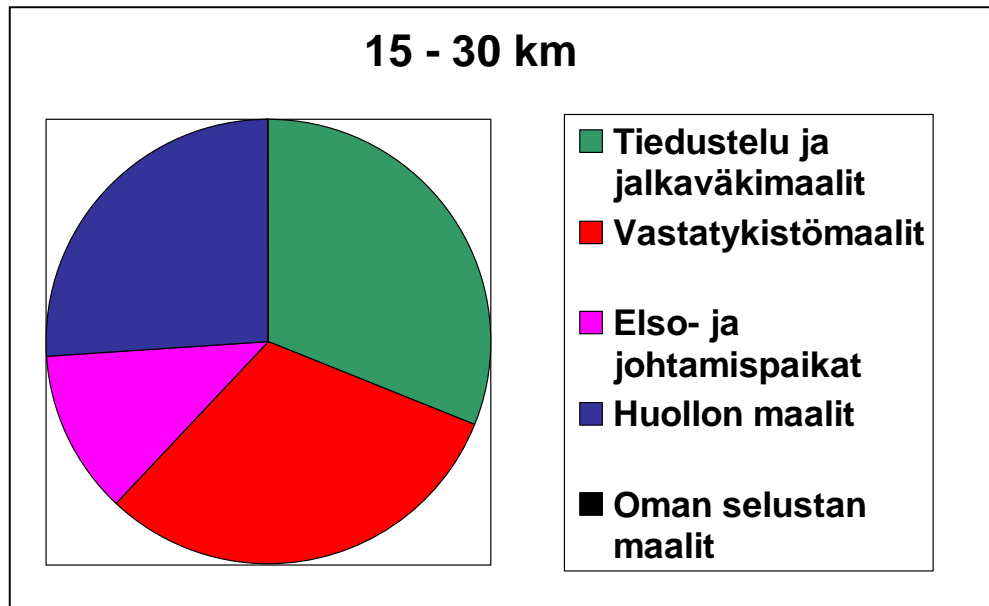
Etäisyys etulinjasta (km)	Maali	Kovuus		
		Pehmeä	Puolikova	Kova
0 – 1	1. Komppanian puolustuskeskukset ja joukkueiden tukikohdat 2. Tulitukiaseet	x	x	x
1 – 3	1. Komppanian puolustuskeskukset ja joukkueiden tukikohdat 2. Elektronisen sodankäynnin asemat 3. Kranaatinheittimistön tuliasemat 4. Pataljoonien komentopaikat 5. Pataljoonan huolto-osia	x	x	x
3 – 10	1. Tykistön tuliasemat 2. Rykmentin/prikaatin johtamispaikka 3. Divisioonan komentopaikka 4. Viestikeskukset 5. Pataljoonien ja rykmenttien huoltopaikat 6. Reservipataljoonan ryhmitys	x	x	x
10 – 20	1. Reservin ryhmitysalue 2. Divisioonan johtamispaikka 3. Viestikeskukset 4. Huoltokeskus	x	x	x
20 – 30	1. Reserviprikaati/-rykmentti 2. Selustan johtamispaikat 3. Divisioonan huolto 4. Viestikeskukset 5. Huoltokuljetukset	x	x	x

Taulukko 25. Maalien sijainnit ja kovuusaste puolustuksessa. [7]

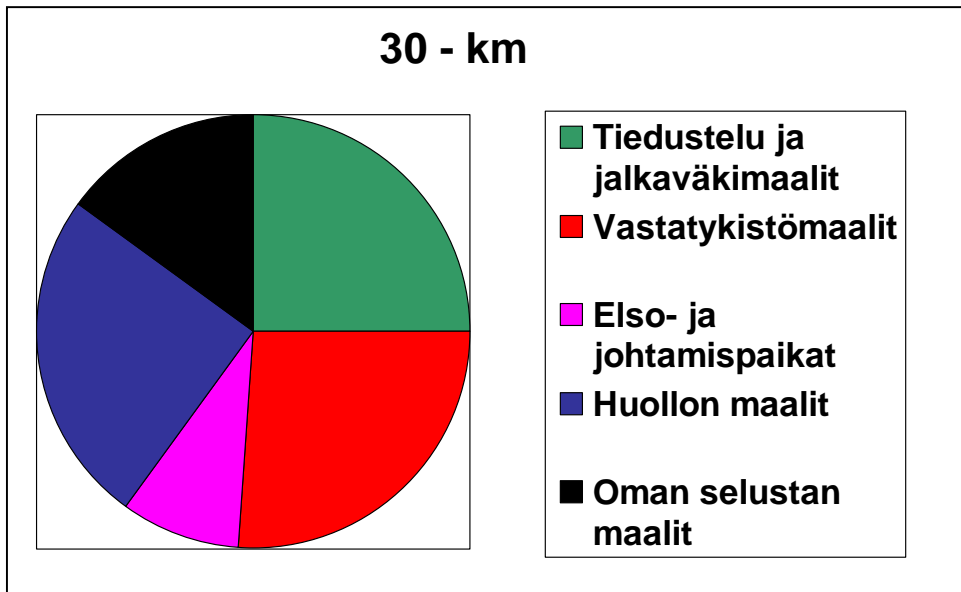
Maalien esiintymistiheys eri etäisyyksillä rintamalta



Kuva 27. Maalien esiintymistiheys 0-15 km rintamalta. [40]



Kuva 28. Maalien esiintymistiheys 15–30 km rintamalta. [40]



Kuva 29. Maalien esiintymistiheys 30 kilometristä eteenpäin rintamalta. [40]