

**MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU**

**SÄHKÖMAGNEETTISEN SPEKTRIN,  
LÄMPÖKAMERATIEDUSTELUN JA LASERMAALINOSOITUKSEN  
TUOTTAMA MAAUHKA  
HÄLYTYSPAIKKA-ALUEELLE**

Kandidaatintutkielma

Kadetti  
Jari Numminen

Kadettikurssi 98  
Ilmasotalinja

Maaliskuu 2014

## MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi Kadettikurssi 98	Linja Ilmasotalinja
Tekijä Kadetti Jari Numminen	
Tutkielman nimi <b>Sähkömagneettisen spektrin, lämpökameratiedustelun ja laser maalinsoituksen tuottama maauhka hälytyspaikka-alueelle</b>	
Oppiaine, johon työ liittyy Sotatekniikka	Säilytyspaikka Maanpuolustuskorkeakoulun kurssikirjasto
Aika Maaliskuu 2014	Tekstisivuja 23      Liitesivuja 0
<p><b>TIIVISTELMÄ</b></p> <p>Tämä tutkimus käsittelee sähkömagneettista spektriä ja sen tuottamaa uhkaa lentotukikohdan hälytyspaikka-alue ympäristölle. Sähkömagneettinen spektri on käsitteenä ja uhkan tuottajana laaja käsite, joten tutkimuksessa keskitytään käsittelemään sähkömagneettista spektriä yleisesti uhkan tuottajana, sekä käsitellään sen kahta eri sovellutusta lasermaalinsoitusta ja lämpökameraa uhkan tuottajina tarkemmin. Lähtökohtana työlle on luoda lukijalle kuvasähkömagneettisen spektrin uhkien laajuudesta, tutkimalla itse spektrin ominaisuuksia ja käsittelemällä sen eri sovellutuksia, joihin kuuluu esimerkiksi elektroninen sodankäynti kokonaisuudessaan.</p> <p>Keskeisenä menetelmää tutkimuksessa on laadullinen kirjallisuustutkimus, hyödyntäen kirjallisuuslähteitä sekä sotilas- että siviililähteistä. Lähteet on pyritty valitsemaan siten, että niiden avulla voidaan muodostaa kokonaisvaltainen kuva itse sähkömagneettisesta spektristä, sen ominaisuuksista, laserin muodostamisen periaatteista, lämpökameran toiminnasta ja liittämään nämä asiat hälytyspaikka-alueen uhkakuvaan.</p> <p>Yhteenvedona tutkimus on keskittynyt tuloksien valossa luomaan kuvan, kuinka laaja sähkömagneettisen spektrin tuottama uhka on, käsittäen itse spektrin laajuuden ja sovellutusten laajuuden tuottaman uhkakuvan, sekä tarkentaa miten lämpökamera toimii teknisesti tiedustelun välineenä. Lisäksi laser maalinsoitusta käsittelevä osio avaa lukijalle, miten lasersäteen muodostaminen tapahtuu, ja kuinka jopa 4-10km kantamaltaan olevalla lasersäteellä voi valaista maaleja kaukaakin.</p> <p>Johtopäätöksissä summataan yhteen uhkan laajuus, sekä perustellaan miten ja miksi sähkömagneettisen spektrin uhkilta voi suojautua. Spektrin tuottama uhkakuva on sen verran laaja ja kattava, että siltä täysin suojautuminen on mahdotonta, vaan uhkaa on pyrittävä minimoimaan.</p>	
<p><b>AVAINSANAT</b></p> <p>Sähkömagneettinen spektri, laser, lämpökamera, elektroninen sodankäynti, hälytyspaikka-alue, lämpösäteily, infrapuna</p>	

# Sähkömagneettisen spektrin, lämpökameratiedustelun ja laser maalinsoituksen tuottama maauhka hälytyspaikka-alueelle

## SISÄLLYS

<b>1</b>	<b>JOHDANTO.....</b>	<b>1</b>
1.1	AIHEALUEEN ESITTELY.....	1
1.2	TUTKIMUSMENETELMÄT JA RAJAUKSET.....	2
1.3	TUTKIMUKSEN PÄÄMÄÄRÄ JA TUTKIMUSONGELMA.....	2
<b>2</b>	<b>SÄHKÖMAGNEETTINEN SPEKTRI JA SÄTEILY.....</b>	<b>4</b>
2.1	YLEISTÄ.....	4
2.2	SÄHKÖMAGNEETTINEN SPEKTRIN UHKAT.....	7
<b>3</b>	<b>LÄMPÖKAMERA.....</b>	<b>12</b>
3.1	TOIMINTA.....	12
3.2	TIEDUSTELUN VÄLINEENÄ.....	14
<b>4</b>	<b>LASER MAALINOSOITUS.....</b>	<b>16</b>
4.1	LASERIN TOIMINTA.....	16
4.2	MAALINOSOITUKSEN VÄLINEENÄ.....	20
<b>5</b>	<b>YHTEENVETO.....</b>	<b>21</b>

## LÄHTEET

# LÄMPÖKAMERATIEDUSTELUN JA LASER MAALINOSOITUKSEN TUOTTAMA MAAUHKA HÄLYTYSPAIKKA-ALUEELLE

## 1 JOHDANTO

### 1.1 Aihealueen esittely

Tämän kandidaatintutkielma aiheena on lentotukikohdan hälytyspaikka-alueeseen kohdistuva maauhka ja siltä suojautuminen, rajattuna sotatekniikan näkökulmaan. Aihetta lähdetään tarkastelemaan sähkömagneettisen spektrin näkökulmasta, sillä useat tiedusteluun ja vaikuttamiseen suunnitellut vastustajan välineet toimivat jollain sähkömagneettisen spektrin alueella, kuten myös lasermaalinosoitimet ja lämpökamerat joita tässä tutkimuksessa tarkastellaan. [1, s11]

Aiheen laajuutta lisää rajatakseni otan tarkastelun kohteeksi vain suorituskyvyt, joita erikoisjoukot omaavat, sillä niillä on kyky toimia tehokkaasti ympäri vuoden ja ovat todennäköisiä lentotukikohdan maauhkan tuottajia, koska ovat koulutettuja toimimaan puolustajan syvyydessä pienryhmissä. [2, s14]

Koska sähkömagneettinen spektri ja erikoisjoukkojen omaama tiedustelu ja vaikuttamiskapasiteetti ovat molemmat laajoja kokonaisuuksia, keskityn tässä tutkielmassa käsittelemään lämpökameroilla tapahtuvan tiedustelun uhkaa ja laserilla tapahtuvaa maalinosoitusta vaikuttamisena, sähkömagneettisen spektrin kautta tarkasteltuna.

Aiheesta on sitä sivuavia tutkimuksia tehty, mutta ne ovat hajanaisia eikä ole olemassa selvää opasta maauhkalta suojautumisesta hälytyspaikka-alue ympäristössä. Tästä syystä tutkimuksen tavoitteena on luoda osaltaan teknisesti ajateltuna yhteenveto siitä, mikä hälytyspaikka-alueen ympäristössä on olemassa uhkia sähkömagneettisen spektrin näkökulmasta ja miten se käytännössä tapahtuu. Mahdollisena jatkotutkimuksena tutkielman perusteelta on mahdollista läh-

teä kasaamaan jatkotutkimusta, jonka perusteella voidaan luoda koulutusopas, jonka mukaan yhtenäistää ja kouluttaa hälytyspaikka-alueen joukkoja maauhkalta suojautumiseen sähkömagneettisen spektrin uhkilta.

Tutkimuksessa jätän täysin huomioimatta hälytyspaikka-alueeseen kohdistuvan ilmauhkan, vaikka maasta suoritettava maalintiedustelu on siihen läheisesti kytköksissä.

## 1.2 Tutkimusmenetelmät ja rajaukset

Pääasiallisena tutkimusmenetelmänä tutkimuksessa tulen käyttämään kirjallisuustutkimusta, jossa perehdyn aiheeseen liittyvään kirjallisuuteen ja täydennän tietoja tarvittavin osin lehtiartikkeleilla ja internet-lähteillä.

Rajauksina, jotta työ pysyy tarpeeksi suppeana aihealueena, keskityn tarkastelemaan maauhkaa vain lämpökameroilla tapahtuvan tiedustelun ja laserilla tapahtuvan maalinosoituksen kannoilta sähkömagneettisen spektrin kuvakulmasta. Sähkömagneettisen spektrin käsitteen aukaisen ensimmäisenä työssäni.

Lisäksi keskityn laser maalinosoituksen osalta käsittelemään vain laserin ja maalinosoittimen tekniikkaa, perehtymättä itse tapaan, jolla saatu maalitieto välitetään eteenpäin ylemmälle johdportaalle.

## 1.3 Tutkimuksen päämäärä ja tutkimusongelma

Päämääränä tutkimuksessani on saada aikaan työ, joka kertoo suppean alueen hälytyspaikka-alueen maauhkasta lämpökameroin tapahtuvan tiedustelun ja laserilla tapahtuvan maalinosoituksen osalta teknisestä näkökulmasta. Sähkömagneettinen spektri on olennainen osa molempia, joten avaan sähkömagneettisen spektrin käsitteen ensin.

Tutkimuskysymys tässä tutkimuksessa on:

-Mitä uhkia sähkömagneettinen spektri voi tuottaa hälytyspaikka-alueelle?

Alakysymyksiä, joihin tutkielma pyrkii vastaamaan:

-Mikä on sähkömagneettinen spektri?

-Miten lämpökamera toimii?

-Miten laser toimii?

-Miten laser toimii maalinosoituksen välineenä?

On olemassa aiempia tutkimuksia, joissa myös pureudutaan sähkömagneettiseen spektriin ja lämpökameran sekä laserin toimintaan, mutta yhdessäkään ei näitä yhdistetä suoraan lentotutkikohdan hälytyspaikka-alueen uhkakuvaan. Tämän tutkielman tavoite onkin liittää laserin ja lämpökameratiedustelun tekniset ominaisuudet hälytyspaikka-alueen uhkakuvaan.

Tutkielmassa keskitytään pitkälti kertomaan lämpökameran ja laserin teoreettista toimintaa ja niiden ominaisuuksia. Lisäksi käsitellään haittaavia tekijöitä, yleisiä ominaisuuksia kyseisistä aiheista. Tämä sen takia, että varsinaisessa sotilaskäytössä olevista laser- ja infrapunasovelluksista on haastavaa löytää kattavaa tarkkaa tietoa, jonka pohjilta tarkan tutkimuksen laatiminen onnistuisi. Erityisesti erikoisjoukkojen laservalaisuun käyttämistä laitteista ei julkisissa yleisissä lähteissä ole suurimmalta osin saatavilla kuin suuntaa antavaa tietoa, jonka pohjalta tutkimuksen tekeminen on turhan hataralla pohjalla. Kaikkia kolmea osa-aluetta, sähkömagneettista spektriä yleensä, lämpökameran toimintaa ja laserin toimintaa keskitytäänkin tarkastelemaan yleisellä tarkalla teoria tasolla, jotta ymmärrämme niiden toiminnan ja pystymme tätä kautta ymmärtämään niiden rajoitteita ja toimintaa ja sitoa ne omaan toimintaamme.

Erityisesti varsinaisista tiedusteluun käytettävistä lämpökameroista ja laservalaisimista löydetty tieto on erittäin suuntaa antavaan, jättäen niitä käsittelevät tekstikappaleet tässä tutkimuksessa lyhyiksi ja hyvin yleisellä tasolla pysyviksi.

## 2 SÄHKÖMAGNEETTINEN SPEKTRI JA SÄTEILY

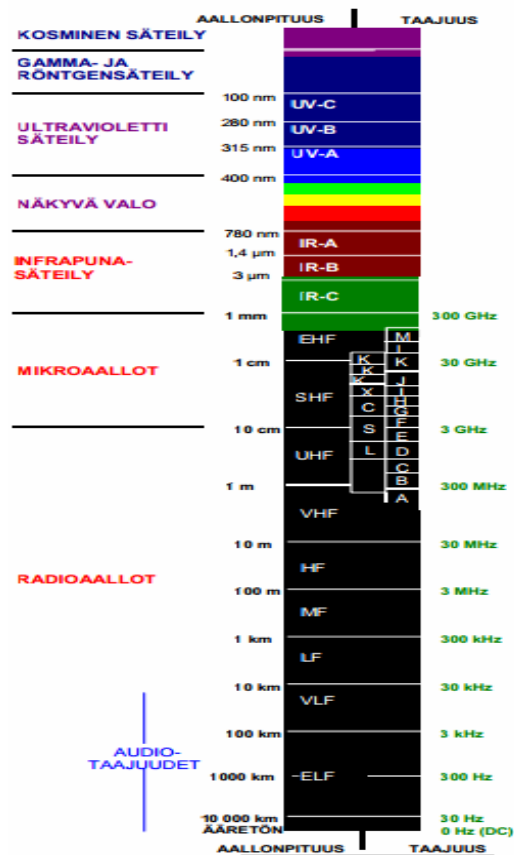
### 2.1 Yleistä

Sähkömagneettinen spektri eli kirjo kattaa kaikki sähkömagneettisen säteilyn eri lajit. Erilaisia säteilylajeja on olemassa kuusi kappaletta, ja ne on jaettu ryhmiinsä niiden aallonpituuden mukaisesti. Kuusi eri spektrin osa-alueita ovat radioaallot, mikroaallot, infrapunasäteily, näkyvä valo, ultraviolettisäteily, gamma- ja röntgensäteily ja kosminen säteily. [3, s.31] Näillä osa-alueilla on jokaisella erilaiset sovellutukset mihin niitä kyetään käyttämään ja omat tapansa ja tehonsa vaikuttaa materian kanssa, riippuen niiden taajuudesta ja aallonpituudesta. Mitä suurempi kokonaisenergia säteilyllä on, sitä suurempi vaikutus sillä on materiaan ja esimerkiksi röntgensäteily kykenee läpäisemään ihmisen ja aiheuttamaan säteilyn vaikutuksia, mikä ominaisuus taas radioaalloilla on minimaalinen.

Spektrin eri osa-alueiden vaikutus materiaan ja niiden havaittavuuteen vaihtelee eri spektrin osa-alueilla huomattavasti, ja ainoastaan aallonpituudet väliltä noin 400nm -780nm kyetään havaitsemaan ihmisen silmällä. [3, s.72] Sähkömagneettisen säteilyn vaikutus materiaan riippuu säteilyn aallonpituudesta ja taajuudesta, sillä suuri taajuuden säteilyn aallonpituus on pienempi ja säteilyn kokonaisenergia ovat huomattavasti suurempia. [3, s.31]

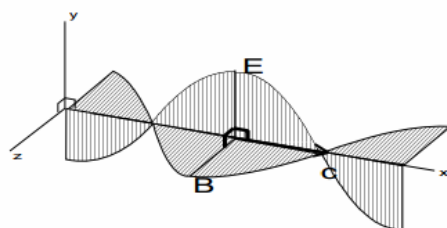
Sodankäynnissä sähkömagneettisen spektrin osa-alueiden ymmärtäminen on oleellista koska sodankäynnissä käytettävä teknologia hyödyntää sähkömagneettisen spektrin alueita aikaisemman jaon mukaan radioaalloista gamma- ja röntgen säteilyyn saakka. [3, s.32] Erilaiset sodankäynnissä olevat järjestelmät, esimerkiksi tutkat, radiolaitteet, lämpökamerat toimivat sähkömagneettisen spektrin eri osa-alueilla. Kaikki sähkömagneettinen säteily ei ole tahallista, vaan esimerkiksi infrapuna-alueella voidaan helposti havaita autonmoottorin tuottama lämpö vielä pitkään moottorin sammuttamisen jälkeen ja erilaisten sähkölaitteiden, kuten monitoreiden hajasäteily. Näitä on kyettävä ymmärtämään nykyajan sodankäynnissä, jotta kyetään vaikeuttamaan esimerkiksi vihollisen infrapuna-alueella tapahtuvaa tiedustelua lämpökameroilla, suojautumaan elektroniselta tiedustelulta ja tällä tavalla suojaamaan omaa toimintaa. Tämä korostuu nykypäivän sodankäynnissä siksi, että käytännössä kaikki käytetyt sotatekniikan sovellutukset hyödyntävät tai ainakin ilmenevät jollain tavalla sähkömagneettisessa spektrissä.

Spektrin eri osa-alueet aallonpituuksittain on jaettu seuraavan kuvan mukaisesti



Kuva 1. Sähkömagneettisen spektrin jako eri osa-alueisiin. [4, s39]

Sähkömagneettinen säteily on ajasta riippuvaa sähkö- ja magneettikentän aaltoliikettä, ja sitä kuvaavia suureita ovat amplitudi, taajuus, aallonpituus, vaihe, etenemisnopeus ja koherenttisuus. Muuttuva sähkökenttä synnyttää ajasta riippuvan magneettikentän, joka muuttuessaan synnyttää ajasta riippuvan sähkökentän. Sähkömagneettinen säteily etenee toisiaan ja etenemissuuntaansa nähden kohtisuorassa olevina sähkö- ja magneettikenttänä. [4, s 41]



Kuva 2. Sähkökenttävektori E ja magneettikenttävektori B. [4, s42]



Sähkömagneettisen säteilyn aallonpituus tarkoittaa aallon kulkemaa matkaa sillä aikavälillä, kun se on tehnyt yhden täyden kierroksen maksimiarvojensa välillä, eli kahden aallonharjan välinen etäisyys. Kuitenkin väliaineessa kaikki aallot etenevät hitaammin vastustavan voiman takia josta johtuen aallonpituus väliaineessa on pitempi kuin verrattuna tyhjiössä kulkevaan sähkömagneettiseen aaltoon. [3, s.34]

Sähkömagneettisilla aalloilla tapahtuu heijastumista aallon kohdatessa tasaisen tasopinnan, jolloin se heijastuu tasoon nähden niin, että tulokulma jolla aalto osuu tasoon on sama kuin sen heijastuskulma. Koko osa säteilystä ei kuitenkaan välttämättä heijastu, vaan osa voi taittua tai sirota osuessaan rajapintaan. Kulmaa, jolla tapahtuu täydellinen heijastuminen kutsutaan kriittiseksi kulmaksi. [3, s.38] Erona heijastumiseen, kun heijastuminen tapahtuu pois päin rajapinnasta, taittuminen tapahtuu aina kohti tiheämpää ainetta, tässä tapauksessa tasopintaa kohti. Sironta taas tarkoittaa sitä, että rajapinnan kanssa kohdatessa säteily absorboituu materiaan, virittää materian korkeampaan energiatilaan joka purkautuessaan lähettää alkuperäisen säteilyn taajuudella säteilyä jokaiseen suuntaan. [3, s.39] Puhuttaessa tässä tapauksessa materiaasta ei aina tule ajatella vain suuria kiinteitä rakenteita kuten rakennuksia, vaan jopa ilmassa olevat aerosolit, savut, vesi- ja lumisateetkin aiheuttavat sirontaa. Erittäin pienet ilmassa olevat hiukkaset kuten savu eivät kuitenkaan aiheuta paljon sirontaa, mutta sumu, vesi ja lumisateet häiritsevät säteilyn etenemistä. [5, s.6]

Kaikki kappaleet myös emittoivat sähkömagneettista säteilyä. Emittoivan säteilyn voimakkuus on riippuvainen kappaleen lämpötilasta eli sen omaamasta lämpöenergiasta ja voimakkaasti emittoiva kappale häiritsee infrapuna-alueella tapahtuvan säteilyn havaitsemista voimakkaasti. [5, s.6] Toisaalta esimerkiksi polttomoottorien emittoima säteily voidaan havaita helpostikin tahattomasti vielä kauan moottorin sammutuksen jälkeen niiden korkean lämpötilan ja emittoivan säteilyn takia, sillä lämpöenergia ei katoa hetkessä. Havaittavuuteen vaikuttaa havaittavan kohteen tausta, sillä kohteen ja taustan lämpötilan ollessa lähellä toisiaan vaikeutuu havaitseminen huomattavasti.

Kappale, joka absorboi tai emittoi säteilyä huonosti, täytyy heijastaa tai läpäistä säteilyä hyvin. Infrapunakameran mittaamasta säteilystä osa onkin aina kappaleesta heijastunutta tai sen läpäissyttä säteilyä. Jos ja kun kappaleen itse emittoiva säteilyn määrä on pieni, mittaa lämpökamera tarkemminkin kohteen taustan lämpötilaa, jolloin kohde yhä erottuu lämpökameran ilmaisimella. [6, s.8]

Osa säteilystä myös aina absorboituu väliaineeseen jolloin sen voimakkuus vaimenee. [5, s.5] Tämä johtuu siitä, että säteilystä osa energiasta siirtyy väliaineen atomeille ja molekyyleille. Väliaineessa säteilyn kantama ei olekaan rajaton, mutta suuremman kokonaisenergian omaava aalto kykenee etenemään pitemmän matkan, vaikuttaen esimerkiksi tutkan kantamaan: Säteilyn on kyettävä etenemään lähettimestä kohteeseen joka aiheuttaa takaisin heijastumista takaisin vastaanottimeen. On myös mahdollista, että vain pieni osa säteilystä saavuttaa enää vastaanottimen ja saatu kuva esimerkiksi tutkanäytölle taikka erilaisille optisille laitteille on heikko ja vaikeuttaa tunnistamista. [5, s.5]

Kaikki vaikuttaa sähkömagneettisen aallon etenemiseen, maapallon kaasukehästä kaikkeen muuhunkin materiaan. Suurin säteilyn lähde minkä havaitsemme on aurinko. Kuitenkin kaikki materia jota löytyy lähettää säteilyä.

Rajoittavina tekijöinä sähkömagneettisen spektrin käytössä ovat luonnonilmiöt, kohina ja useat samaa sähkömagneettisen spektrin aluetta käyttävät järjestelmät voivat häiritä toisiaan. Kohinalla tarkoitetaan häiritsevää sähköenergiaa, joka kohdistuu sähkömagneettista spektriä käyttävään laitteeseen. Signaalin ollessa tarpeeksi heikko, kohina peittää alkuperäisen signaalin niin vahvasti ettei alkuperäistä signaalia pystytä enää tulkitsemaan oikein, mihin perustuu myös erilaiset viestiliikenteen häirinnän keinot. [3, s.77]

Erilaiset tekijät vaikuttavat stroposfäärissä säteilyn etenemiseen, kuten lämpötila- ja paineja-kauma, kosteus, sumu ja sade. Korkeilla taajuuksilla myös pöly, savu ja muut pienikokoiset hiukkaset vaikuttavat säteilyn etenemiseen. Toisin sanoen, asiat kuten ilmasto, vuodenaajat ja niille ominaiset sääolosuhteet, vuorokauden ajat, säätila ja muut tekijät kuten savu ja pöly vaikuttavat kaikki säteilyn etenemiseen ja täten suoraan niitä hyödyntävien laitteiden suorituskykyyn. [4, s56-57]

## 2.2 Sähkömagneettinen spektrin uhkat

Sähkömagneettisen spektrin uhkat lentotukikohdan hälytyspaikka ympäristöille ovat erilaisten järjestelmien, jotka hyödyntävät jotain sähkömagneettisen spektrin osa-aluetta tuottamia. Erilaisia järjestelmiä on olemassa lukuisa määrä, eikä niitä kaikkia tulla tässä tutkielmassa mainitsemaan vaan pyritään antamaan kuva, minkälaiset järjestelmät hyödyntävät eri sähkömagneettisen spektrin osa-alueita.

Lentotukikohtaa ja sen hälytyspaikka alueympäristöä vastaan voi tapahtua signaalitiedustelua, jolla tarkoitetaan eri säteilyä tuottavien järjestelmien signaalien sieppaamista. Kun vielä kyetään analysoimaan signaalin aallonpituus ja taajuus, saadaan tietoa mistä järjestelmästä signaali on peräisin. Signaalitiedustelulla voidaan myös siepata langattomien viestijärjestelmien viestejä. [3, s.215]

Nykypäivän sodankäynnissä elektroninen häirintä on osa asevaikutusta muiden asejärjestelmien kanssa. ”Tärkeimmät häirintälähtetimen ominaisuuksia kuvaavat parametrit ovat:

- Häirintäteho (EIRP:na)
- Häirintäsignaalin kaistanleveys; laaja tai kapea
- Häirintäsignaalin pulssitus; jatkuva tai pulssitettu
- Häirintälähtetimen tyyppi; modulaatiolaji sekä modulointinopeus
- Häirintäsignaalin taajuus; kiinteä tai pyyhkivä
- Häirintäsignaalin lähetysaika; jatkuva tai reagoiva, reagointonopeus
- Harhauttavan signaalin muodostaminen
- Häirinnän kohde; RF-etupää, välitaajuus, ilmaisin
- Häirintälähtetimen polarisaatio; sama kuin häiritävällä järjestelmällä” [3, s.311]

Häirintäteho riippuu lähetystehosta ja antennivahvistuksesta, sillä antennivahvistusta nostamalla saadaan aikaan korkeampi EIRP arvo. Antennivahvistus toimii tosin vain rajatulla häirintäsektorilla, joten EIRP:n lisääminen antennivahvistuksella kaventaa häiritävissä olevaa sektoria. On olemassa myös 360°, ympärisäteileviä antennejä, joiden käyttö rajoittuu koko 360° sektorin takia pelkästään tilanteisiin, jossa häirintälähtetimen voidaan sijoittaa paikkaan, jossa ei ole omia toimintoja jotka voivat häiriintyä. [3, s.312]

Lisäksi laser tuottaa valaisu-uhkan lentotukikohtaa ja hälytyspaikka-alue ympäristöä vastaan. Valaisu voidaan suorittaa niin ilmasta kuin maastakin käsin, vaikka tässä tutkielmassa myöhemmin käsitellään vain maasta käsin tapahtuvaa valaisua. Erilaisten laserpommien laukaisuetäisyys on tyypillisesti 5-6km, mutta laseriin hakeutuvat täsmäaseet ovat huomattavasti tutkahakeutuvia tarkempia. Tutkahakeutuvia täsmäaseita harvemmin käytetään maamaaleja vastaan. [3, s.304]

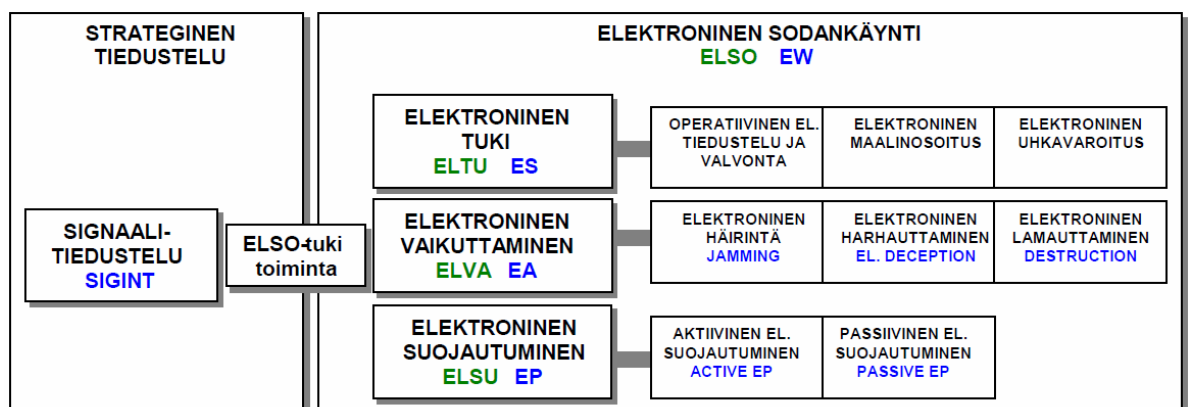
Elektroninen sodankäynti kuuluu kokonaisuudessaan jollain tasolla aina sähkömagneettista spektriä käyttäväksi sodankäynnin alueeksi. Elektronisen sodankäynnin tavoitteita ovatkin hankkia passiivisin menetelmin sähkömagneettisen spektrin kautta tietoa, lamauttaa ja hidastaa sekä suojata. Tiedon hankkiminen voi kohdistua joukkoihin ja järjestelmiin, tai olla maalien paikantamista sekä ennakkovaroituksen hankkimista omille joukoille. Lamauttaminen ja hidastaminen esimerkiksi lentotukikohtaan voi kohdistua johtamisjärjestelmiin ja pyrkiä estämään sähkömagneettista spektriä käyttävien johtamisjärjestelmien käytön. Suojausta taas on estää tai harhauttaa vihollista sähkömagneettista spektriä käyttämällä. [4, s20]

**Elektroninen sodankäynti (ELSO, engl. Electronic Warfare, EW)** on sähkömagneettista säteilyä käyttävien tai lähettävien järjestelmien tiedustelua ja valvontaa ja niihin vaikuttamista sekä suojautumista näiden järjestelmien vaikutuksilta. Elektronisen sodankäynnin tavoitteena on

- 1) **hankkia passiivisin menetelmin sähkömagneettisen spektrin kautta tietoa** vihollisen joukoista ja järjestelmistä tilannekuvan muodostamiseksi, maalien paikantamiseksi sekä uhkavaroituksen antamiseksi omille joukoille välittömästi uhkaavista vaaroista
- 2) **lamauttaa ja hidastaa** vihollisen tiedustelua, valvontaa, johtamistoimintaa sekä ase- ja omasuojajärjestelmien käyttöä **häiritsemällä** tai **estämällä** sähkömagneettisen spektrin käyttöä, **harhauttamalla** sensoreita sekä **lamauttamalla** elektronisia järjestelmiä ja
- 3) **suoja**ta omat joukot ja niiden järjestelmät **estämällä** tai **harhauttamalla** vihollista saamasta tietoa niiden määrästä, sijainnista, liiketilasta, käytötavasta ja -aikeista sekä teknisistä ja toiminnallisista ominaisuuksista sekä **valvomalla** omaa sähkömagneettisen spektrin käyttöä.

Kuva 3. Elektronisen sodankäynnin tavoitteet. [4,s20]

Jotta saadaan kuva elektronisen sodankäynnin laajuudesta, tarkastellaan sitä kokonaisuutena. Elektroninen sodankäynti jakautuu elektroniseen tukeen, elektroniseen vaikuttamiseen ja elektroniseen suojautumiseen. [4, s20]



Kuva 4. Elektronisen sodankäynnin osa-alueet. [4, s20]

Edellä mainittu tapa jaotella elektroninen sodankäynti ei ole ainoa olemassa oleva, vaan julki-  
suudessa esiintyy muitakin ja keskenään ristiriitaisiakin määritelmiä. Osassa määritelmää on  
laajennettu entisestään, mutta silti jokaisessa määritelmässä alue on kattava eikä minkään pe-  
rusteella voida kieltää elektronisen sodankäynnin osuutta nykypäivän sodankäynnissä. [4, s21]

Elektroninen tuki on se osa elektronista sodankäyntiä, joka tuottaa elektronisten läheteiden  
ilmaisun sekä tuottaa tilannekuvaa tai täydentää siihen tietoja. Se kattaa tiedustelun ja valvon-  
nan, sekä viholliseen kohdistuviin joukkoihin sekä omiin sähkömagneettista spektriä käyttävät  
järjestelmät. Osa-alue jaetaan edelleen operatiiviseen elektroniseen tiedusteluun ja valvontaan,  
elektroniseen maalinsoitukseen ja elektronisiin uhkavaroituksiin. [4, s21]

Elektroninen vaikuttaminen on hyökkäyksellinen toimenpide, jonka tarkoituksena on heiken-  
tää vihollisen toimintakykyä vaikuttamalla sen elektronisiin järjestelmiin. Tämä kattaa säh-  
kömagneettista spektriä käyttävien laitteiden käytön estämisen, hidastamisen ja vähentämisen.  
Tämä osa-alue jakautuu edelleen elektroniseen häirintään, elektroniseen lamauttamiseen,  
elektroniseen tuhoamiseen ja elektroniseen harhauttamiseen. [4, s23]

Elektroninen suojautuminen taas tarkoittaa toimenpiteitä, joilla pyritään takaamaan omien  
elektronisten järjestelmien toimintakyky sekä keinot, joilla pyritään vaikeuttamaan vihollisen  
tiedustelua. Tämä osa-alue jakautuu aktiiviseen elektroniseen suojautumiseen, passiiviseen  
elektroniseen suojautumiseen ja joidenkin määritelmien mukaan myös uhkavaroittimiin. [4,  
s24]

Aktiivisella elektronisella suojautumisella tarkoitetaan aktiivisia toimenpiteitä kuten  
omasuojahäirintä, suojaava harhauttaminen ja järjestelmien toimintaparametrien muuttamista  
uhkatilanteenmukaisesti. Näillä toimenpiteillä pyritään peittämään omien elektronisten järjes-  
telmien toiminta ja takaamaan niiden toimintakyky myös vihollisen vaikutuksen alaisena. [4,  
s25]

Passiivisilla menetelmillä tarkoitetaan menetelmiä, joilla ilman että elektronista uhkaa on ha-  
vaittu, pyritään haittaamaan tai estämään tiedustelua, valvontaa tai vaikuttamista. Tälläisiä  
keinoja ovat esimerkiksi emissioiden hallinta, taajuushallinta, häivemenetelmät, hajauttami-  
nen, harhauttaminen ja liikkuvuus. Nämä toimet jakautuvat toiminnallisiin, taktisiin ja tekni-  
siin keinoihin. [4, s25]

Kyse on siis kokonaisuuden hallinnasta kun puhutaan elektronisesta sodankäynnistä. Samaan aikaan olisi kyettävä heikentämään tai estämään vastustajan kykyä käyttää hyödykseen sähkömagneettista spektriä ja mahdollistaa omien joukkojen spektrin hyödyntäminen. Ongelmana on, että osa omista spektriä käyttävistä laitteista voi toimia samalla taajuuskaistalla kuin vihollisen käyttämät spektriä hyödyntävät sovellukset. Tällöin vastustajan häiritseminen ja estäminen käyttämästä sähkömagneettista spektriä vaikuttaa myös omaan toimintaan. Tämä onkin huomioitava jo ennen varsinaista sotatoimien alkua suunniteltaessa taajuuksien käyttöä.

### 3 LÄMPÖKAMERA

#### 3.1 Toiminta

Lämpökameran toiminta perustuu kappaleessa emittoituvan ja siitä heijastuneen lämpösäteilyn havaitsemiseen. Koska kaikki kappaleet, jotka omaavat lämpöenergiaa emittoivat lämpösäteilyä tapahtuu emittointia kaikissa kappaleissa joiden lämpötila on korkeampi kuin absoluuttinen nollapiste. [7, s.16] Lämpökamerat toimivat parhaiten keski-infrapuna-alueella, 3-5 $\mu\text{m}$  ja pitkäaaltoisella infrapuna-alueella, 8-12 $\mu\text{m}$ , johtuen ilmakehän aiheuttamasta suuresta vaimennuksesta muilla alueilla. Ilmaisimet, joiden tehtävä on muuttaa saapuva säteily jännite- tai virtapulsseiksi, voidaan jakaa kahteen ryhmään: termisiin ilmaisimiin ja fotoni-ilmaisimiin. Fotoni-ilmaisimet ovat herkempiä havaitsemaan lämpösäteilyä, mutta emittoivat itse toimiesaan niin paljon lämpöä, että ne on ensin jäähdytettävä alhaiseen lämpötilaan, pitkäaaltoisella infrapuna-alueella toimiessa -196 °C ja keski-infrapuna-alueella vähintään -80 °C. Termiset ilmaisimet eivät tarvitse jäähdytystä. [5, s.8]

Termisessä ilmaisimella toiminta perustuu saapuvan lämpösäteilyn lämmittämään elementtiä, josta sensori mittaa elementin lämpötilan muutoksia. Fotoni-ilmaisimien toiminta taas havainnoi ja ilmaisee suoraan saapuvat fotonit, eli pienet energia annokset jotka saapuvat ilmaisimelle. [3, s.260] Fotoni-ilmaisimet ovat normaalisti herkempiä havaitsemaan lämpötilaeroja kuin termiset ilmaisimet. [8, s.29]

Kuvan muodostaminen ilmaisimelle tapahtuu pyyhkäisemällä kuva-ala joko sarjapoikkeuttajan tai rinnakkaispoikkeuttajan avulla, jotta saadaan muodostettua kokonainen kuva. On olemassa myös tuijottavia ilmaisimia, jotka eivät tarvitse poikkeuttajia. [5, s.9]

Lämpökameralla kohteen havaitseminen edellyttää kohteesta tulevan lämpösäteilyn ja taustan emittoiman lämpösäteilyn olevan eri suuruisia, sillä lämpökamera tuottaa kuvan joka ilmaisee lämpösäteilyjen voimakkuuksien eroavaisuuksia kohdealueella. Se, kuinka suuri täytyy näiden intensiteetti erojen olla tulkittavan kuvan muodostamiseksi, on riippuvainen ilmaisimen omasta lämpökohinasta. Tästä syystä fotoni-ilmaisimia on jäähdytettävä, jotta niiden oma lämpökohina saadaan laskettua tarpeeksi matalalle kunnollisen kuvan saamiseksi. Voimakkaat ja useat lämpöä emittoivat kohteet vaikeuttavat hyvän kuvan muodostamista, joita on kesäaikana huomattavasti talvea enemmän. [5, s.9]

Käytettävä aallonpituusalue, jota kamerassa käytetään, riippuu mm. mitattavan kohteen lämpötilasta, taustasäteilyn spektrisestä jakaumasta sekä halutusta erottelutarkkuudesta. Kun tahdotaan suurta tarkkuutta tai kun tarkastellaan kuumia kohteita käytetään lyhytaaltoisen infrapunasäteilyn aallonpituusaluetta. Viileämpien kohteiden tarkasteluun soveltuu paremmin pitkäaaltoinen infrapunasäteily. Käyttämällä pitempää aallonpituus aluetta vähennetään auringosta ja kohteesta heijastuvan säteilyn osuutta vastaanottimen mittaamasta radianssista. [6, s13]

Koska lämpökameroita on saatavissa lähes kaikille infrapunasäteilyn taajuuksille käyttötarkoituksesta riippuen, voidaan tästä päätellä siviilimarkkinoiltakin löytyvän myös sotilaskäytössä käyttökelpoisia lämpökameroita. Uusimmissa kameroissa on saatavissa emissiviteetin korjauksen lisäksi ilmakehän läpäisykertoimen korjausmahdollisuus. Jos tiedetään etäisyys kohteeseen, ympäristön lämpötila ja ilman suhteellinen kosteus, voidaan nämäkin tiedot syöttää uusiin lämpökameroihin. Näiden tietojen avulla kamera laskee ilman läpäisykertoimen. [6, s13-14]

Ilmakehän kaasut ja hiukkaset, esimerkiksi sade aiheuttavat säteilyn absorboitumista, heikentäen säteilyn intensiteettiä vaikeuttaen ja rajoittaen kohteen havaitsemista lämpökameralla. Säteilyyän vaikuttaa myös sironta, aineen aiheuttama suunnan muutos säteilyssä. Täten säteilyn voimakkuuteen, ja suoraan myös kohteen havaitsemiseen lämpökameralla vaikuttavat väliaineissa tapahtuva absorptio ja sironta oleellisesti.

Kappaleet säteilevät aina sähkömagneettista säteilyä ollessaan äärellisissä lämpötiloissa ja kaiken kappaleeseen tulevan säteilyn täytyy absorboitua, heijastua taikka läpäistä kappale. Musta kappale, joka absorboi kaiken siihen osuvan säteilyn on ideaalinen lämpösäteilijä. Taustan säteily maanpinnalla on lähellä mustan kappaleen säteily ominaisuuksia, kuten kirkas taivas. Luonnonmateriaalit sen sijaan ovat usein säteilyä läpäisemättömiä, joiden säteily koostuu emittoituvasta ja heijastuneesta säteilystä. [9, s6-7]

Tarkkuuteen johon lämpökameralla päässään vaikuttaa kohdealueen lämpötilamaksimi ja lämpötilaminimi sekä itse lämpökameran erotuskyky. Erotuskyky ilmaisee pienimmän mahdollisen pinta-alan jonka kamera pystyy erottamaan. [1, internet] Lämpökameran maksimierottelukyky rajoittuu Sparrown kriteerin perusteella: [6, s.13]



$$d = \frac{0,5\lambda}{N.A.}$$

,missä d= pienin eroteltavissa oleva kohde

$\lambda$ = aallonpituus

N.A.= objektiivin aukkeroin

Teoreettinen maksimiarvo N.A.lle on 1 ja käytännössä maksimiarvo on 0,95, sekä huomioiden kohteen ja objektiivin välisen etäisyyden sen arvo on arviolta 0,5. Tämän kriteerin mukaan maksimierottelukyky on yhtä suuri kuin tarkasteltava aallonpituus. [6, s.13]

Lämpökameroilla voidaan mitata lämpötilaeroja 20 mK:n asti ja erottelukyky voi olla muutamien mikrometriä suuruusluokkaa. Infrapunasensoreissa käytetään infrapunasäteilylle herkkiä ilmaisimatriiseja kuten indium-antimoni, platine-pii ja elohopea-telluridi. Vastaanottimessa materiaalit on kytketty matriisimuotoon. Jäähdytetyissä ilmaisimatriiseissa matriisia jäähdytetään usein nestemäisellä tyypellä alhaiseen lämpötilaan, jolloin saadaan itse infrapunakameran lämmönoususta johtuva epätarkkuus ilmaisimen näytöllä minimoitua. Käytössä voi olla myös heliumjäähdytteinen lämpökamera. [6, s11-12]

Lämpökameroissa vastaanotinmatriisi on yhdistetty infrapunaoptiikkaan. Tavallinen lasi ei kelpaa linssin materiaaliksi, koska tavalliset lasilinssit ovat läpinäkymättömiä keski- ja pitkäaaltoisille infrapunasäteilyille. Tästä syystä sekä sotilas- että siviilisovelluksissa käytetään linssimateriaaleina sellaisia aineita kuin pii, sinkki-selenidi ja germanium. [6, s12]

### 3.2 Tiedustelun välineenä

Lämpökamera on mahdollisesti ilmasta tapahtuvan tiedustelun tai sitten erikoisjoukkojen maasta käsin käyttämä väline, jolla tiedustellaan lentotukikohtaa ja sen hälytyspaikka-alueita. Sillä kyetään helposti erottamaan taustasta lämpimät kohteet, kuten hiljakkoin lennolta saapunut tai edes käynnissä käytetty lentokone, ajoneuvojen jättämät lämpöjäljet ja lämmitetyt kiinteät rakenteet sekä joukkojen majoitukset, jos kohteita ei ole suojattu lämpötiedustelulta.

Säteilyn intensiteettiin vaikuttaen myös sää vaikuttaa lämpökameran suorituskykyyn tiedustelu käytössä. Runsas kasvillisuus kohteen ympärillä aiheuttaa myös vaikeuksia kohteen havaitsemiseen, koska kaikki aine kohteen ympärillä aiheuttaa sirontaa. Tämä tarkoittaa, että runsaan kasvillisuuden sekaan sijoitetut teltat, maastoajoneuvot ja muut kohteet ovat huomattavasti vaikeammin havaittavissa taustasta. Vaikkei täydelliseen kohteen havaitsemisen estämiseen tällä pystyttäisikään, niin kohteen tunnistaminen vaikeutuu. Lisäksi voidaan käyttää matalaemissiivisiä maaleja ja materiaaleja kohteen havaitsemisen vaikeutuksi. [9, s8-9]

Huomioon on otettava myös ympäristön lämpötila ja vuorokauden ajan vaikutus kohteen lämpötilaan. Kohteen säteily voi muuttua vuorokauden eri aikoina lämpötilojen muuttuessa ja auringon lämmittäessä kohdetta. Tästä voidaan päätellä, että esimerkiksi musta henkilöauto seistään auringossa ja lämmentyään erottuu maastosta selkeästi taustaa lämpimämpänä kohteena, kun taas jos kyseinen auto on seissyt monta päivää pakkasessa, sen lämpötila voi olla huomattavasti lähempänä taustan lämpötilaa talvella. [9, s8-9]

Lisäksi vastatoimenpiteinä, joilla infrapuna-alueella tiedustelua voidaan harhauttaa ja vaikeuttaa toimivat valemaalit. Tämä tarkoittaa todenmuotoisen kohteen luomista ja antamalla kyseiselle esineelle lämmönlähde tiedustelun harhauttamista varten, jonka vuoksi lämpökameralla havaitut kohteet onkin usein tunnistettava myös muilla menetelmillä. [9, s.9]

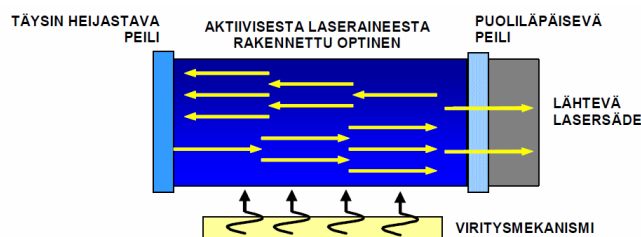
Toisaalta nykyaikaisilla lämpökameroilla erottelukyky voi olla jopa muutamien mikrometrien luokkaa, tehden kohteiden sulauttamisesta taustaan haastavaa, joten voidaankin olettaa että suurin osa suojatuistakin kohteista näkyy lämpökameran ilmaisimella jollain tasolla. Kuten aikaisemmin todettu, joskus pelkkä kohteen tunnistamattomaksi tekeminen riittää, sillä tällöin ei voida olla varmoja kohteen arvokkuudesta maalina. [6, s11]

## 4 LASER MAALINOSOITUS

### 4.1 Laserin toiminta

Laserteknologiaa voidaan käyttää nykypäivän sotakentillä tietoliikenne-, sensori-, ase-, omatunnistus- ja omasuojajärjestelmissä, tehden sen tuntemisesta olennaista nykypäivän taistelukentillä. Olennaista laserin tuottamassa valossa on se, että se on koherenttia eli fotonit ovat samassa vaiheessa ja lähtevä valo on kollimoitua eli samansuuntaista, mistä seuraa laserille ominainen kasassa pysyvä säde, eikä sille tapahdu samalla tavalla kuin taskulampun tuottamalle valolle. [3, s.260] Sodankäynnissä on kielletty silmää vahingoittavat laserit nykypäivänä kansainvälisin sopimuksin.

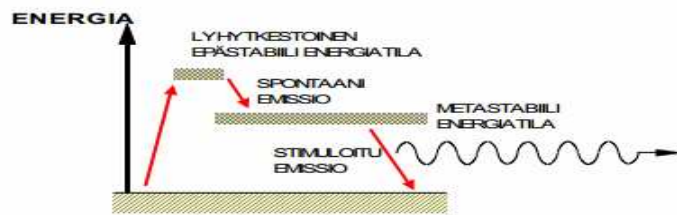
Laserlähettimessä on olemassa neljä peruskomponenttia: Aktiivinen lasermateriaali, viritysmekanismi, täysin heijastava peili sekä puoliläpäisevä peili. Peruskomponenttien tehtäviin ja toimintoihin palataan laserin periaatteen jälkeen.



Kuva 240: Laserlähettimen yksinkertaistettu rakenneperiaate.

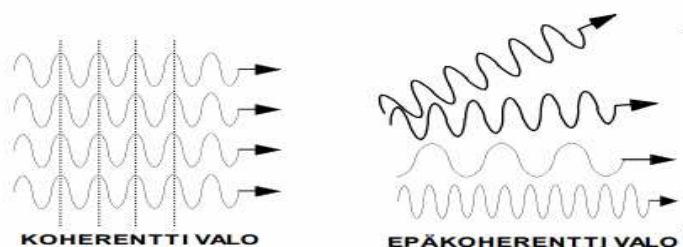
### Kuva 5. Laserlähettimen rakenneperiaate. [4, s315]

Viritysmekanismin avulla laserin atomit saatetaan korkeampaan energiatilaan, josta se satunnaisen ajan jälkeen palaa takaisin perustilaansa ja lähettää energiatilojen erotusta vastaavan fotonin. Satunnaisten purkaumien tuottama valo on epäkoherenttia, ja lähettimessä olevat atomit nostetaankin epästabiiliin energiatilaan, josta ne purkautuvat perustilaansa alempaan, pitempiketoiseen energiatilaan. Tässä vaiheessa kun jokin atomeista palaa perustilaansa, se jälleen lähettää energiatilojen erotuksen suuruisen fotonin joka kulkee lasermateriaalissa ja simuloi muita atomeita ympärillään palaamaan perustilaansa, jolloin saadaan useita samassa vaiheessa olevia fotoneja. Peilin tehtävänä joka heijastaa fotonit takaisin, jolloin stimuloivat fotonit eivät kaikki pääse karkaamaan, vaan toisessa päässä löytyy puoliläpäisevä peili, jonka päästä lähtee koherentti lasersäde ulos. [3, s.269]



Kuva 6. Laserperiaate [4, s316]

Laservalo siis on koherenttia, tarkoittaen, että kaikki valonsäteet ovat samassa vaiheessa kun normaalissa valossa on useita eri vaiheessa olevia säteitä. Samoin laservalo on monokromaattista, eli kaikki sen valonsäteet ovat aallonpituudeltaan samanmittaisia, tai sitten voi esiintyä vain muutamaa eri aallonpituutta. Toisin kuin tavallisessa valossa jota esimerkiksi aurinko tai pöytälamppu lähettää, koska näissä valoissa on monia eri aallonpituuksia. Tästä syystä laser- valo sopii hyvin nopeusmittareihin, hologrammeihin, tietoliikenteen sovelluksiin ja isotooppi- en erotteluun. [10, 6-7]



Kuva 7. Koherentti ja epäkoherentti valo. [4, s315]

Aktiivisen lasermateriaalin tehtävänä on siis pitää sisällään atomit, joiden energiatiloja muutetaan laserin tekemiseksi. Viritysmekanismin tehtävänä on pumpata lisää energiaa aktiivisen lasermateriaalin atomeihin, jotta ne saadaan viritettyä ylempiin energiatiloihin. Täysin heijastava peili heijastaa kaikki fotonit takaisin, estäen stimuloivien fotonien karkaamisen ja puoliläpäisevä peili päästää osan samanvaiheisista fotoneista ulos lasersäteen aikaansaamiseksi. [3, s.268]

Nykyteknologialla laserlähettimien aikaansaama laserin aallonpituusalue ulottuu kolmesta nanometristä 3 millimetriin. Vaikka laserilla on hyvä kollimaatio, myös sen etenemisessä tapahtuu leviämistä. Säteä voidaan kollimoida vielä laserlähettimen jälkeenkin erillisellä linsisrakennelmalla. [3, s.272]

Laseraseista on olemassa sensoreita sokaisevia ja harhauttavia lasereita, sekä sensoreita ja optiikka vaurioittavia lasereita. Haluttu vaikutus saadaan aikaan käyttämällä sensoreille ominaista aallonpituutta ja tehoa, ja häirintään tarvittava teho laserilta on huomattavasti pienempi kuin tuhoamiseen vaadittavalta. Häiritseminen laserilla on ohimenevää ja toimii vain sen ajan kuin häirintä on aktiivista.[5, s.21]

Vaurioittaminen ja tuhoamiseen käytettävät laserit vaativat huomattavasti suuremmin tehon. Optisten elementtien vahingoittaminen edellyttää lasersäteeltä sitä aallonpituutta, jota elementti absorboi. [5, s.22]

”Laserlähettimet jaetaan turvallisuutensa perusteella viiteen eri luokkaan:

- luokka 1: Ei aiheuta vaaraa missään olosuhteissa.
- luokka 2: Vahingollista, jos säteeseen katsotaan tietoisesti pitkän aikaa.  
Luokan 2 laserit toimivat näkyvän valon aallonpituudella.
- luokka 3A: Vahingollista vain jos sädetä katsotaan vahvistavalla optisella välineellä, kuten kiikarilla.
- luokka 3B: Vaarallista katsottaessa pelkällä silmällä laserlähdettä tai heijastusta peilistä
- luokka 4: Vahingollinen silmälle jopa hajaheijastuksista ja saattaa vaurioittaa ihoa säteen osuessa siihen suoraan tai heijastuksen kautta”

[3, s.272]

Laserin vaikutus perustuu kohteena olevan materian absorboimaan lämpöön ja energiaa kuvaa säteilyvuon tiheys  $J/cm^2$ . Tämä tiheys kuvaa pinta-ala yksikölle kohdistuvaa säteilytehoa ja siihen vaikuttavat alentavasti väliaineen aiheuttama vaimennus, säteen leviämiskulma, intensiteettijakauma säteen sisällä jonka aiheuttaa ilmakehässä esiintyvän turbulenssin speckle ilmiö. [5, s.23]

Laserlaitteistot voidaan luokitella kolmeen eri luokkaan sen mukaan, riippuen missä olomuodossa viritettävä materiaali on: kaasu, neste ja kiinteä. Toinen tapa on jakaa laseriluokkiin sen

mukaan, kuinka se lähettää valoa: Sykähdyksittäin kuten pulssilaser, tai sitten tasaisesti ilman taukoja lähetäviin (CW, continuous wave). [10, s8]

Esimerkkinä kaasulasereista on CO<sub>2</sub>-laser, jossa peilien välissä on kaasuseos joka koostuu hiilidioksidista, typestä ja heliumista. Seokseen tuodaan suuri jännite ja osa CO<sub>2</sub> molekyyleistä virittyy. Suuri osa sähköenergiasta absorboituu typeen. Molekyylien törmäillessä virittyneisiin CO<sub>2</sub> molekyyliin ne virittävät. Toisin päin, virittytynyt CO<sub>2</sub> molekyyli purkaa viritystilansa kun se törmää virittämättömän molekyylin kanssa ja sen energiataso laskee. CO<sub>2</sub> molekyylin virittymisen purkautuessa, se tietyille energiatasoilla laskiessaan luovuttaa energiansa lähettämällä fotonin, eli valonsäteen. Tämän valonsäteen aallonpituus on 10,6µm tai 9,6µm riippuen mille tasolle elektroni putoaa. Yleisempi pudotus on tasolle, jossa aallonpituus on 10,6µm, joten tämä on kyseisen laserin lähettämän valon aallonpituus. Muille tasoille pudotessaan energiaa vapautuu lämpönä, josta syystä kaasulaserin lämpötila pyrkii nousemaan ja se tarvitsee jäähdytystä. [10, s9-10]

Toisena esimerkkinä Nd:YAG-laser, eli neodyymi laseri. Neodyymi laserissa laseroivana väliaineena toimii neodyymi-ioni, Nd<sup>3+</sup>. Jatkuvatoimisessa neodyymi laserissa Nd<sup>3+</sup>-ioneja viritetään kiteen vierellä molemmilla puolilla olevilla krypton, salama- tai kaarilampuilla. Lisäksi on laser valoa vahvistavat peilit sauvan molemmissa päissä. Nd:YAG kide sijaitsee sauvan sisällä. [10, s14]

Lampuista säteilevä valo heijastuu heijastimista lasersauvaan ja vain muutama prosentti valosta absorboituu itse Nd:YAG kiteeseen. Suurin osa energiasta muuttuu lämmöksi ja laserin hyötysuhde onkin vain 2-3%, sekä se vaatii jäähdytystä kiteen ja lampujen osalta. Kiteen lämmönousu rajoittaa maksimiulostulotehoa, koska sisällä syntyneestä lämmöstä ja ulkopinnan jäähdytyksestä aiheutuva lämpötilagradientti aiheuttaa noustessaan sisäisiä jännityksiä. Tehoa voidaan kuitenkin saada yhdistämällä Nd\_YAG-sauvoja yhteen. Jatkuvatoimisessa Nd-YAG laserissa käytetään kaarilamppuja. [10, s15]

Pulssattavassa Nd:YAG laserissa käytetään kaarilampujen sijasta salamavalolamppuja. Tällöin teholähde syöttää virtapulsseja salamalampuille ja nämä muodostavat valopulsseja, joiden avulla viritetään Nd-YAG sauvan ioneja. Saatavan laservalon pulssin kesto on sama kuin syötetyllä virtapulssilla, joten pulssin pituus on helposti säädettävissä. Samoin myös laservalon teho ja energia ovat suoraan verrannollisia syötettävään tehoon. [10, s15-16]

Laserilla tapahtuvassa maalinosoituksessa etäisyys mittaavan laitteen ja kohteen välillä voidaan määrittää seuraavasti:

$$R = \frac{cT}{2(n)}$$

,missä R=Etäisyys kohteeseen (m)

T=Laserin matkustusaika ilmassa

c=Valonnopeus tyhjiössä ( $2,998 \times 10^8$  m/s)

(n)=keskimääräinen refraktio laserin kulkureitillä

[11, s79-80]

## 4.2 Maalinosoituksen välineenä

Nykypäivän laservalaisun toimintamatka on noin 10km ja siihen käytetään moduloitua lasersädettä, jotta voidaan erottaa häirintä- ja valaisusignaalit. Valaisussa käytettävän lasersäteen teho on noin 100 mJ ja jatkuvaa pulssijonoa. Ne omaavat kapean keilanleveyden ja lyhyen pulssin pituuden, tehden niistä tarkempia kuin tutkalla suoritettava maalinosoitus. Koska lasersäde on erittäin koherentti, on sitä myös vaikea häiritä ulkoisilla häirintäsignaaleilla, mutta johtuen pulssin rajoitetusta tehosta jolla se kulkee väliaineessa se on alttiimpi sääilmiöille. Lasersäteilyyn vaikuttavat laserit perustuvat 1064 nm Neodyymi lasereihin, jonka pulssiteho on noin 4 MW, pulssien kesto 20ns ja toistotaajuus 10-20 Hz. [3, s.304]

Tyypillinen jalkaväki- tai tykistön käytössä oleva laser-maalinosoitukseen tarkoitettu laitteen kantama on 4-10km ja tarkkuus etäisyyden määrittämisessä 10m. Näiden laitteiden vaatimuksina ovat keveys, siirrettävyys, käyttöaika ja matala hinta. [11, s82-83]

Suurin 1064nm Neodyymi laserin heikkous käytössä johtuu sen aallonpituudesta: 1064nm:n aallonpituus ei ole yhtä käyttökelpoinen kuin suuremmalla aallonpituudella toimivat laitteet, koska se on alttiimpi taistelukentän olosuhteille kuten sumulle, sateelle ja savulle. [11, s109]

## 5 YHTEENVETO

Yleisestikin voidaan todeta, että sähkömagneettinen spektri kokonaisuudessaan tuottaa lentotukikohdan hälytyspaikka alueelle huomattavia uhkia. Sähkömagneettista spektriä hyödyntämällä kyetään sekä tiedustelemaan aluetta sekä maalittamaan kohteita alueelta, sekä häiritsemään iskun jälkeistä toipumista estämällä, häiritsemällä ja lamaannuttamalla johtamisjärjestelmiä jotka käyttävät lentotukikohdan alueella sähkömagneettista spektriä. Lisättyä tähän se, että lentotukikohdan elektronisen suojautumisen keinot ovat vähäiset ja siihen ei käytetty suuria miesresursseja, erikoisjoukkojen mahdollisilla häirintäkeinoillakin kyetään jo huomattavasti vaikuttamaan alueellamme.

Lisäksi haastavuutta lisää sähkömagneettisen spektrin ja sen käyttämien sovelluksien laajuus ja monipuolisuus. On olemassa suuri kirjo sähkömagneettista spektriä hyödyntäviä laitteita, jotka toimivat eri aallonpituus ja taajuus alueilla ja joilta suojautuminen edellyttää erilaisia toimenpiteitä. Lisäksi vaikka kohde pystyttäisiinkin täysin suojaamaan lämpökameralla tapahtuvalta tiedustelulta, on aina mahdollista havaita kohde vielä normaaleilla suurentavilla kiikareillakin oikeissa olosuhteissa. Tällöin kohde on jälleen mahdollista maalittaa esimerkiksi laserilla ilmaiskun kohteeksi.

Tiedustelun välineenä sähkömagneettisen spektrin käyttäminen hälytyspaikka-alueita vastaan on erittäin todennäköistä, koska alueella ei toimi varsinaisesti tältä uhalta suojautumiseen erikoistuneita joukkoja ja tiedustelu voi pysyä tiedostamattomana pitkänkin aikaa. Tämän takia onkin harhauttaminen, kuten järjestelyiden, sijoituspaikkojen muuttaminen toimiva järjestely vihollisen tiedustelun harhauttamiseksi, jonka voidaan luottaa lentotukikohdan alueella ilmeväen. Signaalitiedustelulta esimerkiksi viestien välittämisessä on varmempaa käyttää langattomien yhteyksien sijasta langallisia yhteyksiä, jolloin havaittavia signaaleja ei ole, eikä viestien kaappaaminen onnistu.

Toisaalta ymmärtämällä sähkömagneettista säteilyä koskevia fysikaalisia lainalaisuuksia, emissiota, absorptiota, taittumista ja heijastumista esimerkiksi voidaan myös kyetä ymmärtämään miten niiltä voidaan suojautua ainakin osittain yksinkertaisillakin toimenpiteillä. Vaikka lentokonetta ei voidakaan käsitellä puhtaiden alueiden ulkopuolella, voidaan materiaalin ja henkilöstön sijoittamista ja suojaamista parantaa niinkin yksinkertaisilla toimenpiteillä kuin sijoittamalla esimerkiksi auto runsaan kasvillisuuden sekaan, naamioverkoilla ja luomalla valomaaleilla harhauttavia emittoivia kohteita.



Laserin käyttö maalinosoitukseen hälytyspaikka alueella on mahdollista sen kantaman vuoksi: 4-10km:n kantama on riittävä, jotta kohde voidaan valaista tarpeeksi kaukaa säilyttäen valaisua suorittavat joukot tarpeeksi kaukana jotta niitä kyettäisiin välttämättä havaitsemaan. Toisaalta estämällä suora visuaalinen yhteys voidaan myös estää laserin käyttö tiettyjä kohteita vastaan tietyiltä alueilta, jonka vuoksi uhkalta voidaankin suojautua tehokkaasti, jos voidaan luotettavasti arvioida mistä tiedustelu ja mahdollinen valaistus voidaan suorittaa. Lisäksi rajoittavana tekijänä laserin käytössä toimii ympäristön olosuhteet: Sumuinen tai rankkasateinen sää voi hyvinkin estää kohteen valaisemisen laserilla tarpeeksi kaukaa, että toimenpide voidaan suorittaa. Toisaalta hyvällä säällä, laserin koherenttisuuden vuoksi sen häirintä ON vaikeaa vaikka tiedossa olisikin mistä valaistaan ja lentotukikohdassa olisi tämänkaltaisen toiminnan estämiseen perehtyneitä joukkoja, valaisun estäminen on enemmän kuin haastavaa.

Lämpökameran käyttö hälytyspaikka alueen tiedustelun uhkan tuottajana noudattaa osin samoja lainalaisuuksia kuin laserilla maalin valaiseminenkin. Tässäkin tapauksessa vallitsevat sääolosuhteet rajoittavat lämpökameralla suoritettujen tiedustelujen tehokkuutta, mutta silti sen tehokkuutta ei voida kiistää, etenkin jos omat passiiviset suojautumisen toimenpiteet on suoritettu vajavaisesti. Kuitenkin on huomioitava, että mahdollisesti sotilaskäyttöönkin soveltuvia lämpökameroita löytyy helposti saatavana helpostikin: Kaupalliseen ja teollisuuden käyttöön tarkoitetut lämpökamerat ovat osin suorituskyvyltään jopa ehkä osittain suorituskykyisempiäkin kuin sotilaskäyttöön tarkoitetut. Toisaalta niiden luotettavuus, paino ja helppo kuljetus voivat olla heikompia. Silti niiden saaminen on helppoa.

Toisaalta lämpökameralla tapahtuvalta tiedustelulta suojautuminen on teoriassa yksinkertaista, koska se perustuu täysin kohteen lämpötilan saattamiseksi lähelle ympäristön lämpötilaa sekä muotojen rikkomiseen, on se yksinkertaista kouluttaa kaikille joukoille. Vaikka lämpökamerat itsessään voivat kyetä aikaisemmin mainittuun 20mK:n lämpötilaerojen erottamiseen, on huomioitava että ihmisen kyky lukea kuva ilmaisimelta virheettömästi on rajallisempi.

Yleisestikin lentotukikohdan suojautumiskeinot sähkömagneettisen spektrin uhkilta ovat passiivisia. Kyseisen joukon oma kyky suorittaa aktiivisia vastatoimia on parhaimmillaankin vajalainen, joten huomiota on kiinnitettävä passiivisiin, välissä erittäinkin yksinkertaisiin keinoihin. Materiaalin ja henkilöstön hajauttaminen, naamioverkkojen käyttö, mahdollisten kohteiden sijoittaminen tähystyksen kannalta vaikeaan maastoon tai runsaan kasvillisuuden joukkoon vaikeuttaa kohteen tiedustelua. Aina ei välttämättä kyetä täysin estämään mahdollisen

kohteen havaitsemista, mutta voidaan estää sen tunnistaminen. Tässä tapauksessa vaikeutetaan vihollisen harkintaa päättäen, onko kyseessä arvokas vai toissijainen maali. Tästä syystä lentotukikohdissa joukkojen koulutuksessa on oltava mukana passiiviset suojautumisen toimenpiteet, joilla kyetään minimoimaan uhkaa. Suojautumisessa on huomioitava, että kaikkea säteilyä ei kyetä peittämään, vaan on pyrittävä uhkan minimointiin ja vaikeuttamiseen.

## LÄHTEET

## Internet lähteet:

[1] Kari Vierinen, *Lämpösäteily ja infrapunakameran toiminta*, Espoo-Vantaan teknillinen ammattikorkeakoulu, Fysiikan laitos [viitattu 18.3.2014] saatavissa:

<http://users.evtek.fi/~karisv/infra1.htm>

## Kirjallisuuslähteet:

[1] Tuomas Partanen, *Laser-säteilyn vaikutukset ja siltä suojautuminen Suomen Ilmavoimissa*, Pro gradu-tutkielma, Helsinki, 2005, Maanpuolustuskorkeakoulu, Operaatiotaito ja taktiikka, 75 s.

[2] Juha Tuominen, *Erikoisjoukot ja niiden käyttöperiaatteiden kehittyminen Venäjällä*, Helsinki, 1997, Maanpuolustuskorkeakoulu, Taktiikan seurantaraportti, 54 s

[3] Jyrki Kosola, Tero Solante. *Digitaalinen taistelukenttä informaatioajan sotakoneen tekniikka*. Helsinki. Oy Ebita Ab. 2000. 402s. 1239-3819.

[4] Jyri Kosola, Tero Solante. *Digitaalinen taistelukenttä, informaatioajan sotakoneen tekniikka*. Maanpuolustuskorkeakoulu. Sotatekniikan laitos. Helsinki, 2013, s491.

ISBN 978-951-25-2503-4

[5] Petteri Lampinen. *Taistelukentän optiset olosuhteet*. Esiupseerikurssin opinnäytetyö. Helsinki. 2001. MPKK. 30s.

[6] Tynjälä Tero, *Lämpökuvauksen käyttö ennakoivassa kunnossapidossa ja kunnonvalvonnassa*, V, Infrapunateknologian seminaari 1999, Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Energiatekniikan osasto, 1999, s23. ISBN 951-764-355-1

[7] Juha Peltomäki. *Valonvahvistimien ja lämpökameroiden toimintaperiaate, suorituskyky ja suorituskykyyn vaikuttavat tekijät*. Tutkielma. Helsinki. 1995. MPKK. 75s. s16.

ISBN 951-764-355-1

[8] Ojala Arso, *Optiset mittaussysteemit, IV*, Infrapunateknologian seminaari 1999, Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Energiatekniikan osasto, 1999, s33

ISBN 951-764-355-1

[9] Kytölä Tero, *Hahmontunnistus, III*, Infrapunateknologian seminaari 1999, Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Energiatekniikan osasto, 1999, s22. ISBN 951-764-355-1

[10] Uusitalo Johannes, *Laser konepajateollisuudessa, VI*, Infrapunateknologian seminaari 1999, Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Energiatekniikan osasto, 1999, s25.

ISBN 951-764-355-1

[11] Clifton S. Fox, *The Infrared and Electro-Optical System Handbook, Volume 6, Active Electro-Optical Systems*, Infrared Information Analysis Center, Environmental Research Institute of Michigan, 1993, s312

## LITELUETTELO

