

**MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU**

**LITENING-PODIN LASERLAITTEIDEN VAIKUTUKSET TYÖTURVALLISUUTEEN**

Kandidaatintutkielma

Kadetti  
Mika Järä

Kadettikurssi 93  
Ilmavoimien ohjaajalinja

Huhtikuu 2009

## MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi Kadettikurssi 93	Linja Ilmavoimien ohjaajalinja
Tekijä Kadetti Mika Järä	
Tutkielman nimi <b>Litening-podin laserlaitteiden vaikutukset työturvallisuuteen</b>	
Oppiaine, johon työ liittyy Sotatekniikka	Säilytyspaikka Kurssikirjasto (MPKK:n kirjasto)
Aika 28.04.2009	Tekstisivuja 29      Liitesivuja 0
<b>TIIVISTELMÄ</b>	
<p>Ilmavoimien hävittäjäkaluston toisessa ylläpitopäivityksessä hankitaan ilmasta maahan -toimintakyky, jonka maalinosoitusjärjestelmänä toimii Litening AT. Tämä järjestelmä sisältää kolme erilaista laserlaitetta, jotka ovat vaarallisia suojaamattomalle silmälle jopa 30 kilometrin etäisyydelle. Tähän asti tukilentolaivueella on ollut käytössään ilmavoimien ainoat laserlaitteet, joiden teho on ollut huomattavasti pienempi. Käyttötarkoituksen muutokset ja laitteiston teho aiheuttavat paljon vaatimuksia ilmavoimien laservaromääräyksille, jotka ovat jääneet ilman päivityksiä jo 13 vuotta.</p> <p>Lasersuojaimet kehittyvät kovaa vauhtia tekniikan mukana, mikä aiheuttaa runsaasti töitä Lentotekniikkalaitokselle. Ilmavoimille on hankittu edellisen tutkielman jälkeen huomattavasti järkevämmät lasersuojalasit, joten laseja käyttämällä litening-podinkin laserlaitteiden varoetäisyydet supistuvat olemattomiin. Suojalasien huurtuminen ja heikohko läpinäkyvyys hankaloittavat kuitenkin lentotoimintaa varsinkin hämärällä, joten lasersuojausta pyritään siirtämään tarkoitusta varten suunniteltuihin lasersuojavisiireihin.</p> <p>Ilmavoimien laserohjeistusta tulisi päivittää nykyistä useammin ja työturvallisuutta pitäisi parantaa ennakoivaa suunnittelua lisäämällä. Harjoitusikäikässä laserin käyttäminen aiheuttaa monia huomioon otettavia riskejä, joita pitää tarkastella</p>	

riittävän asiantuntevan työryhmän kesken. Näiden riskien suuruutta täytyy arvioida suhteessa saavutettuihin hyötyihin.

#### AVAINSANAT

Lasertekniikka, Litening, MLU, Riskienhallinta, Silmiensuojaimet, Silmävaurio, Sotilasilmailu, Työturvallisuus

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO.....	1
2. TUTKIMUKSEN TAUSTA.....	2
2.1 Määritelmät.....	2
2.2 Tutkimuskysymykset.....	2
2.3 Tutkimusmenetelmät.....	3
2.4 Aiemman tutkimuksen esittely .....	4
3. LASERTEKNIikka.....	6
3.1 Laserin teoriaa.....	6
3.2 Laserlaitteiden turvallisuusluokat.....	9
3.3 Silmän fysiologia.....	11
4. TURVALLISUUSANALYYSI.....	13
4.1 Nykyiset työturvallisuusmääräykset.....	13
4.2 Nykyiset suojalasit.....	14
4.3 Litening-podin sisältämät laserlaitteet.....	15
4.4 Riskit maatoiminnassa, huolto- ja asennustyössä.....	16
4.5 Riskit ilmassa ja harjoitustoiminnassa.....	18
4.6 Riskien arviointi.....	20
5. JOHTOPÄÄTÖKSET.....	25
6. LÄHTEET.....	28

# LITENING-PODIN LASERLAITTEIDEN VAIKUTUKSET TYÖTURVALLISUUTEEN

## 1. JOHDANTO

Ilmavoimille toimitettiin vuosien 1995-2000 aikana 64 Hornet F-18C/D torjuntahävittäjää. Ilmavoimat on arvioinut Hornetin käyttöiäksi 30 vuotta, minä aikana siihen tehdään kaksi laajempaa ylläpitopäivitystä (MLU). Ylläpitopäivitykset, kuten koneen hankintakin, ovat pitkiä prosesseja, jotka saattavat kestää jopa kymmenen vuotta. Tällä hetkellä koneisiin tehdään ensimmäistä ylläpitopäivitystä, jonka merkittävin yksittäinen osapäivitys on kypärätähtäimen hankinta ja integroiminen Hornetin infrapunaohjusjärjestelmään. Toinen ylläpitopäivitys (MLU2) tulee tuottamaan Hornetiin rynnäköintikyvyn, joka koostuu maalinetsintäjärjestelmästä ja asejärjestelmästä.

Tässä tutkimuksessa keskitytään maalinetsintäjärjestelmänä toimivan ”Litening AT Block 2”:  
n sisältämien laserlaitteiden tuomiin muutoksiin ilmavoimien toimintatavoissa. Ensimmäiset laitteet on toimitettu ilmavoimille koelento- ja testaustoimintaa varten vuoden 2008 lopulla. Ilmavoimien ohjeistus koskien laserlaitteiden työturvallisuutta on vielä tällä hetkellä vuodelta 1996, mutta ilmavoimien esikunta on työstämässä uutta ohjeistusta aiheesta. Maavoimien esikunta on marraskuussa 2008 päivittänyt omien laserlaitteidensa käyttöä koskevan tilapäisen varomääräyksen, jota ilmavoimienkin henkilöstö soveltaa tällä hetkellä työturvallisuuden ylläpitämiseen. Kuitenkin asia tuntuu olevan hyvin sekavalla pohjalla tiedon sekä selkeiden työturvallisuusohjeiden puutteen vuoksi [12].

## 2. TUTKIMUKSEN TAUSTA

### 2.1 Määritelmät

**A/G** – Air to ground eli ilmasta maahan.

**FLIR** – Forward looking infrared eli infrapunakamera.

**Laser** – Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Tämä tarkoittaa valon vahvistamista säteilyn stimuloitulla emissiolla.

**Litening-pod** – Litening AT Block 2 Targeting pod. Tämä on hävittäjän maalinosoituskyvyn tuottamiseen kehitetty lisälaitte, joka kiinnitetään joko sisä- tai runkoripustimiin

**MLU** – Mid-Life Upgrade eli ylläpitopäivitys. Ylläpitopäivityksellä jatketaan järjestelmän, tässä tapauksessa Suomen hävittäjäkaluston, toimintaikää modernisoimalla järjestelmän eri osia ja mahdollisesti liittämällä siihen uusia laitteita.

**NOHD** – Nominal Ocular Hazard Distance eli varoetäisyys suojaamattomaan silmään.

**NVG** – Night Vision Goggles eli pimeänäkölasit, jotka vahvistavat laitteeseen tulevan valon ja muodostavat siitä kuvan.

**OD** – Optical Density eli optinen tiheys. Tämä arvo kuvaa aineen kykyä johtaa valoa.

**ORM** – Operational Risk Management eli riskianalyysi.

**UV-säteily** – Ultraviolettisäteily.

### 2.2 Tutkimuskysymykset

Tutkimuskysymyksen rajaus lähti liikkeelle ilmavoimien teknillisen koulun antamasta alkuperäisestä aiheesta: ”Kuinka MLU2 vaikuttaa Hornetin tekniikkaan?” Tämän ison kuvan pohjalta rajasin aiheeni kohdistumaan MLU2:n mukana hankittavaan litening-pod:iin, jonka sisällöstä keskityin sen laserlaitteiden aiheuttamiin työturvallisuuden muutoksiin. Tämän pohjalta lopulliseksi tutkimuskysymykseksi muotoutui: ”Mitkä ovat litening-podin laserlaitteiden vaikutukset työturvallisuuteen?” Tutkimuksessa pyrin tuottamaan näkemyksen nykyisten ohjeiden ajanmukaisuudesta laitteistossa tapahtuvien muutosten jälkeen. Tutkimuskysymystä pyrin käsittelemään sekä lentävän että maassa toimivan henkilöstön näkökulmista.

Osakysymyksinä käyn läpi seuraavia ongelmia:

- Kuinka ajanmukainen on ilmavoimien henkilöstön ohjeistus laserturvallisuudesta?
- Kuinka lentävän henkilöstön kohdalla on otettu huomioon laserturvallisuus?
- Kuinka lentoteknillisen henkilöstön kohdalla on otettu huomioon laserturvallisuus?
- Mikä on ilmavoimien tilanne lasersuojalasien kohdalla?
- Mitä haasteita harjoituskäyttö asettaa työturvallisuudelle?

## 2.3 Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksen tekemiseen käytän laadullisen eli kvalitatiivisen tutkimuksen metodologiaa. Tätä perustelen Suomen ilmavoimien kokemattomuudella tutkimukseni aihealueesta, jolloin kyselyjen tai muunlaisen tieteellisen datan kerääminen tuottaisi ainoastaan arvailua tai muuten tutkimuksen tarkoitukseen kelpaamatonta aineistoa. Tutkimuksen tavoitteena ei myöskään ole tuottaa tarkkaa toistettavaa dataa vaan tutkimuksen tekijän laatima arvio tarvittavasta toiminnasta. Kvalitatiivisen tutkimuksen metodologia antaakin siis riittävästi vapauksia tämän päättelyn lähtökohdille.

Kvalitatiivisen tutkimuksen metodeista tulen käyttämään sisällönanalyysia pohjustaessani tarvittavaa tietoa tutkimuskysymyksen selvittämistä varten. Sisällönanalyysi on menettelytapa, jonka avulla voidaan analysoida dokumentteja systemaattisesti ja objektiivisesti. Dokumentti on tässä yhteydessä ymmärrettävä hyvin väljässä merkityksessä: esimerkiksi kirjat, artikkelit, päiväkirjat, kirjeet, haastattelu, puhe, keskustelu, dialogi, raportit ja miltei mikä tahansa kirjalliseen muotoon saatettu materiaali voi olla dokumentti. Sisällönanalyysi sopii hyvin täysin strukturoimattomankin aineiston analyysiin. Tällä analyysimenetelmällä pyritään saamaan tutkittavasta ilmiöstä kuvaus tiivistetyssä ja yleisessä muodossa. [20]

Tutkimuksen tulokset tulen pääasiassa muodostamaan riskianalyysin (ORM) pohjalta, joka on sisällönanalyysin kaltaisesti tuotettu ja jäsennelty arvio riskien merkittävydestä, sekä niiden vaatimista toimenpiteistä. Riskianalyysin rakenteen lähteenä käytän pääasiassa Suomen ilmavoimien lentoturvallisuusupseerin laatimaa ORM-ohjetta [18], mutta vertaan sen

toimintaa lähinnä yhdysvaltojen laivaston [4] [6] ja kansainvälisen standardointijärjestelmän [7] ohjeistamiin malleihin. Suomalaiset ohjeet kuitenkin perustuvat suurelta osin yhdysvaltojen laivaston ohjeistamaan tapaan tehdä riskianalyysi.

## 2.4 Aiemman tutkimuksen esittely

Tutkimukseeni aikaisempi läheisesti liittyvä tutkimus on ilmavoimien kadetin tekemä Pro Gradu -tutkielma aiheesta: ”Laser-säteilyn vaikutukset ja siltä suojautuminen ilmavoimissa”. Tutkielman on tehnyt kadetti Tuomas Partanen 88. kadettikurssilta ja se on jätetty Maanpuolustuskorkeakouluun maaliskuussa 2005 tunnisteella SM 115 [19]. Tutkimusmenetelmänä on käytetty sisällönanalyysia, joten lähteiden runsas määrä ja monipuolinen käsittely helpottaa omaa lähteiden etsimisen prosessiani merkittävästi. Oppiaine, johon työ liittyy, on operaatiotaito ja taktiikka, mutta työn hyvinkin teknisen luonteen vuoksi tutkielmaa voi käyttää pohjatietona viiden vuoden takaisesta tilanteesta ilmavoimien laserohjeistuksesta.

Tutkielman taustoissa on pohdittu Suomen ilmavoimien nykytilaa ja tulevaisuutta laserturvallisuuden ylläpitämisestä käytännön toimintaympäristössä ohjaajan näkökulmasta. Siinä huomioidaan jo iskukykytutkimuksessa päätetty Hornet:iin tuleva ilmasta maahan-kyky, jonka täytäntöönpanosta ei ole ollut vielä mitään tietoa. Myös ilmavoimien mahdollinen osallistuminen kansainvälisiin operaatioihin herättää ajatuksia lentäjien puutteellisen lasersuojauksen kannalta. Erityisiä ongelmakohtia Partanen huomaa erilaisten järjestelmien päällekkäisyyksissä – esimerkiksi NVG-laitteiston tai silmälasien käyttäminen lasersuojalasiensa kanssa on mahdotonta. Lasersuojalasiensa käyttö on vielä hyvin vierasta tehtävien vähäisyyden vuoksi, eikä lasien saatavuuttakaan ole järjestetty riittävän helpoksi. Lasit ovat myös edelleen suunniteltu suojaamaan ainoastaan yleisimmällä taajuudella toimivalta laserilta. Toimintaympäristön ollessa Suomen omalla alueella tapahtuva ilmasta ilmaan -taistelu, on tutkielman tekemisen aikaisen laserturvallisuuden tilan kuitenkin arvioitu olevan kohtuullinen.

Pääasiallisena lähteenä tutkielman tekemiseen on käytetty tutkimusta: ”The Effects of Laser Illumination on Operational and Visual Performance of Pilots Conducting Terminal Operations”. Tämän pohjalta on tehty johtopäätöksiä eri tehoisten laserlaitteiden häikäisemisen vaikutuksista lentämisen eri vaiheissa. Näiden tulosten pohjalta voidaan



päätellä, että hyvinkin heikko hajaheijastus lennon kriittisessä vaiheessa saattaa aiheuttaa jopa koneen tuhoutumiseen johtavan onnettomuuden. Tämän tyyppiset tilanteet tulisi huomioida erityisen tarkasti kansainvälisissä operaatioissa, joissa tullaan laskuun ja lähdetään ilmaan hyvin riskialttiiden alueiden kautta. Harjoitustoiminnan kannalta Partanen on pohtinut ilmatorjunnan lasermittausjärjestelmien aiheuttamaa uhkaa lentäjälle. Heidän järjestelmistään löytyy mittava määrä erilaisia laserlaitteita, joista kuitenkin vain osan laserturvaluokka on 3R tai 4. Maalilentojen lentämisestä ilmatorjunnalle tarvittaisiin kuitenkin mahdollista lisätutkimusta, jotta ei sattuisi väärinkäsitystä lentäjän lasersuojalasien tarpeesta.

Tutkielmassa käydään kattavasti läpi lasertekniikan perusteita ja ihmisen silmän fysiologiaa, minkä perusteella huomataan lasersuojaimien kehittämisen merkittävät haasteet. Partanen tiivistää asian tutkielmassaan näin: ”Optimaalinen suojain toimii laajalla aallonpituusalueella (0.4 – 1.4 um), se ei häiritse normaalia näkemistä, toimintaperiaate on erittäin nopea, toimii jo pienillä tehoilla - ei tuhoudu suurilla, suojaimen olisi lisäksi oltava kestävä, kevyt, yksinkertainen rakenteeltaan ja halpa.” Lause on sekava, mutta se kuvaa hyvin suojaimen kehittämisen moninaisia ongelmia.

Partasen tutkielman johtopäätöksiä ei saatu ilmavoimien tilasta lasersuojatoiminnan kannalta kovin hyvää kuvaa, kun vertaa sitä suurvaltojen panostukseen tutkimus- ja kenttätöiden kohdalla. Ilmavoimien käyttökokemuksien vähyys on tuottanut ilmavoimille informaatiovajeen lasersuojatyön alalta, mikä ei ole kovinkaan järkevä tilanne varsinkin tulevien kansainvälisten tehtävien jo ollessa tiedossa.

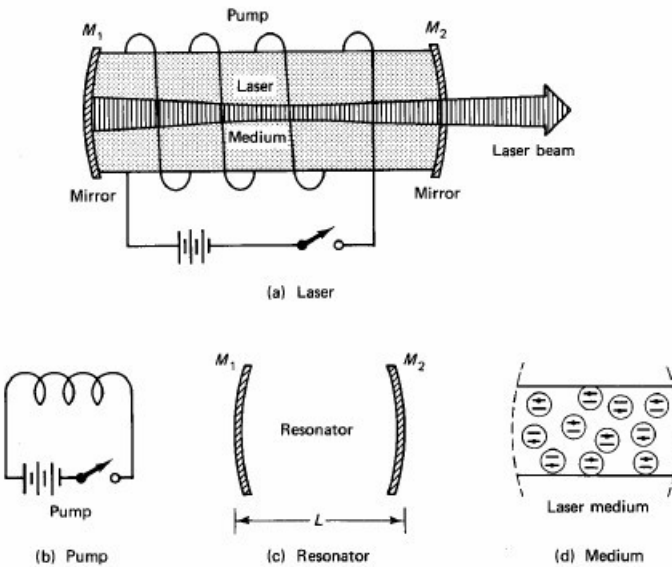
### 3. LASERTEKNIikka

#### 3.1 Laserin teoriaa

Laser on akronyyymi eli tunnuslyhenne englannin kielen sanoista: ”Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation”. Kyseessä on siis optinen valonvahvistin. Laserin ensimmäinen toimiva prototyyppi valmistettiin vuonna 1960, mistä lähtien kehitys on jatkunut nopeana nykypäivään saakka. [2]

Lasersäteily perustuu stimuloituun emissioon, jossa atomin elektronit siirtyvät valokvantin stimuloimana ylemmältä energiatasolta alemmalle tasolle ja lähettävät energiatasojen erotuksen verran energiaa valokvantin muodossa. Samalla todennäköisyydellä atomin elektronit saattavat valokvantin vaikutuksesta siirtyä ylemmälle energiatasolle, jolloin on kyse stimuloitusta absorptiosta. Laserin toimimaan saamiseksi ylemmällä energiatasolla olevien elektronien määrän on siis oltava suurempi, jotta laite vahvistaisi valoa. Elektronien täytyy myös pysyä tällä ylemmällä energiatasolla riittävän kauan, jotta elektronit eivät liikkuisi sattumanvaraisesti spontaanin emission tavalla vaan stimuloituen valokvantin johdosta. Valo, joka muodostuu tällä tavalla, on samanlaisten atomien lähettämänä samalla aallonpituudella ja vaiheella eli se on hyvin koherenttia. [1] [2]

Laserlaitteen kolme pääosaa ovat pumppu, laserväliaine ja resonaattori.



*Kuva 1. Laserlaitteen rakenne. [1]*

**Pumpun** (pump) tarkoituksena on lisätä väliaineeseen (medium) energiaa, joka lisää ylempillä energiatasolla olevien elektronien lukumäärää [1] [2]. Pumppu voi toimia esimerkiksi valoon tai sähköön perustuvana ratkaisuna.

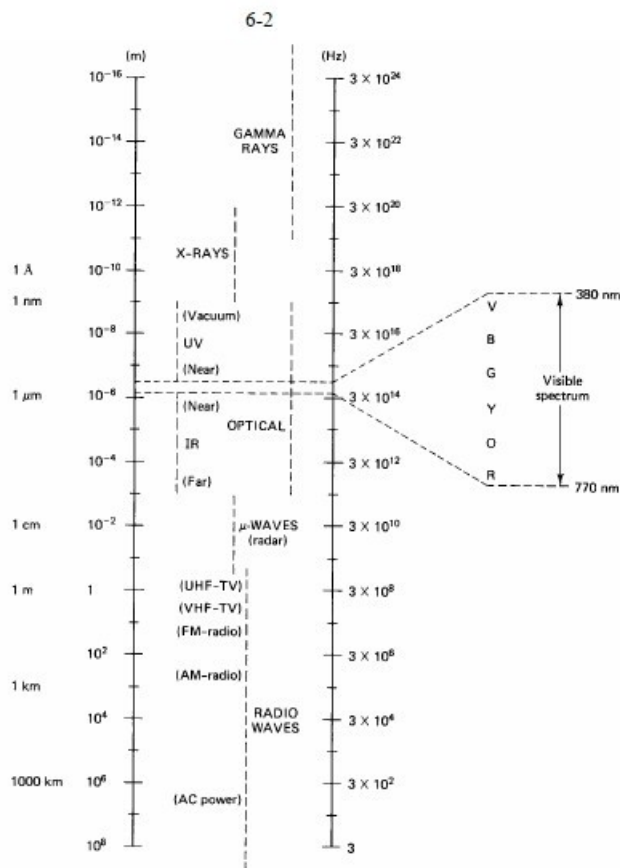
**Väliaine** voi olla kaasua, nestettä tai kiinteätä ainetta [1]. Ainoana rajoituksena on, että sen elektronien täytyy kyetä siirtymään aiemmin kuvattuun niinsanottuun metastabiiliin tilaan energiaa lisäämällä, jolloin korkeammalla energiatasolla olevien elektronien määrä lisääntyy suhteessa matalammalla sijaitseviin [2].

**Resonaattori** (resonator) koostuu kahdesta peilistä, joista toinen on täysin heijastava ja toinen osittain heijastava [1]. Valo siis vahvistuu heijastuen edestakaisin, kunnes osa valosta on riittävän voimakasta päästäkseen ulos lasersäteenä.

Laserista on tehnyt mullistavan sen ominaisuudet, joista lähinnä neljä erottavat sen muista säteilyistä. Laservalo on monokromaattista, koherenttia, yhdensuuntaista ja hyvin kirkasta. Monokromaattisuus tarkoittaa, että sen säteily spektri on hyvin kapea, jolloin suurin osa energiasta kohdistuu pienelle aallonpituusvälille. Koherenttisuus tarkoittaa, että sen amplitudi, vaihe ja aallonpituus pysyvät hyvin tarkasti muuttumattomina aallon edetessä.

Yhdensuuntaisuus pitää fotonit hyvin pitkälle yhdessä, jolloin laserilla voidaan kohdentaa erittäin suuria energiatiheyksiä pienelle alueelle pitkänkin etäisyyden päästä. [1] [2] Se on kaikkien edellämainittujen syiden vuoksi helposti jopa kirkkaampaa kuin aurinko maapallolta tarkasteltuna.

Laseria käytetään nykyään useissa sovellutuksissa niin siviilissä kuin sotilaspuolellakin. Teollisuudessa laseria on käytetty lähes sen alkuvuosista lähtien levyjen tarkassa polttoleikkaamisessa, minkä lisäksi sotilaatkin ovat kiinnostuneet sen polttovaikutuksesta tappavilla ja ei-tappavilla tehoilla. Sotilaskäytössä sen etuna on myös valon nopeus, joka mahdollistaa nopeat torjunnat ja etäisyyksien tarkan mittaamisen.



**Figure 2-1** Electromagnetic spectrum, arranged by wavelength in meters and frequency in hertz. The narrow portion occupied by the visible spectrum is highlighted.

*Kuva 2. Sähkömagneettinen spektri. [1]*

Lasersäteilyä voidaan muodostaa koko sähkömagneettisen spektrin optisella alueella [2]. Kuvasta huomaamme, että näkyvän valon osuus koko optisesta alueesta on hyvin pieni, joten suurinta osaa lasersäteilystä ei pystytä havaitsemaan paljaalla silmällä [1].

## 3.2 Laserlaitteiden turvallisuusluokat

”Laserlaitteet jaetaan turvallisuusluokkiin siten, että laite on sitä vaarallisempi mitä suurempi luokan järjestysnumero on. Nykyisessä järjestelmässä luokat ovat 1, 1M, 2, 2M, 3R, 3B ja 4. Kirjaimet kertovat lasersäteiden ominaisuuksista.

**Luokkaan 1** kuuluvissa laserlaitteissa säteiden teho on niin heikko, että se ei aiheuta vaaraa normaalissa käyttötilanteessa, tai sitten laite on rakennettu niin, että lasersäde kulkee vain laitteen sisällä pääsemättä ulos. Laitteen sisälle koteloitu laser voi kuitenkin olla niin voimakas, että se kuuluu ylempään turvallisuusluokkaan. Näin on esimerkiksi CD-soittimissa. Tällaisten laitteiden käyttöohjeissa on varoitus, ettei suojakotelo saa avata. Lasten lelut saavat olla korkeintaan luokan 1 laserlaitteita.

**Luokkaan 2** kuuluvat laserit tuottavat vain näkyvää valoa ja niiden maksimi ulostuloteho on 1 mW (milliwatti). Yleensä silmän räpäytys suojaa silmää. Tähän luokkaan kuuluvan laserin säteeseen tuijottaminen voi kuitenkin vaurioittaa silmää. Tehokkaimmat Suomessa sallitut osoitinlaserit eli laserpointterit, samoin kuin kouluissa opetuskäytössä olevat laserit, kuuluvat tähän luokkaan.

**Luokkiin 1M ja 2M** kuuluvien laserlaitteiden säde joko hajaantuu voimakkaasti tai se on yhdensuuntainen, mutta suhteellisen leveä jo laserin lähtöaukossa. Luokkien 1M ja 2M laserien säteeseen katsominen voi aiheuttaa vaaraa vain, kun käytetään säteilyä keräävää optiikkaa, kuten kiikaria tai suurennuslasia.

**Luokkaan 3R** kuuluvat laserit ovat hieman suurempitehoisia kuin luokkien 1 ja 2 laitteet. Näkyvän valon alueella maksimi ulostuloteho on 5 mW (milliwattia). Suoraan osuva tai sileästä pinnasta heijastunut säde voi aiheuttaa pysyvän vaurion silmässä. Tähän luokkaan kuuluvat tehokkaimmat ammattikäyttöön tarkoitetut rakennuslaserit ja tähtäinlaserit.

**Luokkaan 3B** kuuluvan laserlaitteen suora ja peiliheijastanut säde on aina vaarallinen silmille. Luokka 3B käsittää laserit, joiden säteily ylittää luokan 3R emissiorajat. Näkyvän valon alueella tämä raja on 5 mW. Jatkuvat toimisen luokan 3B laserin suurin sallittu

säteilyteho on 500 mW. Tähän luokkaan kuuluu muun muassa laitteen rakenteen ja varustelun osalta vaatimustenvastaisia osoitinlasereita.

**Luokan 4** laserin säde on niin voimakas, että se voi polttaa iholle palovamman hetkessä. Silmä voi vaurioitua jopa hajaheijastuksesta. Suuritehoinen lasersäde voi sytyttää puun tai kankaan tuleen. Luokan 4 laserlaitteita käytetään muun muassa sairaaloissa ja teollisuudessa leikkauslasereina sekä erilaisissa show-esityksissä valotehosteina. [8]”

### 3.3 Silmän fysiologia

Voimakas lasersäde kohdistaa suuria energiamääriä pienelle alueelle lämmittäen tätä kohdetta jopa metallin sulamislämpötilaan. Tarkasteltaessa tätä ihmisen solurakenteen näkökulmasta, huomataan, että solujen proteiinit denaturoituvat jo 42 asteen lämpötilassa, jolloin iholle rupeaa muodostumaan näkyviä palovammoja. Tähän vaaditaan todellisuudessa huomattavan suuritehoinen laserlaite ja suhteellisen pieni etäisyys, mutta ihmisen silmän linssi kohdistaa silmään osuvan säteen noin 100 000 kertaa pienemmälle alueelle, jolloin vaurioiden muodostumiseen riittää paljon heikompi lasersäde [3] [5]. Laserturvallisuudessa ensisijaisena ongelmana onkin juuri silmien suojaaminen taistelukentillä olennaisesti lisääntyvältä lasersäteilyltä [19].

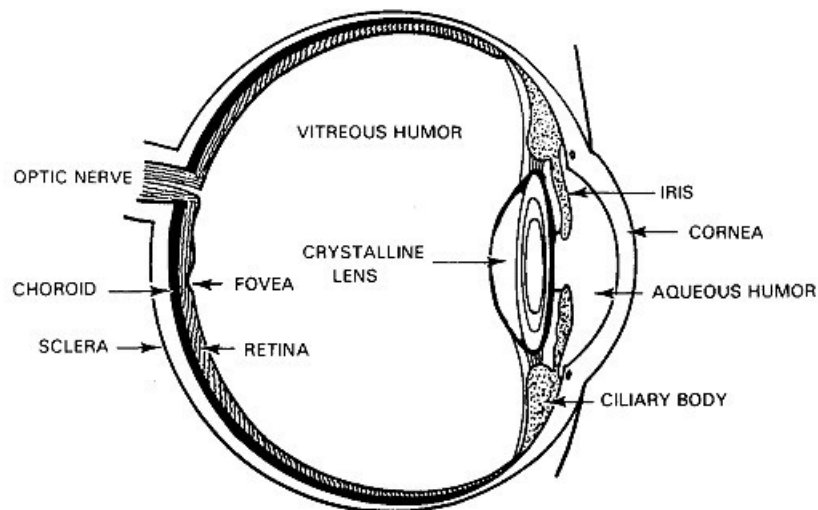


Figure 2. Anatomy of the eye.

Kuva 3. Silmän rakenne. [5]

Silmän rakenteen tärkeimmät haavoittuvat osat ovat verkkokalvo (retina), keskuskuoppa (fovea) ja sarveiskalvo (cornea). Silmän eri osat absorboivat ja ohjaavat säteilyn eri aallonpituuksia itselleen ominaisin tavoin, minkä vuoksi vaurioiden laadusta voidaan päätellä käytetyn lasersäteilyn tyyppi. [5]

**UV-säteily** absorboituu silmän ulko-osan alueelle, jossa suurin osa säteilyenergiasta kohdistuu sarveiskalvoon [3] [5]. UV-alueella toimivan laserlaitteen säteilyn siis täytyy olla riittävän voimakasta polttamaan sarveiskalvon soluja, jolloin vauriot muodostuvat ihoa vastaavasti arpeutumina. Palovamman vakavuus kertoo, kuinka paljon arpikudosta kalvolle muodostuu ja

kuinka pitkäaikaisia vaikutuksia sillä on näkökykyyn. Täydellinen näönmenetys voi olla mahdollinen, jos lasersäde pääsee polttamaan reiän sarveiskalvolle.

**Näkyvä säteily** (400-700 nm) pääsee silmän kaikista osista läpi, jolloin linssin (crystalline lens) keskittämä lasersäde kohdistaa kaiken energian verkkokalvolle, missä palovammat tuhoavat näkösolukkoa ja mahdollisesti myös verkkokalvon alla sijaitsevaa hiussuonistoa. Hiussuonen katketessa purkautuva veri voi aiheuttaa monia väliaikaisia tai pysyviä haittoja näkökyvylle. Vaurion ympäristön muutkin solut saattavat vaurioitua palovamman levitessä, jolloin seurauksena näkökenttään muodostuu musta sokea piste, jonka aivot kuitenkin hävittävät näkyvistä ajan kuluessa. Jos uhri katsoo valon lähteeseen altistumisen aikana, muodostuu vaurio keskuskuopan alueelle, jossa tarkan näkemisen solut eli tapit sijaitsevat. Tässä tilanteessa ainoiksi vaurioitumattomiksi soluiksi jää sauvoja, jotka muodostavat vain sumeaa kuvaa ja ovat erikoistuneet hämäränäkemiseen ja liikkeen havainnointiin. [3] [5]

**Infrapunasäteily** jakaantuu lähi- (700-1400 nm) ja kaukoinfrapunan (>1400 nm) alueisiin, joista lähi-infrapuna käyttäytyy ja vaurioittaa silmää samalla tavalla kuin näkyvä säteily, ja kaukoinfrapuna absorboituu sarveiskalvoon samalla tavoin kuin uv-säteily. [3] [5]

**Vaurio** voi muodostua silmään kolmella tavalla:

”Epälineaariset efektit. Lyhytpulssisten laserien energia vapautuu kudokseen niin nopeasti, että soluneste kaasuuntuu. Kudon ikään kuin räjähtää, mistä voi kuulua napsahtava ääni. Termisen laajentumisen tuottama paine voi vahingoittaa myös polttopistettä ympäröiviä soluja. Altistusaika ps – ns.

Lämpöefektit. Laserenergia absorboituu kudokseen lämmittäen sitä. Solujen proteiinit denaturoituvat polttavan säteen alueella tai lähellä sitä. Altistus 1 ms – sekunteja.

Fotokemialliset efektit. Valo saa aikaan molekyyileissä viritetylle tilalle ominaisen kemiallisen reaktion. Vaurion koko ei suurene lämmön siirtymisen johdosta. Esimerkkinä on lumisokeus. Altistus 10 s – tunteja. [15]”



## 4. TURVALLISUUSANALYYSI

### 4.1 Nykyiset työturvallisuusmääräykset

Tällä hetkellä ilmavoimien asettamat työturvallisuusmääräykset laserlaitteista ovat enimmäkseen vanhentuneet käytössä olevien laitteiden määrän lisääntyessä sekä tehojen kasvaessa. Ilmavoimien esikunnan henkilöstöosaston vuonna 1996 laatimassa ”Lasersäteilylle altistuvien henkilöiden työturvallisuusohjeet ilmavoimissa” -pysyväisasiakirjassa käsketään toiminta lasersäteilyn alaisena työskentelevälle [11]. Tässä asiakirjassa on vanhentunutta tietoa laserlaitteiden luokittelusta, minkä lisäksi se ei anna muita käytännön ohjeita lasersäteilyltä suojautumiseen kuin lasersuojalasien käytön lentopalveluksessa. Huoltotyöhön osallistuvien henkilöiden silmätarkastuksista on kerrottu ehkä jopa liian tarkasti, mutta määritelmä ”huoltotyöhön osallistuva” on mielestäni hyvin epämääräinen ja tämä kuuluisi tarkentaa selvittämällä tarkat työnimikkeet, joissa litening-podin käyttöönoton jälkeen tulee tutkituttaa silmänpohjan nykytila mahdollisien laservaurioiden todentamiseksi.

Maavoimien esikunta ehti edelle laserturvallisuudessa tuottaessaan jakeluun tilapäisen varomääräyksen: ”Mittaaminen laseretäisyysmittarilla” [16]. Tässä dokumentissa on käsketty konkreettiset vaaraetäisyydet, rajoitukset käyttöön ja toimenpiteet epäiltäessä silmävaurioita. Ilmavoimien esikunta soveltaa tällä hetkellä tätä varomääräystä, mikäli lasersäteilylle altistuminen on mahdollista. Tämän varomääräyksen pohjalta on myös laadittu ADEX 2008 harjoituksessa käytetty tilapäinen ohjeistus toiminnasta lasermittauksessa sekä HN-kaluston litening-podiin liittyvän lentopalveluksen käsky [14] MLU2-modifikaation yhteydessä.

Ilmavoimien esikunta on käynnistänyt uuden laservaromääräyksen tuottamisen, joten päivitys on luultavasti luvassa vuoden 2009 aikana [12]. Tämä ei kuitenkaan ehtinyt valmiiksi ennen ensimmäisen litening-podin Suomeen saapumista ja sen testaamisen aloittamista.

Ilmavoimien koelentotoiminnassa näen järkevänä tavan, jossa aluksi ollaan mieluummin liian varovaisia uusien laitteiden suhteen. Esimerkkinä suojalaseja käytetään aina, kun podiin on kytketty virrat päälle, ennen kuin podin laserturvallisuudesta on saatu käytännön kokemuksia. Kuitenkin suojalasien ylimääräinen käyttö heikentää turhaan näkökykyä tilanteissa, joissa laserin laukeamisen todennäköisyys on mitättömän pieni. Näiden tilanteiden kartoittaminen

on siis erittäin tärkeää tehokkaan ja turvallisen toiminnan takaamiseksi. Tällä hetkellä ja luultavasti myös kaukana tulevaisuudessa lasersuojalasit rajoittavat aina näkökykyä heikentämällä läpinäkyvyyttä sekä tuomalla lisää linsejä silmän ja kohteen välille.

## 4.2 Nykyiset suojalasit

Tällä hetkellä ilmavoimien suojalaseista vastaa Lentotekniikkalaitos, joka hoitaa lasien hankintaprosessin ja huollon järjestelyt. Tämän prosessin hankaluudet tulivat esille jo Partasen tutkielman yhteydessä [19], mikä pakottaa kompromisseihin suojauksen tasosta ja tavoista päätettäessä. Parempi näkyvyys tarkoittaa nykyisellä tekniikalla aina suppeampaa lasersuojausta, jolloin selkeän laseruhkakuvan kartoittaminen olisi erittäin tärkeää. Tämän apuna tulisi käyttää tiedustelutietoa muiden valtioiden laitteiden ominaisuuksista, mikä kuitenkin on kohta turhaa kehityksen jatkaessa nykyistä rataansa, sillä laseria pystytään tulevaisuudessa tuottamaan samalla laittella vapaasti valittavalla taajuudella. Tässä kohtaa mukaan tulevatkin kansainväliset sopimukset sokaisevien laserlaitteiden käytön rajoituksista sotatoimissa, mikä ainakin vielä on hyvin tulkinnanvarainen säädöskokoelma. Tulevaisuuden suunnitelmissa Lentotekniikkalaitoksella on kuitenkin tarkoitus siirtyä lasersuojavisiirin käyttöön, mikä poistaisi joitakin käytännön ongelmia kuten huurtumisen sekä sivuheijastukset. Käytännössä mahdollista on vain yhden lasersuojavisiirin mukana pitäminen, joten eri taajuuksien suojaamista ei voida hoitaa useilla erilaisilla ominaisuuksilla varustetuilla visiireillä. Suurimpaan osaan ilmavoimien kypäristä ei ole vielä edes valmista kaupallista tuotetta, joten materiaalitekniset esteet pakottavat odottamaan ratkaisujen kehittämistä. Maassa toimivan henkilöstön suojalasiensa kohdalla voidaan onneksi tehdä enemmän kompromisseja läpinäkyvyyden kustannuksella kuin lentäjien lasersuojaimissa.

Viimeisin päivitys lentopalvelukseen hyväksytyihin lasersuojalaseihin on vuoden 2007 loppupuolelta [13]. Tässä dokumentissa määritellään hyväksytyjen suojalasiensa mallit, joiden OD-arvot ja rakenne tärkeimpine faktoineen on kirjoitettu auki. Ensimmäisinä listalla ovat vanhemmat mallit, joiden OD-arvot ovat joko 3.1 tai 4. Nämä mallit ovat metallisankaisia tasolasisia suojalaseja, joissa on vihreä värilasisuodin. Suoja sivulta tuleville säteille ja takaa tulevien säteiden heijastuksille on huono, mutta ne ovat edelleen hyväksytyjen lasien listalla, mikäli toiminnassa ei tarvitse varautua edellä mainittuihin tilanteisiin.

Uusin hyväksytty ja käytössä oleva malli on Uvexin valmistama Lambda One. Lasit ovat kaarevat, joten linssi jatkuu suhteellisen pitkälle sivuille tuottaen suojan myös sivuheijastuksilta. Suodinmateriaali on läpivärjättyä vaaleanvihreää muovia, jossa absorboiva väriaine on seostettu perusmateriaaliin. Tämän ansiosta kevyet pintanaarmut eivät heikennä suojaavuustasoa, joten lasit täytyy poistaa käytöstä vain mikäli naarmut haittaavat näkyvyyttä. Lambda One -mallissa on myös irrotettavat sangat, jotka voidaan muotoilla käyttäjälle sopivaksi lentovarustehuollossa. Lasien muotoon on kiinnitetty huomiota laseja hankittaessa, minkä vuoksi lasit ovat kasvoja myötäilevämmät kuin vanhemmat mallit. Tämän johdosta laseja pystytään käyttämään kaikkien kypärien kanssa, jolloin toimintaa rajoittaa ainoastaan näkyvyyden heikentyminen lasien huurtuessa sekä hämärätoiminnassa. Lasien OD-arvo on 5, joka tuottaa litening-pod käytössä miinusmerkkiset varoetäisyydet laserlaitteista. Suojattu taajuusalue on myöskin kohtuullisen laaja, joten lasien suojaus antaa näkyvyydeksi noin 35 %, mikä vaikuttaa toimintaan jo hämärässä. Tämän vuoksi lentopalveluksesta on käsketty seuraavaa: ”Lennolla lasersuojalaseja ei käytetä lentoonlähdön ja laskun aikana. Hämäräolosuhteissa / yöllä toimittaessa lasien tummentava vaikutus tulee huomioida erityisesti NVG-laitteen kanssa toimittaessa. Lisäksi lasien voimakkaaseen huurtumiseen tulee varautua. [10]”

### 4.3 Litening-podin sisältämät laserlaitteet

Litening AT Block 2 Targeting Pod sisältää maalinsoituksessa sekä tilannetietoisuuden lisäämisessä tarvittavan laitteiston, johon kuuluu tv-sensori, FLIR-sensori ja yhteensä kolme eri laser-moodia kahdesta linssistä. [9] [17]

”Tactical Laser Target Designator” (LD) [9] [17] eli maalinsoittimen ammusten kohteeseen ohjaamiseen tarkoitettu operatiivinen laser toimii lähi-infrapuna-alueen aallonpituudella ja on silmille vaarallinen jopa yli 30 km etäisyydelle. Tämän laitteen käyttöä tulee rajata hyvin paljon ja käytön riskit saadaan pieniksi vain erittäin suurilla harjoitusalueilla, joilla ei ole siviiliväestöä sillä jopa hajaheijastus saattaa aiheuttaa silmävaurion ilman asiaankuuluvia suojalaseja. Aallonpituus on sama kuin useimmissa maavoimissa käytettävissä laser-etäisyysmittareissa, joten puolustusvoimissa on runsaasti juuri tälle aallonpituudelle tarkoitettuja suojalaseja.

”Eye-Safe Laser” [9] [17] eli harjoituslaserina toimiva säde toimii samasta linssistä kuin LD. Aallonpituus on pidempi, jolloin silmän sarveiskalvo absorboi säteen energian itseensä. Tämäkin laite on kuitenkin IV-luokan laser, joten sen teho on niin suuri, että se saattaa polttaa sarveiskalvoa vielä vajaan 40 metrin etäisyydeltä ilman suojalaseja. Tässä suhteessa laserin nimi onkin ehkä hieman harhaanjohtava. Toisaalta näin pieni etäisyys tulee kysymykseen lähinnä maassa, jossa laserin toimimisen estää pitkä luettelo ehtoja laserin laukaisemiseksi.

”IR Pointer” (Laser Marker) [9] [17] eli valaisulaser käyttää omaa linssiään ja se toimii lähellä näkyvän valon aallonpituutta. Sen tarkoitus on valaista kohdistettu kohde maassa toimiville joukoille, jotka käyttävät yönäkölaitteita. Sen tuottaman säteen halkaisija on korkeudesta riippuen jo metrien luokkaa ja pulssin pituus on sekunnin kymmenyksien luokkaa. Säde on suojaamattomalle silmälle vaarallinen vajaan 200 metrin etäisyydelle, jonka sisällä pystyy toimimaan vapaasti kohtuullisen pienellä suojakertoimella varustetuilla suojalaseilla.

#### 4.4 Riskit maatoiminnassa, huolto- ja asennustyössä

Tämäntyyppisen uuden laitteen käyttöönottoon sisältyy aina huomattava määrä riskejä, joiden hallinnalla pystytään toiminta pitämään kuitenkin mielekkäänä ja turvallisena. Litening-podin laserlaitteiden tarkastelussa tulee huomioida se, että laserien tehoa ei voi säätää [9] [17], joten jos laseria käytetään, on se aina vaarallinen varoetäisyyksien sisäpuolella [12].

Huolto ja asennustyössä riskejä seuraavat silmävammat ovat suuremmat, mutta ne rajautuvat paljon pienemmälle alueelle ja henkilöstölle, joten tarkasti toteutetulla koulutuksella, ohjeistuksella ja huollolla riskien hallinta on helppoa. Riittäväällä suojakertoimella varustetuilla laseilla on helppo suojautua yhdeltä aallonpituudelta, mutta työskentelyn tapahtuessa hyvin lähellä, tulisi lasien kyetä antamaan mekaanikolle DOHC-arvo 0 m [15] kaikille kolmelle aallonpituudelle. Lentäjien silmien suojaamisessa on esillä sama ongelma huomattavasti mutkikkaampana, jossa pitäisi ottaa huomioon myös vihollisen käyttämät aallonpituudet. Käytännössä tämä tarkoittaa sellaisten suojalasi keksimistä, joilla pystytään tehokkaasti suodattamaan spektrin alueelta kaikki muut aallonpituudet paitsi näkyvä valo [19]. Nykyisellä tekniikalla useilla suojakalvoilla tämä voisi olla mahdollista, mutta onko näkyvän valon läpinäkyvyys enää riittävä? Tämän lisäksi mekaanikoiden haalareiden tulisi kestää riittävä aika altistusta, kunnes se päästäisi säteilyn polttovaikutuksen lävitseen.

Kuitenkin liting-podin sisältämät ehdot laserin laukaisemiseksi tuottavat toimiessaan riittävän varmuuden sen varmistuksesta pienentäen riskin laserin tahattomasta käytöstä hyvin pieneksi.

Todennäköisempänä riskinä pitäisin kuitenkin laitteen käsittelyä sen osien ollessa särkyneenä esimerkiksi lintutörmäyksen johdosta. Laite sisältää sekä myrkyllisiä että radioaktiivisia kemikaaleja [9] [17], joiden joutuminen hengitysteihin tai suuhun saattaa johtaa jopa kuolemaan. Huoltohenkilökunnan varustaminen pätevällä hengityssuojaimella, haalarilla ja kumihansikkailla on kuitenkin riittävää, joten tätäkin riskiä pystytään pienentämään nostamalla sekä riskit, että niiltä suojautuminen koulutuksella henkilöstön tietoisuuteen.

Merkittävänä riskinä pidän myös huoltotyössä odottamatonta sensoryyksikön liikahdusta, sillä moottorien vääntö riittää helposti katkaisemaan sopivasti väliin jääneen sormen [17]. Tämäkään riski ole kovin suuri henkilöstön tiedostaessa mahdollisen vaaratilanteen.

Kun Liting-pod on liitetty koneeseen, muuttuvat riskit eri tyyppisiksi ja niitä muodostuu laserlaitteista maatoiminnassa ainoastaan turvajärjestelmien ollessa rikki. Tämä taas on erittäin epätodennäköistä olettaen, että mekaanikko on tarkastanut ja hyväksynyt koneen lentopalvelukseen. Lisäksi laserin virittäminen ja laukaiseminen vaatii koneen ohjaajalta useita toimenpiteitä, mikä edelleen pienentää riskiä vahinkokäyttöön maatoiminnassa. Toiminta-alueella ei tule sallia ylimääräisten henkilöiden liikkumista, jolloin jäljelle jäävät vain lentomekaanikot sekä muut mahdollisten liikennealueella liikkuvien koneiden ohjaajat ja matkustajat. Etenkin yhteistoimintakentillä siviilikoneiden suojaaminen on käytännössä mahdotonta, joten mikäli riski nähdään riittävän suureksi, tulisi lennonjohtajan porrastaa riittävä etäisyys liting-podillisen ja muiden koneiden välille. Toisaalta mikäli liting-podin laserlaitteet nähdään turvallisuusriskinä jo maassa, tulisi ilmatoiminnasta käytännössä mahdotonta vaara-alueiden kasvaessa järjestömiin mittoihin. Jos mekaanikot kuitenkin päätetään suojata laserin vahinkokäytöltä, on mukana edelleen ongelmia useiden eri aallonpituuksien huomioimisesta, sekä ihon suojaamisesta polttoaikutukselta mekaanikkojen toimiessa vaara-alueen sisäpuolella.

## 4.5 Riskit ilmassa ja harjoitustoiminnassa

Koneen noustessa ilmaan paino pyörillä -kytkin aukeaa, jolloin laseria on jo mahdollista käyttää oikeilla valinnoilla järjestelmistä [9] [17]. Tästä lähtien mahdollisen virheikäytön riskit muodostuvat jo realistisiksi, sillä laitteiston ei tarvitse olla rikki laserin laukaisemiseksi. Operatiivisessa rauhan ajan toiminnassa tilanne ei tosin juurikaan eroa kovien ohjusten mukana pitämisestä, koska mukana on aina paljon tulivoimaa. Koneen ohjaajalle seuraa tästä erittäin suuri vastuu, jota ei anneta täysin perusteetta. Vahinkokäytön mahdollisuus tilanteessa, jossa ei haluttaisi käyttää laseria, on siis hyvinkin pieni, sillä niin ase kuin laserikin täytyy virittää (arm) toimintaan useista kytkimistä. Jotta Hornetilla oikeastaan edes uskalletaan lopulta nousta ilmaan lightning-podin kanssa, on kaikki maakäytön riskit todettava niin pieniksi, etteivät ne käytännössä vaikuta toimintaan.

Lightning-pod sisältää monia muitakin tärkeitä sensoreita kuin lasersensorit, minkä vuoksi hävittäjä saattaa olla ilmassa ilman, että koko tehtävän aikana tulee käyttämään laserlaitteita. Luultavasti näillä lennoilla ohjaaja käyttää esimerkiksi FLIR-sensoria tiedusteluun tai maalinetsintään. Tämän mahdollistaakseen ohjaajan ei kuitenkaan tarvitse aktivoida A/G-moodia käyttöön, joten laserin vahinkolaukaisu on edelleen useiden kytkimien ja valintojen takana. Näillä harjoituslennoilla ei tarvita lasersuojalaseja, mikäli laserin virittäminen on kielletty [10] [14].

Laser-toimintaa pystytään harjoittelemaan kahdella tavalla: silmäturvallisella laserilla tai täysin simuloituna ilman laserin käyttöä. Näistä kummankin pitäisi olla suhteellisen turvallisia tapoja, mikäli lentokorkeutena säilytetään yli 150 jalkaa. Ensimmäisen kohdalla tämän korkeuden alapuolella saattaa laitteen korkea teho aiheuttaa kohdealueella toimivien ihmisten palovammojen vaaran polttovaikutuksen vuoksi [3] [9] [12] [17]. Varoetäisyys harjoituksen kohteeseen tulee kuitenkin luultavasti jäämään hyvinkin pieneksi alustavien testien jälkeen silmän fyysikaalisten ominaisuuksien ja laitteen kiinteän taajuuden vuoksi. Jälkimmäisen tavan turvallisuuden pitäisi olla verrattavissa laserin käyttämättömyyteen, mikäli asetukset eivät muutu merkittävästi.

Operatiivisen maalinosoittimen käyttö tuleeikin asettamaan suurimmat haasteet varomääräysten laadintaan harjoitustoimintaa silmälläpitäen. Laserlaitteiden tehot tuottavat Suomen puolustusvoimissa ennenkokemattomat varoetäisyydet [16], joiden ulkopuolellakin

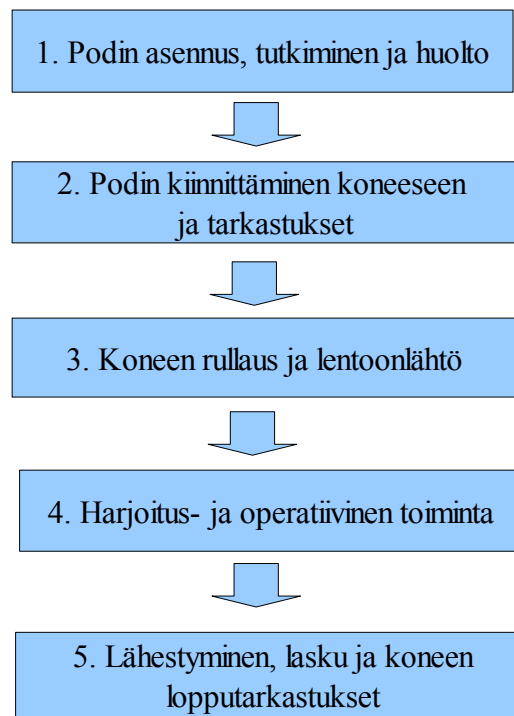
on mahdollisuus silmävaurioihin valoa keräävää optiikkaa käytettäessä. Matalalta korkeudelta maalia osoitettaessa mukaan tulee myös tulipalon uhka maalialueella. Tämä on tosin suhteellisen teoreettinen ajatus ottaen huomioon käyttötarkoituksen, jolloin tuhannen jalan alapuolelle tässä toiminnassa ei ole nykyisten aseiden ja taktiikoiden myötä tarkoituksenmukaista mennä. Silmien suojaamista ajatellen tulee maassa koko varoalueen alueella toimivien henkilöiden suojata silmänsä pätevillä lasersuojalaseilla. Tähän määrittelyyn tosin luultavasti tulee lievennyksiä, mikäli tutkitaan riittävät varotoimenpiteet katsekontaktin estämiseksi kohdealueelle sekä maalia osoittavaan koneeseen. Lasersuojalaseja käytettäessä pienin turvallinen etäisyys laserlaitteeseen pienenee harjoitustoimintaa haittaamattomalle tasolle, mikäli hankintaosasto vain hankkii riittävällä suojakertoimella olevat lasit. Mikäli lasersuojalaseja suojaavat hyvin myös sivuheijastuksilta, vapautuu maatoiminta merkittävästi, jolloin myös maassa pystytään harjoittelemaan omaa toimintaa laservaikutuksen alaisena monipuolisesti.

Lentäjien silmien suojauksesta tulee varmistua erittäin tarkasti, sillä näkökyvyn menetys kesken lennon tarkoittaa lähes täydellisesti toimintakyvyn menettämistä, jolloin seurauksena on lento-onnettomuus [19]. Lentäjien silmien suojaus asettaa kuitenkin suuret haasteet niin materiaaliteknisesti kuin käytännön toiminnallisestikin. Tämä huomioiden riskejä täytyy välttää tulevissa varomääräyksissä merkittävästi, kunnes lasersuojalaseiteknikka kehittyy eteenpäin. Vaikka laserlaitteet suunnitellaankin aina niin, että käyttäjälle ei aiheudu vaaraa käytettävästä laitteistosta, muodostuu toiminnassa kuitenkin merkittäviä riskejä. Lentäjä saattaa saada lasersäteilyä silmiinsä oman koneensa maaheijastuksista, siipikoneen laserlaitteista tai maassa käytettävistä laserlaitteista. Näistä maaheijastukset saattavat olla joko kokonaisheijastuksia, jolloin säde on heijastunut jostakin suorasta heijastavasta pinnasta, tai hajaheijastuksia, joita saattaa syntyä lähes mistä tahansa kohteesta. Kokonaisheijastus on vaarallinen laitteen täyden varoetäisyyden matkalla, josta on vähennetty podin etäisyys heijastavasta pinnasta [16]. Hajaheijastuskin saattaa olla vaarallinen, mutta etäisyys takaisin koneeseen on niin suuri, että todennäköisyys tälle on pieni. Sodan aikana mukaan tulevat vielä vihollisen koneiden käyttämät laserlaitteet, joiden tarkoituksena saattaa jopa olla lentäjän sokaiseminen tämänhetkisten kansainvälisten sopimusten vastaisesti.

## 4.6 Riskien arviointi

Tutkimuksen perusteella olen tehnyt Suomen ilmavoimien ohjeistuksen mukaan seuraavan riskiarvion eli ORM:in litening-podiin liittyvästä lentopalveluksesta.

### Tehtävän kulku:



### Vaaratekijöiden tunnistaminen:

#### 1. Podin asennus, tutkiminen ja huolto:

- Viallinen laserlaite laukeaa, kun henkilöstöllä ei ole suojalaseja.

#### 2. Podin kiinnittäminen koneeseen ja tarkastukset:

- Viallinen laserlaite laukeaa, kun henkilöstöllä ei ole suojalaseja.
- Sensoryksikkö liikauttaa odottamattomasti.

#### 3. Koneen rullaus ja lento-önlähtö:

- Viallinen laserlaite laukeaa liikennealueella.
- Laserin vahinkokäyttö lentoolähdön yhteydessä.



#### 4. Harjoitus- ja operatiivinen toiminta:

- Maalialueella on henkilöstöä ilman suojalaseja laukaistaessa operatiivinen laser.
- Maalialueella on henkilöstöä ilman suojalaseja laukaistaessa harjoituslaser.
- Varoalueen sisällä henkilöstö ei ole suojautunut riittävästi.
- Lentäjällä ei ole suojalasit päässään operatiivista laseria laukaistaessa.

#### 5. Lähestyminen, lasku ja koneen lopputarkastukset:

- Laserin vahinkokäyttö ilmassa.
- Viallinen laserlaite laukeaa ilmassa.
- Laserlaitteen suojalasi on mennyt lennolla rikki.

RISKIEN ARVIOINTI- MATRIISI			TODENNÄKÖISYYS / LÖYDETTÄVYYS			
			A	B	C	D
			Erittäin suuri	Kohtalainen	Pieni	Erittäin pieni
VAKA- VUUS	Onnettomuus	I	1	1	2	3
	Vakava vaurio tai loukkaantuminen	II	1	2	3	4
	Vaurio tai loukkaantuminen	III	2	3	4	5
	Vähäinen vaurio tai loukkaantuminen	IV	3	4	5	5

Kuva 4. Riskien arviointimatriisi. [18]

#### Riskitasojen tulkinta:

Vaaratekijä	Vakavuus	Toden- näköisyys	Riskiarvo
Viallinen laserlaite laukeaa eristetyllä alueella, kun henkilöstöllä ei ole suojalaseja.	II	D	4
Sensoryksikkö liikahtaa odottamattomasti.	III	D	5
Viallinen laserlaite laukeaa liikennealueella.	I	D	3
Laserin vahinkokäyttö lentoonlähdön yhteydessä.	I	D	3
Maalialueella on henkilöstöä ilman suojalaseja laukaistaessa operatiivinen laser.	II	C	3
Maalialueella on henkilöstöä ilman suojalaseja laukaistaessa harjoituslaser.	III	C	4
Varoalueen sisällä henkilöstö ei ole suojautunut riittävästi.	III	B	3
Lentäjällä ei ole suojalasit päässään operatiivista laseria laukaistaessa.	I	D	3
Laserin vahinkokäyttö ilmassa.	I	D	3
Viallinen laserlaite laukeaa ilmassa.	I	D	3
Laserlaitteen suojalasi on mennyt lennolla rikki.	III	C	4

**Riskien priorisointi:**

Vaaratekijä	Vakavuus	Toden- näköisyys	Riskiarvo
Viallinen laserlaite laukeaa liikennealueella.	I	D	3
Viallinen laserlaite laukeaa ilmassa.	I	D	3
Laserin vahinkokäyttö lentoonlähdön yhteydessä.	I	D	3
Laserin vahinkokäyttö ilmassa.	I	D	3
Lentäjällä ei ole suojalaseja päässään operatiivista laseria laukaistaessa.	I	D	3
Maalialueella on henkilöstöä ilman suojalaseja laukaistaessa operatiivinen laser.	II	C	3
Varoalueen sisällä henkilöstö ei ole suojautunut riittävästi.	III	B	3
Viallinen laserlaite laukeaa eristetyllä alueella, kun henkilöstöllä ei ole suojalaseja.	II	D	4
Maalialueella on henkilöstöä ilman suojalaseja laukaistaessa harjoituslaser.	III	C	4
Laserlaitteen suojalasi on mennyt lennolla rikki.	III	C	4
Sensoryksikkö liikahdaa odottamattomasti.	III	D	5

**Riskien minimointi:**

Vaaratekijä	Toimenpiteet
Viallinen laserlaite laukeaa liikennealueella.	Lentoteknillisen huollon tulee selvittää mahdolliset tyyppiviat mailta, joilla on jo runsaasti kokemusta podin käytöstä. Näiden tietojen perusteella yritetään tunnistaa ennalta mahdolliset vikatilanteet, jotta rikkinäisellä koneella ei lennettäisi.
Viallinen laserlaite laukeaa ilmassa.	
Laserin vahinkokäyttö lentoonlähdön yhteydessä.	Laserin käyttäminen on kytketty niin monen kytkimen ja valinnan taakse, että ohjaajan järjestelmätuntemus tulee pitää vähintään tyydyttävällä tasolla vahinkokäytön estämiseksi. Toimenpide-ehdotuksena aseiden virittämisen voisi sallia vasta toiminta-alueelle päästyä.
Laserin vahinkokäyttö ilmassa.	

<p>Lentäjällä ei ole suojalaseja päässään operatiivista laseria laukaistaessa.</p>	<p>Lennonvalmistelussa tulee korostaa lasersuojalaseja käytön vahvistamista ennen harjoituksen toiminta-alueelle saapumista. Vaikka ohjaaja ei itse käyttäisikään laseria, saattaa jokin muu kone käyttää lasermaalinosoitinta.</p>
<p>Maalialueella on henkilöstöä ilman suojalaseja laukaistaessa operatiivinen laser.</p>	<p>Maalialueella toimivan henkilöstön on pidettävä jatkuvaa kaksipuolista radioyhteyttä joko taistelunjohtajaan tai koneen ohjaajaan. Tämän lisäksi maahenkilöstölle on käskytettävä lasersuojautuminen taistelunjohtajan tai vastaavan toimesta.</p>
<p>Varoalueen sisällä henkilöstö ei ole suojautunut riittävästi.</p>	<p>Varomääräykseen tulee lisätä tieto suojautumisen riittävydestä varoalueen sisäpuolella, kuten esimerkiksi näköyhteyden tai heijastavien materiaalien määrittely ja rajoitukset.</p>
<p>Viallinen laserlaitte laukeaa eristetyllä alueella, kun henkilöstöllä ei ole suojalaseja.</p>	<p>Noudatetaan yllämainittuja toimenpiteitä.</p>
<p>Maalialueella on henkilöstöä ilman suojalaseja laukaistaessa harjoituslaser.</p>	<p>Noudatetaan yllämainittuja toimenpiteitä.</p>
<p>Laserlaitteen suojalasi on mennyt lennolla rikki.</p>	<p>Noudatetaan jo neuvottuja toimenpiteitä [14], minkä lisäksi varmistetaan, että osaaminen tämän tilanteen varalta jakaantuu kaikkiin lennostoihin. Eristysalueen sijainti tulee selvittää etukäteen, jotta mahdolliset toimenpiteet tapahtuisivat selkeästi ja viivytyksittä.</p>
<p>Sensoryyksikkö liikaa odottamattomasti.</p>	<p>Mahdolliset vaaranpaikat tarkastuksissa ja huollossa tulee selvittää ja kouluttaa lentotekniselle henkilöstölle.</p>

## 5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen metodologiana kvalitatiivinen sisällönanalyysi toimi erittäin hyvin aikaisemman tutkimuksen vähyyden vuoksi. Tämä antoi mahdollisuuden hakea tietoa eri lähteistä ja vertailla luettujen ja kursseilla kerrottujen faktojen todenperäisyyttä. Tutkimuksen aihe asetti haasteita organisaatiokulttuurin ja kirjallisen ohjeistuksen laajan vertailun ollessa mahdotonta. Aikaa tähän havainnointiin oli käytännössä ainoastaan Kuorevedellä käydyin kurssin muodossa, joten havainnointi kattavammilla tuloksilla olisi tarkoittanut vierailua ja haastatteluja kaikissa lennostoissa, mihin ei nykyisillä resursseilla ollut mahdollisuutta. Kandidaatin tutkimuksen tasolla näin laajan havainnoinnin tekeminen ei kuitenkaan ole tarpeellista työn tavoitteisiin nähden.

Lähteinä on käytetty suhteellisen paljon käskyjä, joiden laatija on yleensä toiminut epätieteellisesti ilman tarvittavaa julkisuusvaatimusta. Näissä lähteissä onkin huomattavan paljon vanhentunutta tietoa ja toimintatapoja, mutta ne ovat ainoita dokumentteja, joiden perusteella voi selvittää ohjeistuksen ajanmukaisuutta. Puolustusvoimien tieteellisyyden tavoittelua tulisi siirtää myös käskyjen laatimisen alueelle, vaikka sotilaallisessa järjestelmässä nojaututaankin edelleen tiukkaan johtaja-alainen -asetelmaan käskyjen kyseenalaistamisen suhteen. Internet-lähteinä olen käyttänyt suhteellisen luotettavien viranomaislaitosten tietoa, minkä lisäksi olen verrannut näitä tietoja kursseilla kerrottuihin faktoihin. Tieto oli valtaosin yhtenevää, mikäli voimme olettaa, että asiantuntijat eivät ole lukeneet tietoaan pelkästään samoista lähteistä. Luotettavuus on siis hyvällä tasolla, mutta julkaisijoiden ollessa sotilasorganisaatioita, on tieteellisyyden määritelmistä ainakin julkisuusvaatimus joissakin tapauksissa heikohko. Maailmalla on kuitenkin paljon enemmän kokemusta ja tutkimusta aiheen alueista, joten pitäisin Yhdysvaltojen sotilaslähteiden tietoa hieman perustellumpana kuin suomalaisten vastaavaa. Kirjoina julkaistut lähteet ovat arvostettujen koulujen tutkijoiden tekemiä, joten niiden tietoa pidän oikeana ja ajanmukaisena. Näiden dokumenttien lisäksi olen käyttänyt lähteinä valmistajan tuottamia ohjeita ja asiaan hyvin liittyvän kurssin oppituntimateriaalia. Näitä lähteitä olen käyttänyt suuntaa antavina, sillä en ole vertaillut faktoja empiirisistä kokeista saataviin tuloksiin.

Tieto lasertoiminnasta on ilmavoimissa hyvin pitkälti hiljaisen tiedon muodossa, joten laservaromääräystä ja koulutusta laadittaessa olisi syytä muokata tietoa helposti luettavaan kirjalliseen muotoon. Tämä tuottaisi tarvittavaa mahdollista asennemuutosta laserin vaarojen huomiointiin Suomessa, sillä maailmalla laseria käytetään erittäin paljon jo tänäkin päivänä. Ilmavoimat pitävät mielestäni laserturvallisuutta liian alhaisella prioriteetilla, minkä seurauksena esimerkiksi laservaromääräyksen kaivatun päivityksen tuottaminen on venynyt. Prosessi ei ole nopeutunut, vaikka ensimmäinen litening-pod saapui Suomeen jo vuoden 2008 lopulla.

Ilmavoimien ohjeistus on siis päässyt vanhentumaan, vaikka näin nopeasti kehittyvän teknologian varomääräyksiä tulisi tarkistaa vähintään neljän vuoden välein. Lieventävänä asiana voi kuitenkin todeta, että näitä vanhoja asiakirjoja täydentämään on pyritty tekemään kohdennettuja toimintaohjeita tärkeimpiin kohteisiin, joissa toimitaan laserlaitteiden kanssa. Näistä ohjeista en kuitenkaan löytänyt erityisesti lentoteknisen puolen henkilöstölle suunnattuja tarkkoja ohjeita, mikä ilmeni myös Kuoreveden kurssilla epätietoisuutena asiasta. Tämän ohjeistuksen tekeminen, tarvittavat periaatepäätökset lentoteknisen henkilöstön työturvallisuudesta ja kaiken tämän tiedon jakaminen koulutuksella tulisi toteuttaa viivyttelämättä.

Lentävän henkilöstön ohjeistusta päivitetään kohtuullisella tahdilla, mutta monet näistä ohjeista laaditaan vasta laitteiston saapumisen jälkeen. Tämä toimii periaatteena samalla tavalla, kuin nuoren miehen into kokeilla kaikkia teknisiä laitteita ensin ja vasta tämän jälkeen lukea käyttöohjeet. Noudatettavat ohjeetkin perustuvat tällä hetkellä maavoimien ohjeisiin, koska tarkemmille ohjeille perusteet määrittävä ilmavoimien ohjeistus on vasta valmistumassa. Työturvallisuutta tulisikin siis parantaa ennakoivaa suunnittelua lisäämällä.

Henkilökohtaisten lasersuojainten osalta ollaan hyvällä tasolla rauhan aikaa ajatellen. Suurin osa puolustusvoimien lasereista toimii yhdellä taajuudella, jolloin lasersuojalaseja tälle taajuudelle löytyy paljon. Ilmavoimissa on otettu käyttöön Lambda One -suojaalasit, jotka parantavat monilta osin lasersuojausta edellisiin malleihin verrattuna. Tehtävää tällä alalla on kuitenkin vielä paljon, sillä sekä tekniikka että suojaus kehittyy vauhdilla. Sodan ajan tilanne jäi selvittämättä, mutta tilanne suojaamisen osalta vaikuttaisi olevan hyvin hankala. Näön suojaaminen koko optisen spektrin alueella ei onnistu näkyvyyden siitä merkittävästi

kärsimättä, joten lasersuojaukseen tarvitaan joko hyvää tiedustelutietoa tai selkeämpiä kansainvälisiä sodan sääntöjä.

Harjoituskäytössä laserin käyttäminen aiheuttaa monia huomioon otettavia riskejä, joita pitää tarkastella riittävän asiantuntevan työryhmän kesken. Näiden riskien suuruutta täytyy arvioida suhteessa saavutettuihin hyötyihin. Tämän työryhmän tuloksista tulee selvitä selkeät toimenpiteet, kuinka harjoitusalueella toimivien henkilöiden tulee suojautua niin ilmassa kuin maassa. Työryhmä on luultavasti perustettu tuottamaan ilmavoimien laservaromääräyksen päivitystä, mutta tarkkojen suojautumista koskevien määräysten tekemistä ei saa jättää avoimeksi. Laseria pidänkin salakavalimpana ei-tappavana aseena, minkä ihminen on tähän mennessä keksinyt.

## 6. LÄHTEET

- [1] Alanko, Seppo. Luentomoniste 766329A: Aaltoliike ja optiikka.  
Oulun Yliopisto, Fysikaalisten tieteiden laitos. 2003.
- [2] Davis, Christopher C. Lasers and Electro-Optics: Fundamentals and Engineering.  
Cambridge University Press, Cambridge 1996. 720s.  
ISBN 0-521-48403-0
- [3] <http://chppm-www.apgea.army.mil/documents/FACT/250130498.pdf>  
USACHPPM.  
Lainattu 26.1.2009.
- [4] <http://doni.daps.dla.mil/Directives/03000%20Naval%20Operations%20and%20Readiness/03-500%20Training%20and%20Readiness%20Services/3500.39B.pdf>  
Department of the Navy. Operational risk management (ORM).  
OPNAVINST 3500.39B. 30.7.2004.  
Lainattu 20.3.2009.
- [5] <http://www.globalsecurity.org/military/library/policy/army/fm/8-50/>  
Department of the Army. Prevention and medical management of laser injuries.  
FM 8-50. Washington, DC 8.8.1990.  
Lainattu 26.1.2009.
- [6] <http://www.marines.mil/news/publications/Documents/MCO%203500.27B%20W%20ERRATUM.pdf>  
Headquarters United States Marine Corps. Operational risk management (ORM).  
MCO 3500.27B. 5.3.2004.  
Lainattu 20.3.2009.
- [7] [http://www.nsai.ie/uploads/file/N047\\_Committee\\_Draft\\_of\\_ISO\\_31000.pdf](http://www.nsai.ie/uploads/file/N047_Committee_Draft_of_ISO_31000.pdf)  
ISO TMB WG on Risk Management. 15.6.2007.  
Lainattu 20.3.2009.
- [8] [http://www.stuk.fi/sateilytietoa/sateilevat\\_laitteet/fi\\_FI/laser/](http://www.stuk.fi/sateilytietoa/sateilevat_laitteet/fi_FI/laser/)  
Säteilyturvakeskus. 13.3.2009.  
Lainattu 19.4.2009.
- [9] Introduction to the LITENING AT Block 2 Targeting Pod.  
Training Presentation. 3.12.2008.  
Doc No.:399-004170.
- [10] Lambda one lasersuojalasien käyttö litening toiminnassa.  
PVAH. CF5541.



- [11] Laser-säteilylle altistuvien henkilöiden työturvallisuusohjeet ilmavoimissa. IlmavE h-os PAK I 3:11.
- [12] Leino, Tuomo, Tikkakosken päällikkölääkäri. Luento: laserturvallisuus lääkärin näkökulmasta. Kuorevesi 10.12.2008.
- [13] LentoTL. Lasersuojalasien käyttöönotto. TMT-järjestelmä TT/753/YL. 21.11.2007.
- [14] LentoTLkoelntk. HN-kaluston an/alq-28 litening pod at block II modifikaatioon liittyvä lentopalvelus mlu1-koneilla 19C(F) build 3.4 konfiguraatiossa. PVAH. CF6409.
- [15] Luentomoniste: Laserturvallisuus. PVTTASETOS:N optroniikkakurssi – Litening-koulutus. 3.11.2008.
- [16] Maavehenkos. Tilapäinen varomääräys (varo-ohje) mittaaminen laseretäisyysmittarilla. Maavvaro 005. PVAH. HE1168.
- [17] Northrop Grumman Litening AT training kurssi. Kuorevesi 8. - 10.12.2008.
- [18] ORM-ohje.ppt. PVAH. 28.11.2008.
- [19] Partanen, Tuomas. Laser-säteilyn vaikutukset ja siltä suojautuminen ilmavoimissa. SM 115. Maaliskuu 2005.
- [20] Tuomi, Jouni – Sarajärvi, Anneli. Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. Gummerus kirjapaino Oy, Jyväskylä 2004. ISBN 951-26-4856-3.