

Mika Korjala

HELIKOPTERIN OMASUOJAHEITTEIDEN LATAUS KUUMATANKKAUKSEN YHTEYDESSÄ

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Logistiikan koulutus

2024



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä	Mika Korjala
Työn nimi	Helikopterin omasuojaheitteiden lataus kuumatankkauksen yhteydessä
Toimeksiantaja	Utin jääkäriyrykmentti
Vuosi	2024
Sivut	38 sivua
Työn ohjaaja	Anssi Salmi

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, kuinka helikoptereiden omasuojaheitteiden lataus voitaisiin suorittaa kuumatankkauksen yhteydessä turvallisesti. Omasuojaheitteiden lataaminen suoritettiin tutkimuksen aikana helikopterin ollessa virrattomana valmistajan ohjeistuksen mukaisesti, mikä pidentää helikopterin maassaoloaikaa ennen mahdolliselle jatkotehtävälle lähtemistä. Tutkimuksen tavoitteena oli antaa perusteita omasuojaheitteiden kuumalatausten käytännön kokeiden aloittamiseen.

Tämän opinnäytetyön tutkimusmenetelmänä oli laadullinen tutkimus. Tutkimuksessa perehdyttiin laajasti julkisista lähteistä saatavilla olevaan kirjallisuuteen. Tutkimuksessa oli tarkoitus syventyä omasuojaheitteiden lataamiseen liittyviin riskeihin ja etsiä mahdollisuutta toteuttaa lataaminen kuumatankkauksen yhteydessä turvallisesti.

Tutkimuksen mukaan vähintään seuraavat asiat tulee huomioida omasuojaheitteiden kuumalataamiseen liittyen. Omasuojaheitteiden ulosheittopanakset on yleisesti suunniteltu kestämään 25 000 voltin staattisen varauksen purkautuminen. Helikopteri varautuu lennolla voimakkaammin, mutta varaus on purettavissa ennen omasuojaheitteiden lataustoimenpiteiden aloittamista. Ympäristön elektromagneettinen säteily aiheuttaa riskejä sähkötoimisille ulosheittopankseille. Säteilystä aiheutuva jäännösjännite on mitattavissa ja ympäristötekijät huomioitava omasuojaheitteiden latauspaikalla. Helikopterin omasuojajärjestelmän omat turvallisuustoiminnot tulee olla käytössä ennen omasuojaheitteiden kuumalataamistoimintojen aloittamista.

Omasuojaheitteiden kuumalataamiselle ei tutkimuksen mukaan ole suoranaisia esteitä. Omasuojaheitteiden lataaminen helikopterin moottoreiden ollessa käynnissä ja roottoreiden pyöriessä on NATO:n toimintatapojen mukaan verrattavissa polttoaineen täydennykseen ja toimintatapa on käytössä monessa valtiossa. Puolustusvoimien tulee tarkastaa omat työturvallisuuteen liittyvät määräykset ja ohjeet sekä NH90-kaluston alttius jäännösjännitteen muodostumiselle ennen omasuojaheitteiden kuumalataustoiminnan aloittamista.

Asiasanat: Puolustusvoimat, sotilashelikopterit, työturvallisuus, staattinen sähkö

Degree title	Bachelor of Engineering
Author	Mika Korjala
Thesis title	Reloading of the helicopter's countermeasures dispenser during hot refuelling
Commissioned by	Utti Jaeger Regiment
Time	2024
Pages	38 pages
Supervisor	Anssi Salmi

ABSTRACT

The purpose of this thesis was to examine how the helicopter's chaff and flare countermeasures can be safely reloaded during hot refuelling. At the time of the study helicopter countermeasures were reloaded while the helicopter's engines and electric power were turned off, which is in accordance with the manufacturer's instructions. Shutting down the helicopter increases the time the helicopter must be on the ground between missions. The aim of the study was to provide a basis for starting the practical tests for a hot reloading of the helicopter chaff and flare countermeasures.

In this thesis, qualitative research methods were used. The study was limited to only information available found from the public sources. The purpose of the study was to delve deeper into determining the risks involved in the countermeasure reloading and the possibilities of safely carrying out countermeasure reloading during the hot refuelling procedure.

According to the study, consideration should be given to the following topics related to the hot reloading of helicopter countermeasures. Firstly, the impulse cartridges of countermeasures are generally designed to withstand 25 000-volt electrostatic discharge. In flight, the electrostatic charging of the NH90 helicopter can exceed this, but it will be discharged on the ground before starting the reloading procedures of the countermeasure system. Secondly, the electromagnetic radiation in the environment can cause risks for the operation of impulse cartridges. The stray voltage induced by the radiation should be measured and the environmental factors must be considered at the reloading point. Thirdly, the safety functions of the helicopter's electronic warfare system must be operational and in use before starting the hot reloading activities.

Based on this study there seems to be no reason to inhibit the hot reloading of the helicopter countermeasures when it is operationally required. Hot reloading of countermeasures while the engines are running, and the rotors are turning are standard procedures for NATO and these methods of operation are used in many countries. The Finnish Defence Forces should analyse their own regulations and instructions related to occupational safety and the susceptibility of the NH90 helicopter to the formation of stray voltage before starting the hot reloading of countermeasures.

Keywords: Finnish Defence Forces, military helicopter, occupational safety, static electricity

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
1.1	Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset.....	5
1.2	Tutkimusmenetelmät.....	6
1.3	Rajaukset.....	6
1.4	Tutkimusaiheen teoreettinen tausta.....	8
2	HELIKOPTERI.....	9
2.1	Helikoptereiden historia.....	9
2.2	Helikopterit Suomessa.....	11
2.2.1	Kevythelikopteri Hughes MD500.....	12
2.2.2	Kuljetushelikopteri NH90 TTH.....	13
3	OMASUOJAHEITTEET.....	14
3.1	Silppu.....	15
3.2	Soihtu.....	16
4	STAATTINEN SÄHKÖ.....	17
5	STAATTISEN SÄHKÖN PURKAUKSELTA SUOJAUTUMINEN.....	18
6	NH90-HELIKOPTERIN STAATTINEN VARAUTUMINEN.....	21
7	YMPÄRISTÖN SÄTEILYN VAIKUTUS RÄJÄHTEISIIN.....	26
8	SÄHKÖISTEN SYTYTTIMIEN SUUNNITTELU.....	26
9	TUTKIMUSTULOKSET.....	27
9.1	Huomioitavat asiat turvalliseen kuumalataamiseen.....	28
9.2	Laskutoimitukset.....	30
9.3	Työturvallisuus.....	32
10	POHDINTA.....	33
10.1	Vastaukset tutkimuskysymyksiin.....	33
10.2	Tutkimuksen luotettavuus.....	34
10.3	Jatkotutkimusehdotukset.....	34
	LÄHTEET.....	36

1 JOHDANTO

Tutkimuksessa pyritään selvittämään, kuinka helikoptereiden omasuojaheitteiden lataus voitaisiin suorittaa kuumatankkauksen yhteydessä turvallisesti.

Kuumatankkauksella tarkoitetaan polttoaineen täydennystä helikopterin moottoreiden käydessä ja roottoreiden pyöriessä. Nämä tekijät aiheuttavat helikopterin sähköistä varautumista ja varauksen purkautuminen voi aiheuttaa omasuojaheitteiden ulosheittopanoksen tahattoman detonaation.

Omasuojaheitteet ladataan tällä hetkellä helikopterin ollessa virrattomana valmistajan ohjeistuksen mukaisesti. Tämä aiheuttaa viivettä mahdolliselle jatko-tehtävälle lähdeittäessä, mikäli alkuperäiset omasuojaheitteet ovat jo kulutettu edellisellä tehtävällä tai heitetyyppejä tulee vaihtaa tehtävätyypin muutoksesta johtuen. Omasuojaheitteiden kuumaletauksella pystyttäisiin myös suorittamaan useita lentosuorituksia tiiviissä aikaikkunassa esimerkiksi kertaus- tai koulutustapahtumissa.

1.1 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää teoriatasolla, onko omasuojaheitteiden lataaminen kuumatankkauksen yhteydessä mahdollista tehdä turvallisesti ja työturvallisuusmääräyksiä noudattaen. Tutkimus antaisi mahdollisesti perusteita omasuojaheitteiden kuumaletauksen käytännön kokeiden aloittamiseen.

Tutkimuksen päätutkimuskysymyksenä toimii:

- Mitä asioita tulee huomioida, että helikopterin omasuojaheitteet voidaan ladata turvallisesti kuumatankkauksen yhteydessä?

Tutkimuksessa pyritään vastaamaan myös seuraaviin alatutkimuskysymyksiin, jotka pohjustavat päätutkimuskysymystä:

- Voiko staattisen sähköön varauksen purkautuminen aiheuttaa omasuojaheitteiden ulosheittopanoksen tahattoman detonaation?
- Mitä työturvallisuusmääräyksiä tulee huomioida omasuojaheitteiden kuumaletauksessa?

1.2 Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksen lähestymistapa tulee olemaan laadullinen. Tutkimuksessa on tarkoitus syventyä omasuojaheitteiden lataamiseen liittyviin riskeihin ja etsiä mahdollisuutta toteuttaa se kuumatankkauksen yhteydessä turvallisesti. Tällä haetaan kokonaisvaltaista ymmärrystä omasuojaheitteiden kuimalataamisesta teorian kautta. Laadullisella tutkimusmenetelmällä toteutettavalla tutkimuksella etsitään vastausta kysymykseen mitä merkityksiä tutkimuksissa tutkitaan (Vilkkä 2005, 97).

Laadullisen tutkimuksen ominaispiirteitä ovat epäily itsestään selvästi tiedettyä kohtaan, kvalitatiivisen aineiston suosiminen, luonnollisen aineiston suosiminen, sitoutuminen intensiiviseen tarkasteluun, toimintaan keskittyminen, subjektiivisuuden arvostaminen, asianosaisten omien merkitysten ja tulkintojen korostaminen, monimutkaisuuden sietokyky ja analyysivetoisuus. Näiden ominaispiirteiden listausta ei pidä ajatella niin, että niiden on oltava aina läsnä. Laadullisessa tutkimuksessa on hyväksyttävä se, että erilaiset tutkittavat seikat eivät yleensä ole helposti ja yksinkertaisesti esitettävissä ja analysoitavissa. (Juhila s.a.)

Opinnäytetyöni tulee olemaan tapaustutkimus. Tapaustutkimus on tutkimusstrategia, jossa päämääränä on tuottaa yksityiskohtainen esitys tutkittavasta tapauksesta (Leinonen 2020). Tutkimuksen tavoitteena on huomioida tosielämän ympäristö teoriaa tutkiessa. Tiedonkeruumenetelmä tulee olemaan julkisiin lähteisiin perustuva kirjallisuuskatsaus. Opinnäytetyön tuloksia tarkastellaan tutkimuskysymyksen ja käytettyjen tietoperusteiden suhteessa.

1.3 Rajaukset

Tutkimus rajataan koskemaan vain julkisista lähteistä saatavilla olevaa tietoa, ja käytännön testauksen toimenpiteet on rajattu myös tutkimuksen ulkopuolelle. Tutkimuksessa ei käytetä tietoja, jotka löytyvät vain kirjautumalla Puolustusvoimien tietojärjestelmiin.

Tutkimuksen rajaaminen johtuu pitkälti tietoturvallisuudesta. Omasuojaheitteitä ei käytännössä käytetä kuin valtiollisessa ilmailussa ja tästä syystä suuri

osa tutkitusta tiedosta on turvaluokiteltua tietoa. Turvaluokitellulla tiedolla voidaan tarvittaessa täydentää tutkimusta ennen käytännön kokeiden aloittamista.

Tutkimuksen rajaamisella tarkoitetaan tutkimusaiheen tarkentamista. Rajauksen myötä tutkimuksen aihe kaventuu suppeammaksi ja täsmentyy. Rajaaminen voi perustua myös tutkijan mielenkiinnon kohteiden mukaan. Rajauksella voidaan myös tehdä tutkimuksesta sopiva suhteessa tutkijan taitoihin. (Jyväskylän yliopisto 2021.)

Tutkimukselle haettiin tutkimuslupa Puolustusvoimilta. Tutkimuslupa myönnettiin seuraavin ehdoin:

- Lupa on henkilökohtainen ja määräaikainen päättyen 31.08.2024.
- Tämä päätös koskee Maavoimien esikunnan hallinnon alaista materiaalia, joukkoja ja toimitiloja.
- Opinnäytteen laatimisesta ei saa tulla välittömiä kustannuksia Puolustusvoimille.
- Opinnäytetyön tulee tuottaa teoreettiset perusteet aihekokonaisuudesta niin, että sen tuloksia voidaan tarvittaessa hyödyntää koelentotoiminnassa ja ohjeistuksen laadinnassa. Tämä päätös antaa mahdollisuuden vain asian teoreettiselle tutkimiselle.
- Tutkimukseen liittyvät mahdolliset haastattelut on suoritettava nimettöminä ja vapaaehtoisuuteen perustuen. Tutkimukseen osallistuneen henkilön henkilöllisyys ei saa raporteista paljastua.
- Tutkimuksessa syntynyttä ja/tai tutkijalle luovutettua aineistoa käytetään vain hakemuksessa kuvatun tutkimuksen tekemiseen. Aineiston käyttöoikeutta ei voida siirtää kolmansille osapuolille.
- Aineiston käsittelyssä on huomioitava, mitä on säädetty EU:n yleisessä tietosuojasetuksessa ja sen kansallisen liikkumavaran piirissä annetussa tietosuojalaissa (1050/2018 erit.31. §). Luvansaaja on velvollinen tutkimustoiminnassaan tätä sääntelyä noudattamaan.
- Tutkimus tulee toteuttaa ja raportoida siten, että julkiseksi ei tule viranomaisten toiminnan julkisuudesta annetun lain (621/1999) 24. §:n 1. momentin tai muun lain perusteella salassa pidettäviä tietoja. Mikäli tutkimus tuottaa luokiteltua tietoa, tulee se asettaa erilliselle liitteelle, jota

ei luovuteta julkiseen käyttöön. UTJR (tarvittaessa MAAVE:n ilmailu) tarkastaa lopullisen raportin ennen sen luovutusta koululle tarkastettavaksi.

- Tutkija luovuttaa lopullisen arvostellun tutkimusraportin UTJR:lle ja Maavoimien ilmailun yhteyshenkilölle.
- Maavoimien esikunnalla on oikeus julkaista tutkimusraportti Puolustusvoimien tutkimusrekisterissä.

1.4 Tutkimusaiheen teoreettinen tausta

Tutkimuksen teoreettinen tausta muodostuu staattisen sähköän muodostumisesta, potentiaalierojen tasaamisesta, riskien hallinnasta ja omasuojaheitteiden ominaisuuksien tarkastelusta. Tutkimuksessa tullaan myös tarkastelemaan NATO:n standardisointisopimuksia (STANAG) ja niiden sisältöjä suhteessa aiheeseen.

Staattisen sähköän muodostumista käsitellään hyvin yleisellä tasolla. Teoriaosuudessa on tarkoituksena löytää, mitkä asiat vaikuttavat staattisen sähköän syntymiseen. Potentiaalierojen tasaamisen osiossa on löydettävä keinoja potentiaalierojen hallittuun tasaamiseen. Potentiaalierojen hallittu tasaaminen pyritään hahmottamaan lataaja–helikopteri–maapallo–heitekasetti-väleillä. Potentiaalierojen tasaamisella tarkoitetaan kaikkien lataukseen osallistuvien osien sähköisten varausten tasaamista ennen kuin omasuojaheitteiden lataaminen tapahtuu.

Omasuojaheitteiden lataamista ei tulla saamaan täysin riskittömäksi koskaan. Riskienhallintaa tullaan käsittelemään tutkimuksessa ja sen avulla pyritään löytämään hyväksyttävän riskin tasot. Riskitaso on suhteutettava normaalitoimintaan, jolloin yksikin tapaturma on liikaa. Sotilasilmailussa tulee kuitenkin aina olemaan riskejä ja turvallisella rauhan ajan toiminnalla luodaan pohja mahdolliseen poikkeusolojen toimintaan.

A Standardization Agreement (STANAG) on NATO:n standardisointisopimus. Sopimuksilla jäsenvaltiot ottavat käyttöönsä standardin joko täysin tai osittain ja varauksilla tai ilman. Standardisoinnilla pyritään varmistamaan jäsenvaltioiden yhteensopivuusvaatimukset. (NATO 2022.)

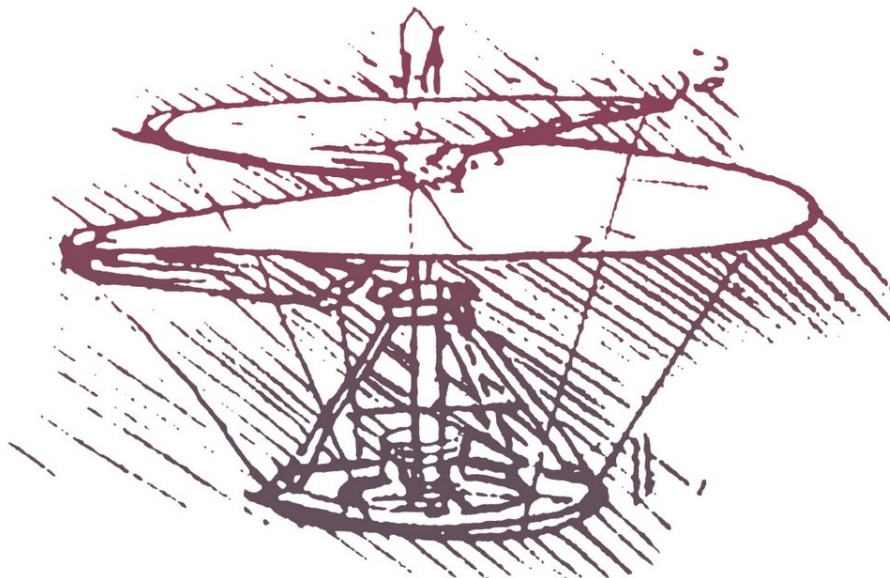
2 HELIKOPTERI

Euroopan komission asetuksen (2012) mukaan helikopteri on ilmaa raskaampi ilma-alus, joka pysyy ilmassa pääasiallisesti pystysuoran tai lähes pystysuoran akselin ympäri moottoriavusteisesti pyörivien rottoreiden vaikutuksesta. NASA (2014) määrittelee helikopterin ilma-alukseksi, joka käyttää lentämiseen pyöriviä siipiä, joita kutsutaan lavoiksi. Helikopteri tarvitsee lentämiseen moottorin tuottamaa voimaa. Helikopterin pyörivät lavat mahdollistavat helikopterin lentokoneista poikkeavat lentotilat.

2.1 Helikoptereiden historia

Helikopterit ovat teknisiä laitteita ja ne vaativat kevyitä sekä kestäviä rakenteellisia osia ja kevyttä sekä tehokasta voimalaitetta. Tämän vuoksi helikoptereiden kehitys käyttökelpoisiksi ilma-aluksiksi on kestänyt huomattavan pitkään aina 1900-luvulle asti.

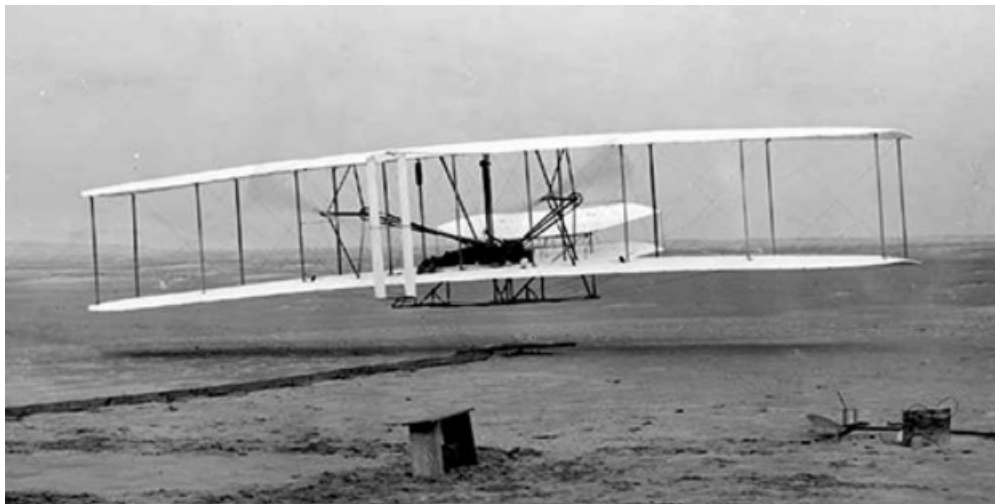
Ensimmäisiä dokumentteja, jotka käsittelevät pyöriväsiipisten lentoa, löytyy 400-luvulta. 1300-luvulta löytyy ensimmäinen kuva, joka esittää pyöriväsiipistä lentolaitetta. 1400-luvun lopulla Leonardo Da Vinci esitti luonnoksensa pyörivästä siivestä (kuva 1) ja sen perustaksi myös teorian ilman puristumisesta siiven alla. Seuraavat kehitysaskleet tapahtuivat 1700-luvun lopulla, kun ensimmäinen teoriaan perustuva helikopterilennokki esiteltiin Ranskassa. (Raunio 2000, 2–3.)



Kuva 1. Leonardo Da Vincin luonnos pyörivästä siivestä (Tekniikka&Talous 2022)

1800-luvulla englantilainen sir George Cayley esitti useita ajatuksia toimivasta helikopterista. 1800-luvun puolivälissä hän rakennutti laitteen, jossa oli neljä sivulle asennettua roottoria, kaksi nelilapaista työntöpotkuria, korkeus- ja sivuvakaimet sekä laskuteline. Ilmaan tällä laitteella ei koskaan päästy, mutta tämä laite auttoi myöhempiä kehittäjiä oikeaan suuntaan. (Raunio 2000, 2–3.)

Ensimmäinen moottoroitu lentokone lensi vuonna 1903 amerikkalaisten Wrightin veljesten toimesta (kuva 2) ja muutaman vuoden kuluttua Ranskassa vuonna 1907 onnistuttiin ensimmäisen kerran nousemaan ilmaan helikopterilla. Kone nousi noin puolentoista metrin korkeuteen. (Raunio 2000, 2–4.)



Kuva 2. Wrightin veljesten lentokone (Space Center Houston 2019)

Ensimmäiset helikopterilennot Venäjällä tapahtui vuosina 1909–1910. Helikopteri, jossa oli kaksi vastakkain pyörivää roottoria, pystyi hädin tuskin nostamaan oman painonsa ilmaan. Helikoptereiden kehitys jatkui vuosien 1910–1930 välillä ja näiden vuosien aikana muun muassa itävaltalaiset onnistuivat nousemaan 40 metrin korkeuteen ja 1500-kiloinen kone lensi lähes tunnin ajan. Merkittäviä edistyksiä helikoptereiden kehityksessä saavutettiin myöhemmin, sillä vuonna 1924 Espanjassa saavutettiin pituuslennon maailmanennätys 736 metriä. Lisäksi Hollannissa vuonna 1925 keksittiin helikopteri, jossa oli yksi pääroottori ja yksi pyrstöroottori, jolla kumottiin pääroottorin tuottama vääntömomentti. (Raunio 2000, 2–5.)

1930-luvun lopulla saksalaiset kehittivät ensimmäiset käytännölliset helikopterit. Näillä helikoptereilla tehtiin useita kansainvälisen ilmailujärjestön hyväksymiä maailmanennätyksiä, kuten yli 1 h 20 min lentoaika, yli 120 km/h lentonopeus, nousu yli 3200 metrin korkeuteen sekä suora matkalento, joka oli yli 230 kilometriä. Saksassa kehitettiin toisen maailmansodan aikana maailman ensimmäiset sarjavalmistetut helikopterit ja sodan päätyttyä helikoptereita viettiin Yhdysvaltoihin, Englantiin ja Ranskaan tutkittavaksi. (Raunio 2000, 2–7.)

Helikoptereiden todellinen teollinen tuotanto alkoi 1940-luvun alussa Yhdysvalloissa ja kaupalliseen käyttöön ensimmäiset helikopterit luovutettiin vuonna 1946. Toisen maailmansodan jälkeen Euroopassa valmistettiin runsaasti yhdysvaltalaisia helikoptereita lisenssillä. Usealla eri valtiolla Euroopassa oli myös omia helikopterikehitysprojekteja vaihtelevalla menestyksellä. Nykyaikana suuria helikopterivalmistajia löytyy Yhdysvalloista, Euroopasta ja Venäjältä. (Raunio 2000, 2–8.)

2.2 Helikopterit Suomessa

Suomeen ensimmäinen helikopteri rekisteröitiin ilma-alusluetteloon vuonna 1953. Kone oli Imatran Voima Oy:n ostama ja sitä käytettiin pääsääntöisesti sähkölinjojen tarkistamiseen. Kyseinen kone oli ainut laatuaan käytössä, kunnes toiminta laajeni 1960-luvun alusta alkaen Ilmavoimien, Rajavartiolaitoksen ja Helikopteripalvelu Oy:n hankkiessa helikoptereita. (Raunio 2000, 2–12.)

Helikopteritoiminta Suomessa kasvoi hitaasti 1970-luvun aikana siviilioperaattoreiden toimesta. Voimakkain kehitys siviili-ilmailun puolella tapahtui 1980- ja 1990-luvuilla, jolloin Suomessa oli parhaimmillaan 86 rekisteröityä helikopteria tai autogiroa. (Haapanen 2003, 6–7.)

Puolustusvoimat saivat käyttöönsä ensimmäisen helikopterin maaliskuussa vuonna 1961. Helikopteritoiminta on ollut siitä asti jatkuvaa ja Puolustusvoimien käytössä on ollut yhteensä seitsemän eri konetyyppiä. (Haapanen 2003, 11.) Tänä päivänä käytössä on kaksi eri konetyyppiä, kevythelikopteri Hughes MD500 ja kuljetushelikopteri NH90 TTH, joista seuraavana hieman tarkemmin.

2.2.1 Kevythelikopteri Hughes MD500

Hughes MD500 on valmistettu Yhdysvalloissa. Puolustusvoimissa tämä kone tunnetaan tyyppitunnuksella HH. HH-helikoptereiden tehtäviä Puolustusvoimissa ovat helikopterilentäjien koulutus, kuljetustehtävät ja tiedustelulennot. Puolustusvoimissa on käytössä seitsemän kappaletta HH-helikoptereita. Ensimmäiset HH-helikopterit Ilmavoimat saivat käyttöönsä vuonna 1975. (Puolustusvoimat s.a.)



Kuva 3. Kevythelikopteri Hughes MD500 (Puolustusvoimat s.a.)

Kevythelikopteri Hughes MD500 tekniset tiedot:

Leveys (pääroottorin halkaisija): 8,06 m

Korkeus: 3,00 m

Paino: mallista ja versiosta riippuen 750–850 kg

Suurin lentopaino: 1361 kg

Hyötykuorma: Sisäpuolinen/ulkopuolinen kuorma n. 350/600 kg

Suurin polttoainekuorma: 189 kg

Rakenne: Kokometallirakenne

Voimalaitteet: 1 x Allison 250-C20 -turbiinimoottori (teho 278 hv)

Maksiminopeus: 280 km/h

Matkalentonopeus: 210 km/h

Toiminta-aika ja -matka: N. 2,5 h / 500 kilometriä

Miehistö: Yksi ohjaaja, kolme matkustajapaikkaa

HH-helikoptereita on modifioitu vastaamaan nykyajan ilmailun vaatimuksia 2000-luvun aikana kahdesti. Helikopterin varustuksiin kuuluu muun muassa miehistön NVG (Night Vision Goggles) -pimeänäkölaitteet ja nykyaikainen avioniikka, joka mahdollistaa mittarilähestymismenetelmien harjoittelun. Omasuojajärjestelmää HH-helikoptereissa ei ole. (Puolustusvoimat s.a.)

2.2.2 Kuljetushelikopteri NH90 TTH

NH90 TTH (Tactical Transport Helicopter) on yhteiseurooppalaisen kehityksen tulos vastaamaan eurooppalaisten valtioiden vaatimukseen keskiraskaasta monitoimihelikopterista. Puolustusvoimissa tämä kone tunnetaan tyyppitunnuksella NH. NH-helikoptereiden käyttötarkoituksena on koko valtakunnan laajuudella joukkojen ja materiaalin nopeat kuljetukset sekä valvonta- ja tiedustelutehtävät kaikissa valaistus- ja sääolosuhteissa. Puolustusvoimissa on käytössä 20 kappaletta NH-helikoptereita. Ensimmäiset NH-helikopterit Maa-voimat saivat käyttöönsä vuonna 2008. (Puolustusvoimat s.a.)

NH-helikopterit ovat mittarilentokykkyisiä. Helikopterin varustuksiin kuuluu muun muassa FLIR-infrapunakamera (Forward Looking Infrared), säätutka ja miehistön NVG (Night Vision Goggles) -pimeänäkölaitteet (Puolustusvoimat s.a.). Omasuojajärjestelmä NH-helikoptereissa koostuu laser- ja tutkavaroituksjärjestelmistä, ohjuslaukaisuvaroitussjärjestelmästä sekä soihtu- ja silputuslaitteista (NH90 2024).



Kuva 4. Kuljetushelikopteri NH90 TTH (Puolustusvoimat s.a.)

Kuljetushelikopteri NH90 TTH tekniset tiedot:**Leveys (pääroottorin halkaisija):** 16,30 m**Korkeus (pyrstöroottorin kohdalla):** 5,30 m**Suurin lentopaino:** 11 000 kg**Hyötykuorma:** Rungon sisäpuolella enintään 2500 kg, ulkopuolisena kuormana 3000 kg. Vinssin nostokyky 270 kg lennolla. Enintään 16 matkustajaa**Suurin polttoainekuorma:** Ilman lisäsäiliöitä 2000 kg**Rakenne:** Komposiittirakenne**Voimalaitteet:** 2 x Rolls-Royce Turboméca RTM 322-01/9-kaasuturbiinimootoria (lento-olähtöteho á 1781 kW / 2388 hv)**Maksiminopeus:** 300 km/h**Matkalentonopeus:** 260 km/h**Toiminta-aika ja -matka:** 4 tuntia / 800 kilometriä**Miehistö:** Kaksi ohjaajaa ja matkamekaanikko. Tarvittaessa pintapelastaja.

3 OMASUOJAHEITTEET

Omasuojaheitteet ovat osa omasuojajärjestelmää. Omasuojajärjestelmällä tarkoitetaan ohjelmistoja tai laitteita, joilla on tarkoituksena suojata oma kalusto vihollisen toimintaa vastaan. Omasuojajärjestelmä havaitsee, tunnistaa ja luokittelee sitä uhkaavat järjestelmät. Järjestelmä varoittaa uhasta ja laskee vastatoimet uhan välttämiseksi. Omasuojajärjestelmä koostuu seuraavista pääosista, joita ovat tutkavaroitin, laservaroitin, ohjusvaroitin, prosessointiyksikkö, uhkakirjasto, näyttölaitteet, omasuojaheitteet ja omasuojahäirintälähettimet.

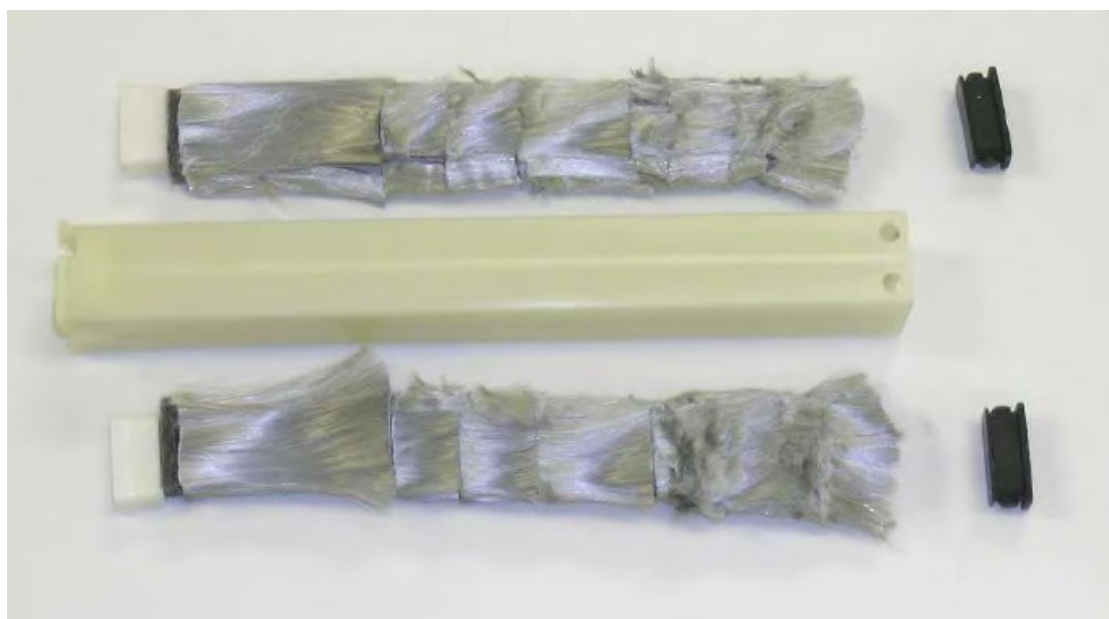
Omasuojaheitteet aktivoidaan toimintaan sähkötoimisen ulosheittopanelin avulla. Esimerkkinä sähköisestä ulosheittopanelista voidaan pitää TM-BBU-35-ulosheittopanelia. Ulosheittopaneli on pyöreä muodoltaan, sen halkaisija on 12,7 mm ja sen pituus on 14 mm. Ulosheittopaneli sopii asennettavaksi 1 x 1 x 8 tuuman kokosiin standardiheitteisiin. Ulosheittopanelin kokonaispaino on noin 4,6 grammaa, josta räjähdysaineen osuus on noin 0,55 grammaa. Ulosheittopanelille ilmoitetaan 15 millisekunnin syttymisviive, no fire -virraksi 1 A 5 minuutin ajaksi ja all fire -virraksi 4,25 A. (Tara Aerospace AD s.a.)

No fire -virralla tarkoitetaan suurinta sähkönsyöttöä, jonka ulosheittopanos kestää laukeamatta. Tyypillinen suunnitteluvaatimus on 1 A:n virta 1 W:n teholla viiden minuutin ajan, jolloin korkeintaan 1 % testierästä saa lauketa. No fire -testit tehdään 70 °F (n. 22 °C) ja 225 °F (n. 108 °C) lämpötiloissa. All fire -virta on minimivirta, jolla ulosheittopanos aina laukeaa. Virtapulssin kesto minimivirralla on 50 millisekuntia, jolloin testierästä vähintään 99 % laukeaa. All fire -testit tehdään -80 °F (n. -62 °C), 70 °F (n. 22 °C) ja 225 °F (n. 108 °C) lämpötiloissa. (PacSci EMC s.a.)

3.1 Silppu

Silppu on omasuojaheite, jota käytetään vastatoimena etenkin tutkahakuisiin ohjuksiin. Silpun levitessä ilmaan se muodostaa suuren pilven, joka heijastaa tutka-aallot takaisin lähteeseen ja luo useita vääriä kohteita sekä vaikeuttaa tutkaohjatun ohjuksen lukittumista todelliseen kohteeseen. Silppu koostuu pienistä ja ohuista säikeistä, jotka on päällystetty sähköä johtavalla materiaalilla. Silput voivat olla esimerkiksi alumiini- tai sinkkipäällysteistä lasi- tai hiilikuitua. (Fish 2022.)

Yksittäinen silppu voi sisältää miljoonia yksittäisiä säikeitä. Kuvassa 5 on esimerkki silpusta, joka sisältää useita eri silppupituuksia. Silpun pituudella vaikutetaan taajuusalueeseen, johon voimakkain tutkaheijastus aiheutuu.



Kuva 5. Eri silppupituuksia sisältävä silppuheite (Eletronic Countermeasure (ECM) 2016)

3.2 Soihtu

Soihdut ovat omasuojaheitteitä, joiden tarkoitus on toimia vastatoimena infrapunasäteilyn havaitsemiseen perustuviin ohjuksiin. Soihdut palavat tyypillisesti vain muutaman sekunnin ajan. Soihdun palaessa sen tarkoitus on tuottaa voimakkaampi, mutta samalla aaltopituudella oleva lämpöjälki kuin suojattavalla kohteella. Kun soihtu laukaistaan koneesta, se tuottaa voimakasta lämpösäteilyä, jonka tarkoituksena on houkuttaa ohjus lukkiutumaan palavaan soihtuun alkuperäisen kohteen sijasta. (Shining s.a.)

Soihtuja on useita eri tyyppejä ja niissä käytetään useita eri materiaaleja. Käytettävän soihdun valinta riippuu useista tekijöistä, kuten vastapuolen käytettävissä olevista ohjuksista, lentokorkeudesta ja tehtävän erityisvaatimuksista. Jokaisella soihdulla on ainutlaatuiset ominaisuudet, jotka tekevät siitä sopivan erilaisiin tilanteisiin.

Yksinkertaisin ja yleisin soihtutyyppi on ns. MTV-soihtu. MTV-soihtu koostuu magnesiumista, teflonista ja vitonista. MTV-soihtu palaa erittäin kuumana, hetkellinen lämpötila voi olla jopa yli 1500 °C (kuva 6).



Kuva 6. NH90 laukaissut soihtut. (Viitala 2018)

4 STAATTINEN SÄHKÖ

Aineen tai kappaleen staattinen varautuminen syntyy, kun siihen muodostuu varausylimäärä. Staattinen varautuminen tapahtuu materiaalien välisestä kosketuksesta, irtoamisesta tai nesteiden ja hiukkasia sisältävien kaasujen liikkeen johdosta. Staattisen varauksen suuruuteen vaikuttaa mm. aineet ja aineiden sähkönjohtavuus. Myös ulkoinen sähkökenttä voi aiheuttaa staattista varautumista. Johtavasta aineesta varaus purkautuu helposti ja eristeestä varaus ei liiku yhtä helposti. (VTT s.a.)

Kaikki ilma-alukset kärsivät sähköstaattisesta varautumisesta, kun ne lentävät ilmassa. Sähköstaattista varausta ei havaita useimmissa ilma-aluksissa, sillä varaus purkautuu lentokoneen laskeutumisen yhteydessä ennen kuin kukaan koskettaa lentokonetta ja maata samanaikaisesti. Helikopterin tapauksessa ilma-alus voidaan kuitenkin lastata ja purkaa sen leijunnassa, jolloin maahenkilöstö, joissakin tapauksissa myös lentomiehistö, voi joutua vakaviin vaaratilanteisiin staattisen sähkön purkautuessa. Leijuvan helikopterin jännite voi olla hyvinkin yli 100 000 voltia ja sen sähköisesti varastoitunut energia lähestyy tappavaa tasoa. (Pechacek ym. 1985.)

Helikopterin varautuminen syntyy, kun erilaiset materiaalit ja hiukkaset ilmassa joutuvat kosketuksiin toistensa kanssa. Helikopterin toimintaympäristössä tavallisesti esiintyviä hiukkasia ovat pöly, hiekka, lumi tai sade. Myös moottoreiden pakokaasut aiheuttavat helikopterin varautumista. Hiukkasten osuessa helikopteriin tai sen pyöriviin osiin, helikopteri varautuu. (Born ym. 1972.)

Varautumisen suuruus riippuu materiaaleista, massasta ja kokonaispinta-alasta, johon hiukkaset osuvat. Varautumisessa syntyvät virrat ovat keskimäärin pienempiä kuin 50 mikroampeeria. Rankkasateessa tai voimakkaassa lumisateessa voi helikopteriin latautua positiivista tai negatiivista varausta, jolloin virrat ovat jopa luokkaa 300 mikroampeeria. Suurimmat raportoidut virrat rankkasateella ovat olleet jopa 0,5 mA. (Born ym. 1972.)

Testit ovat osoittaneet, että helikoptereiden varautuminen on monimutkainen ilmiö, jossa osa tärkeistä muuttujista ei ole hallittavissa. Helikopterin leijuessa

esimerkiksi hiekkaisen maaston päällä, mitattu jännite vaihtelee. Myös kahden nimellisesti identtisen helikopterin varautuminen samanlaisiin potentiaaliin, mutta vastakkaisella polariteetilla, on mitattu leijuessa puhtaan kiitotien yllä samanaikaisesti. (Pechacek ym. 1985.)

Ainoa varma tapa tehdä helikopterista turvallinen sähköstaattisen varautumisen suhteen, lastauksen ja purkamisen aikana, on purkaa helikopterin varaus maapisteeseen (Pechacek ym. 1985). Kaikki toimenpiteet, joilla vähennetään helikopterin sähköstaattista varautumista, kuten purkamalla varaus maahan ennen helikopterin lastausta tai purkua, vähentäisi varmasti todennäköisyyttä vaaratilanteille (Born ym. 1972).

Helikoptereiden sähköisen varautumisen ongelma voidaan jakaa kolmeen perusalueeseen. Ensinnäkin loukkaantuminen helikopterin lastausta tai purkua suorittavalle maahenkilöstölle. Toiseksi itse lastattavan tai purettavan materiaalin mahdollinen vaurioituminen purkausvirran seurauksena. Kolmanneksi ulkoisen aseistuksen ennenaikainen räjähdys tai polttoaineilmaseosten syttyminen staattisen varauksen purkautumisesta johtuvien valokaarien läheisyydessä. (Born ym. 1972.)

5 STAATTISEN SÄHKÖN PURKAUKSELTA SUOJAUTUMINEN

ESD:llä (Electrostatic discharge) tarkoitetaan staattisen sähköpurkausta. Staattisen sähköpurkaus on staattisen sähkövarauksen purkautumisesta johtuva ilmiö, jossa sähkövaraus siirtyy kosketuksen tai staattisen sähkökentän indusoimana kahden eri sähköstaattisessa potentiaalissa olevan kappaleen välillä. ESD-suojauksella tarkoitetaan keinoja, joilla pyritään hallitsemaan sähköstaattisia purkauksia. Sähköstaattisen varauksen purkautuminen tapahtuu kahden varautuneen kappaleen koskettaessa toisiaan. (Yleiselektronikka s.a.)

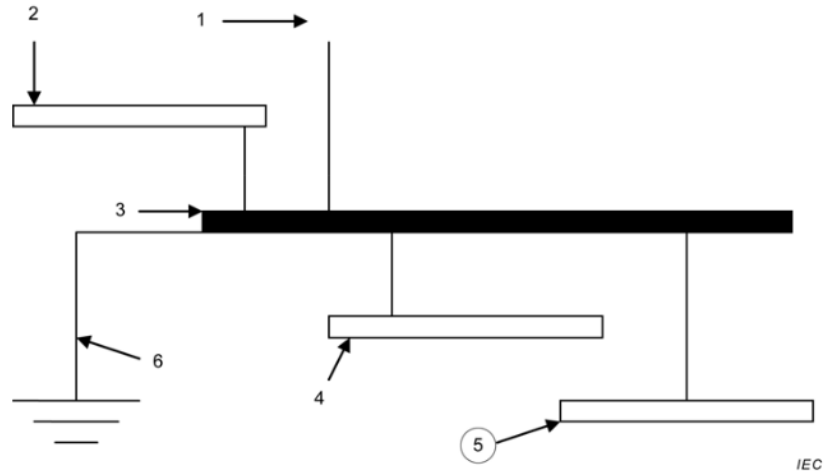
ESD:itä pyritään suojautumaan, sillä sähköstaattinen purkaus voi aiheuttaa toimintahäiriöitä, vahingoittaa elektroniikan komponentteja tai johtaa jopa tulipalo- tai räjähdysvaaraan kemianteollisuudessa tai räjähteiden kanssa toimiessa. ESD:itä suojautuminen tapahtuu pääasiassa johtamalla eri kappaleiden staattiset varaukset maadoituspisteeseen. Johtamalla staattiset varaukset

maadoituspisteeseen staattinen sähkö ei purkaudu laitteeseen, vaan se purkautuu hallitusti maapotentiaaliin vahingoittamatta laitteita tai aiheuttamatta toimintahäiriöitä. (Yleiselektroniikka s.a.)

Standardi SFS-EN 61340-5-1 (2016, 6) sisältää staattisen sähkön (ESD) hallintaohjelman suunnitteluun, perustamiseen, toteuttamiseen ja ylläpitoon tarvittavia vaatimuksia. Sotilaallisten sekä kaupallisten organisaatioiden kokemuksiin perustuvat vaatimukset ESD-hallintaohjelman perustamiseen sisältyvät standardiin. Yhtenä ESD-hallintaperiaatteena on välttää purkausta varautuneesta, johtavasta kohteesta ESD-herkkään osaan. Lentokoneessa tai laivalla tämä tehdään liittämällä tai kytkemällä sähköisesti kaikki ympäristön johteet, henkilöt mukaan lukien, keinotekoiseen maahan. Kuvattu liitäntä luo potentiaalitasapainon kaikkien johtavien esineiden ja henkilöiden välille. Standardi ei koske sähköisesti sytytettäviä räjähtäviä laitteita.

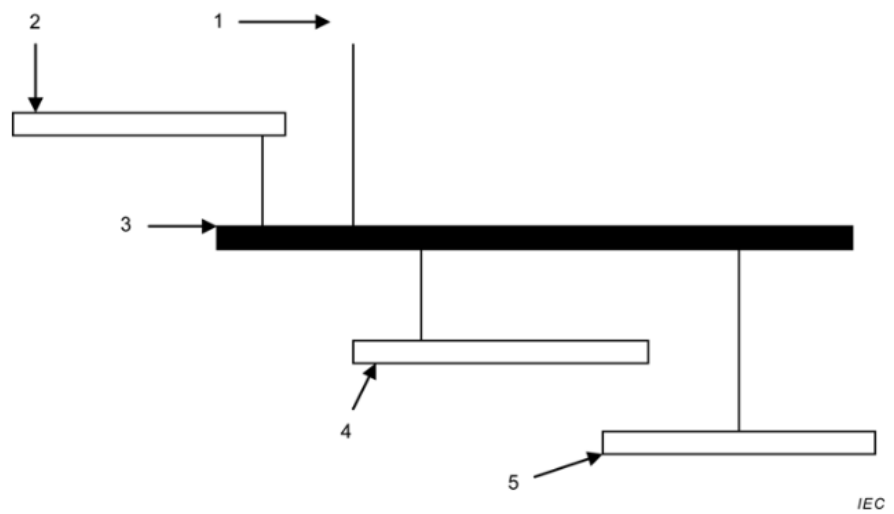
ESD-vaurioiden välttämiseksi on potentiaalierot tasattava ESD-herkkien osien ja niiden kanssa kosketuksiin joutuvien tekijöiden kesken. Kaikki tarvikkeet, jotka joutuvat kosketuksiin ESD-herkkien laitteiden kanssa ja pystyvät johtamaan sähköä, on yhdistettävä toisiinsa sähköisesti potentiaalierojen eliminoinemiseksi tai kytkettävä maahan. Esimerkiksi henkilöt, kalusteet, liikkuvat laitteet ja automatisoidut käsittelylaitteet voivat joutua kosketuksiin ESD-herkkien osien kanssa. (SFS-EN 61340-5-1: 2016, 13.)

Potentiaalierojen tasaaminen ja maahan kytkeminen voidaan tehdä kolmella eri tavalla. Käytettäviä tapoja ovat suoja- tai toiminnallinen maadoitus (kuva 7) tai potentiaalitasaus (kuva 8). Suojamaadoitus on suositeltavin tapa, mikäli se on käytettävissä. Suojamaadoituksessa ESD-osat ja maadoitetut henkilöt kytketään suojamaahan. Toiminnallisessa maadoituksessa maadoitusjohtimena voidaan käyttää esimerkiksi maadoituspaalua, joka mahdollisuuksien mukaan on yhdistetty suojamaahan. Potentiaalitasausta käytetään, mikäli maadoituskiskoa ei ole käytettävissä. ESD-suojaus toteutetaan kytkemällä kaikki ESD-hallintatarvikkeet toisiinsa yhteisen liitäntäpisteen kautta. (SFS-EN 61340-5-1: 2016, 13.)

**Selite**

- 1 Maadoitusranneke (ranneke ja maadoitusjohto)
- 2 Työtaso
- 3 Yhteinen maapiste
- 4 Matto
- 5 Lattia
- 6 Suojamaa tai toiminnallinen maa (jos käytetään toiminnallista maata, se on liitettävä suojamaahan)

Kuva 7. Suojamaalla tai toiminnallisella maalla suojaus (SFS-EN 61340-5-1: 2016, 14)

**Selite**

- 1 Maadoitusranneke (ranneke ja maadoitusjohto)
- 2 Työtaso
- 3 Yhteinen liitännätpiste
- 4 Matto
- 5 Lattia

Kuva 8. Potentiaalitasausjärjestelmä (SFS-EN 61340-5-1: 2016, 14)

6 NH90-HELIKOPTERIN STAATTINEN VARAUTUMINEN

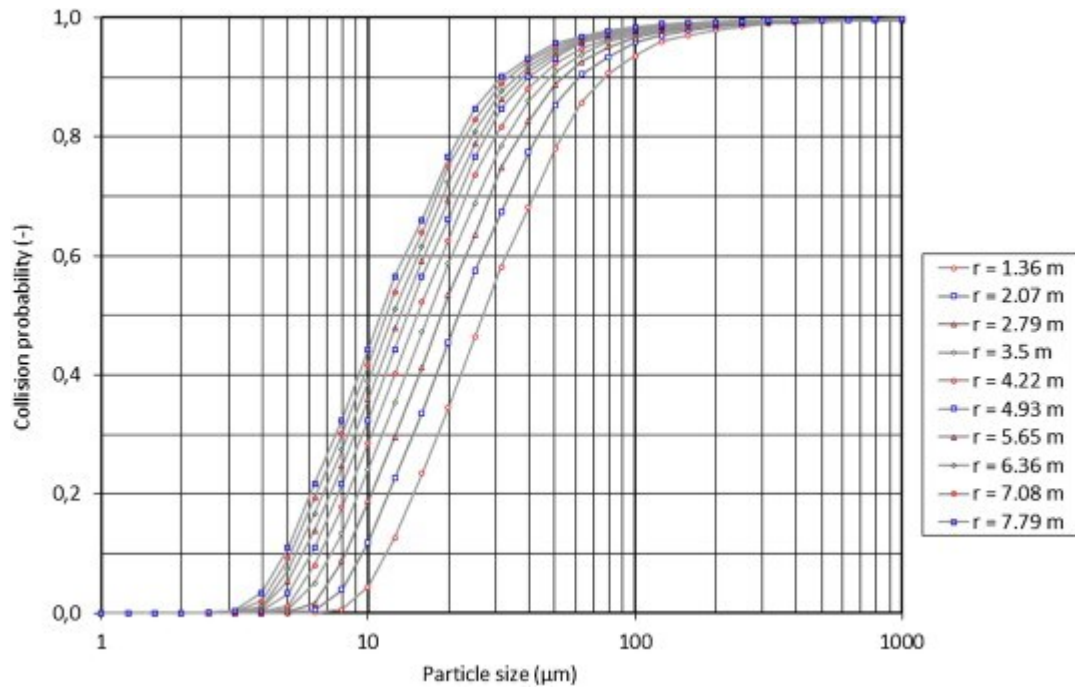
Puolustusvoimien helikoptereista vain NH90-kalustossa on käytössä oma-suojaheitteet. Tutkimus käsittelee täten vain NH90-kaluston omasuojaheitteiden lataamista ja siihen vaikuttavia tekijöitä. NH90-helikopterin sähköstaattista varautumista on tutkittu Teknologian tutkimuskeskus VTT:n ja Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen toimesta.

Teknologian tutkimuslaitoksen tutkimuksessa suoritettiin NH90-helikopterin sähköstaattisen varautumisen mittauksia ja niiden vaikutusta kuljetettavien tuotteiden turvallisuudelle. Keskeisiä kysymyksiä tutkimuksessa olivat komposiittirunkoisen NH90-helikopterin varautumisominaisuudet verrattuna metallirunkoisiin helikoptereihin sekä lataustasot tyypillisissä käyttötilanteissa ja ilmasto-olosuhteissa Pohjois-Euroopassa. (Salmela ym. 2012.)

Tutkimusta varten mallinnettiin helikopterin sähköstaattista varautumista. Mallinnuksessa esitelty malli rajoittuu kiinteiden hiukkasten, kuten lumihietaleiden, tarkasteluun. Helikopterin roottoreiden pyöriessä hiukkaset osuvat roottoreiden pintaan. Kiinteä hiukkanen voi latautua kolmella eri tavalla. Roottoriin osuva hiukkanen voi kimmota takaisin ilmavirtaan, mutta lyhyen kosketuksen aikana hiukkasen ja roottorin pinnan välillä voi tapahtua varauksen siirtoa, minkä seurauksena hiukkanen varautuu. On myös mahdollista, että törmäävä hiukkanen pyörii roottorin pinnalla ennen kuin se kimpoaa takaisin ilmavirtaan. Tällöin varauksen siirtoon vaikuttavaa pintaa ja varautumisaikaa on enemmän. Kolmas vaihtoehto on se, että roottoriin osuva hiukkanen liukuu jonkin matkaa pintaa pitkin ja varautuu sen vaikutuksesta. Todellisuudessa hiukkasen ja roottorin pinnan väliset kosketukset ovat todennäköisesti em. vaihtoehtojen yhdistelmiä. Hiukkaset kuljettavat sähkövirtaa roottorista ja siten helikopteri voi latautua. Kuljetetun varauksen määrä riippuu useista tekijöistä, kuten hiukkasten lukumäärästä, kokojakaumasta ja nopeudesta, roottoreiden nopeudesta sekä roottoreiden ja hiukkasten pintaominaisuuksista. (Salmela ym. 2012.)

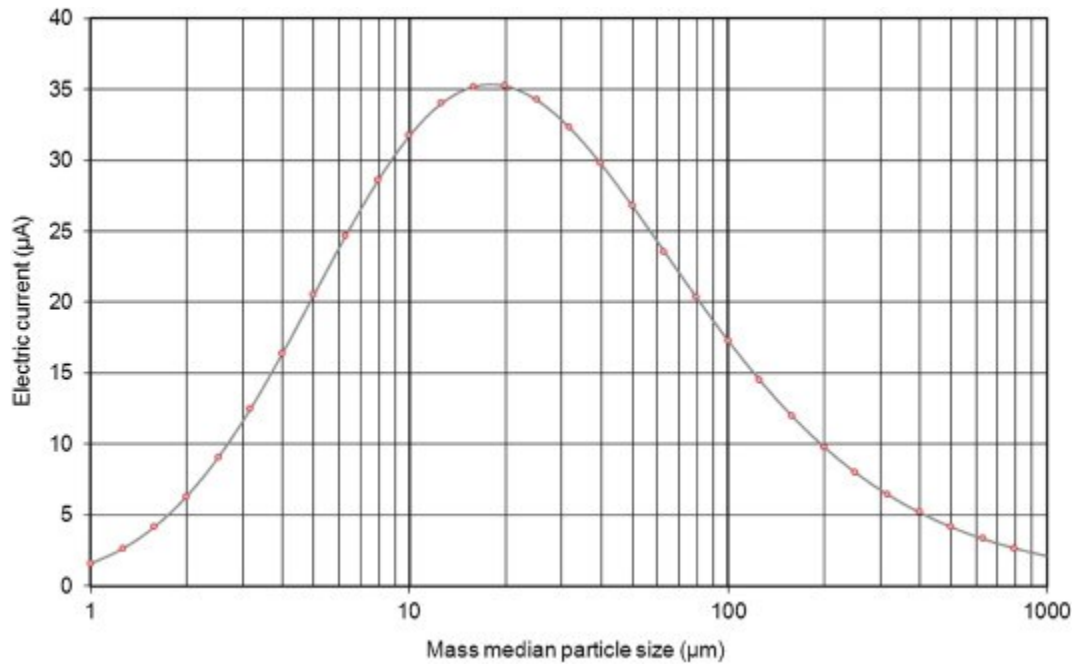
Nopeus, jolla ilma sekä ilmassa olevat hiukkaset ja roottorin lavan johtoreuna osuvat toisiinsa, riippuu etäisyydestä roottorin keskipisteestä. Asettamalla roottorin sisähalkaisijaksi R_s 2 m, ulkohalkaisijaksi R 16,3 m, jakamalla roottori 10 yhtä pitkäksi elementiksi, asettamalla roottorin kierrosluvuksi 256 rpm

ja olettaen, että hiukkaset jakautuvat ilmassa tasaisesti, on mahdollista laskea törmäystodennäköisyys roottorin lapaan (kuva 9). Mallin mukaan alle $2\ \mu\text{m}$:n hiukkaset eivät törmää roottorin siiven kanssa, eivätkä siten vaikuta merkittävästi helikopterin lataukseen. (Salmela ym. 2012.)



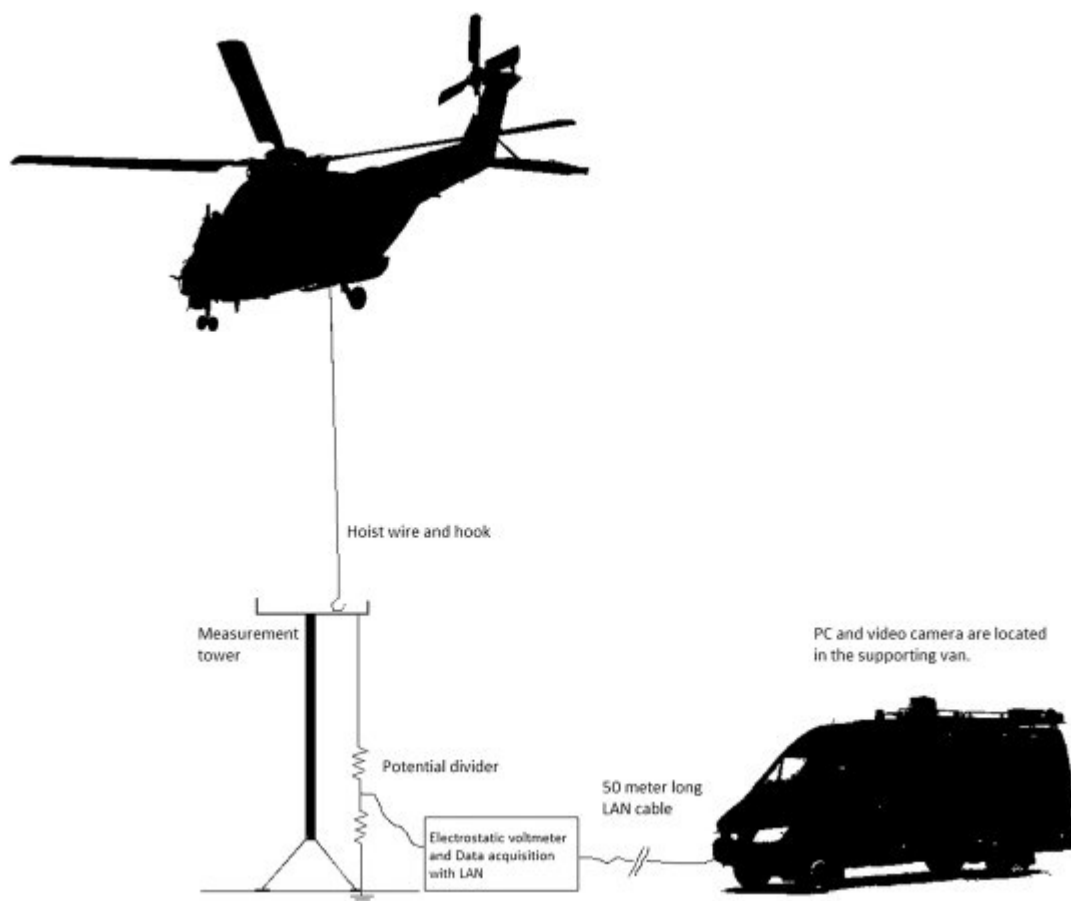
Kuva 9. Törmäystodennäköisyys hiukkaskoon mukaan (Salmela ym. 2012)

Mallinnuksessa tehtiin myös laskelmia varautuneiden hiukkasten aiheuttamasta sähkövirrasta. Laskelma on tehty olettaen hiukkasten massapitoisuudeksi $100\ \text{mg}/\text{m}^3$ ja jakauman geometriseksi keskihajonnaksi 2,5. Hiukkaskoon merkitystä varausvirralle on arvioitu kuvassa 10. Arvio on tehty vaihtelemalla massamediaanihiukkaskokoa välillä $1\text{--}100\ \mu\text{m}$. Laskelman mukaan hankalin partikkelikoko roottorin lavan varauksen kannalta on noin $20\ \mu\text{m}$. Hiukkaskokojakautumat massamediaanihiukkaskokoineen tällä alueella ovat hyvin todennäköisiä, kun helikopterin roottorivirta nostaa pölyä maasta tai hiekkaisesta maastosta. (Salmela ym. 2012.)



Kuva 10. Laskennan tulos varausvirrasta massamediaanihiukkaskoon funktiona (Salmela ym. 2012)





Tutkimus suoritettiin tilanteessa, jossa kuorma vinsattiin maahan leijuvasta helikopterista 40–80 jalan korkeudessa. Mittauksia varten kehitetyssä mittausjärjestelyssä (kuva 11) laskettiin helikopterin vinssillä maadoitusvaijeri mittaus-tornin eristettyyn metallikoriin. Korin jännite ja virta mitattiin sähköstaattisella potentiaalimittalaitteella ja sähkökentän voimakkuusmittalaitteella. Helikopterin hiilikuituisesta pääroottorin lavasta oli sähköinen yhteys vinssin koukkuun asti. (Salmela ym. 2012.)



Kuva 11. Kuva mittausjärjestelystä (Salmela ym. 2012)

Mittaustulokset on esitetty kuvassa 12. Helikopterin sähköstaattinen varautuminen oli vähäistä selkeällä säällä ja varautuminen aiheutui lähinnä helikopterin omista pakokaasuista. Helikopterin korkeimmat potentiaalit selkeällä säällä olivat alle 2 000 V. Vastaavasti helikopterin jatkuva varausvirta oli $0,3 \mu\text{A}$, kun laskennassa käytettiin 300 V jännitettä, joka mitattiin vinssin koukun ollessa kontaktissa mittaustornin mittauslevyyn. (Salmela ym. 2012.)

Helikopterin varautuminen oli voimakasta sankassa lumipyryssä. Helikopterin suurin mitattu potentiaali lumisateessa oli $-62\,000 \text{ V}$. Helikopterin jatkuva varausvirta oli $19,6 \mu\text{A}$, kun laskennassa käytettiin 20 000 V jännitettä. Vesisateessa helikopterin varautuminen oli jopa voimakkaampaa kuin lumisateessa. Helikopterin suurin mitattu potentiaali vesisateessa oli $-72\,300 \text{ V}$. Helikopterin jatkuva varausvirta oli $22,6 \mu\text{A}$, kun laskennassa käytettiin 22 500 V jännitettä. (Salmela ym. 2012.)

Weather conditions	Visibility	Photo of the current weather conditions	Maximum potential of the helicopter in different altitudes		
			40 ft	60 ft	80 ft
Temperature -9 °C and relative humidity 92% RH. Heavy snow	700 m		-62,000 V	-26,000 V (55 ft)	-24,000 V (70 ft)
Temperature -1.4 °C and relative humidity 62% RH. Clear weather	Over 50 km		-1100 V	1600 V	-
Temperature 13.5 °C and relative humidity 70% RH. Clear weather	Over 50 km		300 V	600 V	1300 V
Temperature 14.0 °C. Rain/mild rain			-38,200 V	-72,300 V	33,600 V

Kuva 12. Yhteenvetotaulukko leijuntamittauksista (Salmela ym. 2012)

Mittaustuloksia tukee tutkimusta varten tehty mallinnus. Korkeimmat mitatut potentiaalit olivat ilmasto-olosuhteissa, joissa ilmassa esiintyvät hiukkaset lumi- tai vesisateessa olivat suurempia kuin 2 µm. Mittausten perusteella on todennäköistä, että NH90-helikopterin varautuminen on voimakkainta kovalla sateella. Mittauksia ei suoritettu aavikko- tai hiekkamyrskyolosuhteissa, joissa varautuminen voi olla vieläkin voimakkaampaa. (Salmela ym. 2012.)

Tutkimuksen mukaan NH90-komposiittirunkoisen helikopterin ja metallirunkoisen helikopterin sähköstaattisen varauksen ominaisuuksissa ei ole merkittävää eroa. NH90-helikopterin kattava maadoitusverkko mahdollistaa latausvirtojen purkamisen samalla tavalla kuin metallirunkoisissa helikoptereissa. (Salmela ym. 2012.)

7 YMPÄRISTÖN SÄTEILYN VAIKUTUS RÄJÄHTEISIIN

Hazard of Electromagnetic Radiation to Ordnance (HERO) eli ympäristön elektromagneettisen säteilyn vaikutus räjähteisiin määritellään vaaraksi, joka voi aiheuttaa tahattomasti sähköisten räjähteiden tai muiden sähköisesti laukaistavien taisteluvälineiden laukeamisen sähkömagneettisen säteilyn aiheuttamana (Defense Acquisition University s.a.). Sähkömagneettista säteilyä aiheuttaa esimerkiksi tutkat, VHF-radiot, HF-lähettimet, puhelinverkot tai sähköiset omasuojajärjestelmät.

Sähkömagneettiselle säteilylle herkkiä sähköisiä sytyttimiä käytetään esimerkiksi ulosheittopanosissa, kaapelileikkureissa, rakettimeoottoreiden-, heittoistuimien- ja räjähteiden käynnistimissä. Sähkömagneettinen säteily voi aiheuttaa myös turvallisuuteen tai luotettavuuteen liittyviä seurauksia, kuten sähköisen sytyttimen toimimattomuuden. Yleisenä turvallisuusohjeena voidaan pitää kolmen metrin turvaetäisyyttä lähettävien antennien ja sähköisten sytyttimien välillä. (Defense Acquisition University s.a.)

8 SÄHKÖISTEN SYTYTTIMIEN SUUNNITTELU

Sähköisten sytyttimien suunnittelua on ohjeistettu Yhdysvaltain puolustusministeriön asiakirjassa MIL-DTL-23659F. Asiakirja säättää yleiset suunnitteluvaatimukset ja testaustavat sähköisille sytyttimille. Testausohjelman tarkoituksena on määrittää sähköiset ominaisuudet, mekaanisten ominaisuuksien luotettavuus, mittausarvot ja tuotteiden ympäristöolosuhteiden kestävyys (MIL-DTL-23659F 2010.)

Sähköiset sytyttimet testataan asiakirjan mukaan itsenäisinä sytyttiminä ilman sytyttimien ympärillä olevia muita osia. Sähköisten sytyttimien tulee olla turvalisia käsitellä, kuljettaa, varastoida sekä käyttää eikä niiden ominaisuudet saa heikentyä elinjakson aikana turvallisuuden kannalta vaaralliselle tasolle. Asiakirja ei sisällä radiotaajuuksien herkkyyksivaatimuksia tai -testejä. (MIL-DTL-23659F 2010.)

Asiakirjan mukaan sytyttimien sähköisiä ominaisuuksia tulee testata mm. minuutin ajan eristävyysominaisuuksilta 500 V jännitteellä kaikkien pinniyhdistelmien väliltä, viiden minuutin no fire -testillä sekä vähintään 50 millisekunnin

all fire -toimintatestillä. Tuotteille on asetettu myös yleisiä suunnitteluvaatimuksia sekä erilaisia toimintaympäristön aiheuttamia testaus vaatimuksia. (MIL-DTL-23659F 2010.)

Suunnitteluvaatimuksen mukaan 28 voltin jännitteellä laukaistavien sytyttimien tulee kestää yhden ampeerin virta, yhden watin teholla, viiden minuutin ajan laukeamatta. Sytyttimien tulee myös kestää 25 000 voltin staattisen varauksen purkaus laukeamatta ja niiden tulee pysyä toimintakykyisinä purkauksen jälkeen. Jäännösjännitteeltä (stray voltage) sytyttimet tulee testata 100 milliampeerin pulsseilla vähintään 2000 kertaa, pulssin pituuden ollessa 300 millisekuntia ja taajuuden ollessa kaksi pulssia sekunnissa. (MIL-DTL-23659F 2010.)

Asiakirjassa on myös tunnistettu HERO-ongelma. Asiakirjassa määritellyt yhden watin ja yhden ampeerin suunnitteluvaatimukset eivät ratkaise HERO-ongelmaa. Suunnitteluvaatimukset kuitenkin toimivat keinona vähentää riskejä sähköisten sytyttimien laukeamiselle vääristä sähkölähteistä, kuten sähkömagneettisesta säteilystä. (MIL-DTL-23659F 2010.)

9 TUTKIMUSTULOKSET

Tutkittava aihe oli erittäin mielenkiintoinen ja tutkimusta varten syvennyttiin laajasti aiheeseen liittyvään materiaaliin. Materiaalia haettiin laajasti verkosta ja erityisesti korkeakoulun kirjaston hakukonetta sekä finna.fi-palvelua käytettiin asiakokonaisuuden ymmärtämiseksi. Hakuja suoritettiin sekä suomeksi että englanniksi. Hakusanoina käytettiin mm. seuraavia sanoja sekä niiden yhdistelmiä: helikopteri, omasuojajärjestelmä, omasuojaheitteet, silppu, soihtu, staattinen sähkö, NH90, helicopter countermeasures, aircraft countermeasures, Hazard of Electromagnetic Radiation to Ordnance, stray voltage, stanag, hot refuel, forward rearming and refueling.

Puolustusvoimien tutkimusrekisteristä löytyi myös aiheeseen liittyviä tutkimuksia. Täysin vastaavaa tutkimusta ei löytynyt aihekokonaisuuteen perehtyessä, mutta omasuojajärjestelmiin liittyvät tutkimukset tukivat kokonaisuuden ymmärtämistä. Puolustusvoimien tutkimusrekisteristä löytyvät työt ovat rajattu tutkimuksen ulkopuolelle tutkimusluvan ja tutkimuksen rajausten mukaisesti.

Julkisista lähteistä aiheeseen liittyviä tutkimuksia oli myös saatavilla. Johnny Heikellin väitöskirja aiheesta *Electoric warfare self-protection of battlefield helicopters: a holistic view* antoi myös laajasti ymmärrystä elektronisen sodankäynnin kokonaisuudesta. Eri tutkimuksiin perehtymällä löytyi myös useita lähteitä omaa tutkimusta varten.

9.1 Huomioitavat asiat turvalliseen kuumalataamiseen

Omasuojaheitteiden ja polttoaineen täydennyksillä moottoreiden käydessä pyritään minimoimaan helikopterin maassaoloaikaa. Helikopteri on haavoittuvimmillaan ollessaan maassa ja kuumatankkauksella sekä -latauksella maassaoloaika lyhenee ja helikopteri on nopeammin käytettävissä varsinaiselle tehtävälle. Toimenpiteet sisältävät kuitenkin riskejä ja niiden minimoimiseksi henkilöstön on tunnettava riskit ja osattava toimia turvallisilla toimintatavoilla.

NATO:n mukaan helikoptereiden taktinen aseistuksen ja polttoaineen täydennyspaikka (Helicopter tactical arming and refueling point) tuottaa turvallisen ja nopean keinon helikopterin täydennyksille. Täydennyspaikat jaetaan liikkuvaan polttoaineen täydennyspaikkaan (Forward refuelling point FRP) ja liikkuvaan aseistuksen ja polttoaineen täydennyspaikkaan (Forward arming and refuelling point FARP). Liikkuva polttoaineen täydennyspaikka (FRP) sisältää polttoaineen, ovikonekivääreiden ja elektronisen sodankäynnin laitteiden täydennykset, joihin omasuojaheitteet kuuluvat. Aseistuksen täydennykset puolestaan tarkoittavat esimerkiksi ohjusten ja rakettien täydennyksiä.

Omasuojaheitteiden kuumalataukselle on periaatteessa kaksi toimintatapamallia. Toiminta voi tapahtua samalla fyysisellä paikalla tai eri toiminnot voidaan jakaa eri täydennyspisteisiin. Molemmilla toimintatavoilla on omat vahvuutensa ja heikkoutensa.

Ensimmäisessä toimintatapamallissa helikopteri laskeutuu liikkuvalla täydennyspaikalle ja omasuojaheitteiden kuumalataus suoritetaan erikseen omalla paikallaan ennen polttoaineen kuumatankkausta. Tässä toimintatavassa etuna on omasuojajärjestelmän varmistaminen ja mahdollisten räjähtämättömien heitteiden tunnistaminen ennen siirtymistä kuumatankkauspaikalle sekä mah-

dollisten häiriöiden poisto omalla turvallisella paikalla ennen polttoaineen jakopaikkaa. Toimintatapamallin heikkoutena voidaan pitää liikkuvan tankkauspaikan koon ja henkilöstömäärän kasvattamista erillisten toiminnallisten pisteiden lisääntymisestä johtuen.

Toisessa toimintatapamallissa helikopteri laskeutuu suoraan liikkuvalle täydennyspaikalle. Polttoaineen ja omasuojaheitteiden täydennys tapahtuu fyysisesti samassa paikassa. Toimintatapa mahdollistaa samanaikaiset täydennystoimenpiteet polttoaine- sekä omasuojajärjestelmille. Toimintatapamallin heikkoutena voidaan pitää yhtäaikaisten toimintojen tapahtumista samalla paikalla, jolloin henkilöstöllä on työtehtäviä samassa paikassa samanaikaisesti ja tämä voi aiheuttaa vaaratilanteita.

Helikoptereiden sähköstaattista varautumista on tutkittu useilla konekalustoilla ja NH90-helikopterin varautuminen on verrattavissa metallirunkoisiin helikoptereihin. Varautumisen kannalta vaarallisimmat ympäristöolosuhteet ovat myös testeissä tunnistettu ja varautumisen purkamiseen tulee kiinnittää huomiota kuumatankkauksen ja -lataamisen yhteydessä. Ilman staattisen varautumisen purkamista mahdollisuudet vaaratilanteisiin kasvavat.

NATO käyttää varautumisen purkamiseen erillisiä maadoitustankoja, jotka lyödään maahan riittävän syväälle ja kaikki osapuolet liitetään siihen potentiaalierojen tasaamiseksi. Tämä voi kuitenkin olla erittäin vaikeaa jäisissä olosuhteissa toimiessa ja teoriassa kaikkien osapuolien toisiinsa liittäminen on riittävä toimintatapa hallitsemattomien sähkövarausten purkautumisen estämiseksi.

Jäännösjännite tulee myös huomioida ennen omasuojaheitteiden kuumalatausta. Jäännösjännite voidaan tarkastaa helikopterista ennen latausta, mikäli erilliset mittauslaitteet ovat saatavilla. Jäännösjännitteen mittaamisella varmistetaan, ettei heittimissä ole jännitteistä kontaktia ja tällä tavoin varmistetaan siitä, ettei omasuojaheitteet laukea latauksen yhteydessä ei-toivotusti. Todellisuudessa kuitenkin todennäköisin kuumalataustilanne olisi tilanne, jossa mittauslaitteita ei ole saatavilla.

Jäännösjännitteen testauskulttuuri vaihtelee eri valtioissa. Toiset valtiot suorittavat jäännösjännitteen mittauksen ennen jokaista omasuojaheitteiden latausta, toiset suorittavat mittaukset vain määräaikaishuolloissa. Jäännösjännitteen muodostuminen on kuitenkin ympäristön säteilystä ja konekalustosta kiinni, joten nämä tekijät tulee huomioida kuormalataamisen yhteydessä.

Omasuojajärjestelmässä on myös itsenäisiä turvallisuustoimintoja. Lähtökohtaisesti omasuojajärjestelmä tulee kytkeä off-tilaan ja päävarmistuskytkin safe-asentoon laskeutumisen yhteydessä. Paino pyörillä -kytkin kytkee sähköisen yhteyden omasuojaheitteiltä sekä järjestelmässä on myös mekaaninen varmistuspinni, joka katkaisee kaiken sähköisen yhteyden omasuojaheitteiden ulosheittopanosilta.

NH90-kaluston osalta tulee myös huomioida polttoaineen painetankkausliittimen ja omasuojaheitteiden fyysinen sijainti. Painetankkauksessa polttoaineletkun liittymispiste helikopteriin on hyvin lähellä helikopterin oikeanpuoleisten omasuojaheitteiden sijaintia. Helikopterin polttoaineen täydennys ja omasuojaheitteiden lataus helikopterin oikealla puolella tulisi lähtökohtaisesti suorittaa eri aikaan riskien minimoimiseksi.

9.2 Laskutoimitukset

Staattisen varautumisen purkautumisen ulosheittopanoon kohdistuva energiamäärä voidaan määrittää yhtälöstä 1.

$$E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2 \cdot R_e / (R + R_e) \quad (1)$$

jossa	E	energian määrä	[J]
	C	kapasitanssi	[F]
	U	jännite	[V]
	R_e	sytytyslangan vastus	[Ω]
	R	purkausvastus	[Ω]

Lasketaan yhtälöstä sähköenergian määrä, kun ulosheittopanosen kapasitanssiksi asetetaan 500 pF, jännitteeksi suunnitteluvaatimuksen mukainen 25 000 V, sytytyslangan vastukseksi 1 Ω ja purkausvastukseksi 500 Ω .

$$E = \frac{1}{2} \cdot 500 \text{ pF} \cdot (25\,000 \text{ V})^2 \cdot \frac{1}{500+1} = 0,31 \text{ mJ}$$

Ulosheittopanosien kynnystehoiksi on ilmoitettu 1,95 W 500 ms pulssilla ja 11,2 W 5 ms pulssilla. Arvoilla energian määräksi saadaan 980 mJ 500 ms pulssille ja 56 mJ 5 ms pulssille. Yhtälöstä laskettu staattisen varauksen purkautumisesta aiheutuva energiamäärä 0,31 mJ on moninkertaisesti alle kynnystehojen mukaisten energiamäärien.

NH90-helikopterin staattisen varautumisen määrä lennon aikana on suurempi kuin sähköisten ulosheittopanosien suunnittelussa käytetty 25 000 voltin staattisen varauksen purkausmäärä. Varaus kuitenkin puretaan helikopterista ennen lataustoimenpiteiden aloittamista laskutelineiden renkaiden sekä maadoitusketjujen avulla.

Lasketaan yhtälöstä sähköenergian määrä suurimmalla NH90-helikopterista mitatulla potentiaalilla -72 300 V muiden arvojen pysyessä ennallaan.

$$E = \frac{1}{2} \cdot 500 \text{ pF} \cdot (-72\,300 \text{ V})^2 \cdot \frac{1}{500+1} = 2,6 \text{ mJ}$$

Yhtälöstä laskettu energiamäärä 2,6 mJ alittaa myös kynnystehojen mukaiset energiamäärät moninkertaisesti. Yhtälössä käytetty jännitteen määrä -72 300 voltia on mitattu helikopterin ollessa ilmassa. Helikopterin ollessa maassa helikopterin varautuminen on huomattavasti pienempää, sillä potentiaali tasataan maadoitusten kautta ja roottoritason läpi kulkeva ilmassa on pienempi kuin helikopterin ollessa ilmassa. Helikopterin suurimman potentiaalimukaisen energiamäärän purkautuminen hallitsemattomasti on äärimmäisen epätodennäköistä, kun helikopteri on maassa ja laskutelineiden maadoitukset toimivat.

9.3 Työturvallisuus

Työturvallisuuslakia ei sovelleta puolustusvoimien toimintaan seuraavasti:

”Palveluksessa olevan henkilön, asevelvollisen tai naisten vapaaehtoista asepalvelusta suorittavan henkilön puolustusvoimien määräyksestä tai palveluksessa suorittamaan palvelusohjelmaan merkittyyn tai muuhun erikseen määrättyyn koulutussuunnitelmien mukaiseen sellaiseen sotilaalliseen harjoitukseen ja koulutukseen sekä siihen välittömästi liittyvään työhön, jonka pääasiallinen tarkoitus on sotilaallisessa toiminnassa tarvittavien erityisten valmiuksien harjoittaminen” (Työturvallisuuslaki 23.8.2002/738 6 § 11.5.2007/562).

Omasuojaheitteiden lataaminen puolustusvoimien palveluksessa ei kuulu työturvallisuuslain piiriin. Toiminta perustuu puolustusvoimien omiin määräyksiin ja ohjeisiin. Puolustusvoimien omat määräykset ja ohjeet on rajattu tutkimuksen ulkopuolelle luvun 1.3 rajaukset mukaisesti.

Riskienhallinnan näkökulmasta omasuojaheitteiden lataaminen sisältää useita vaaratekijöitä. Vaaratekijöiden hallintaan oleellisesti vaikuttaa henkilöstön koulutus. Koulutuksella voidaan varmistua, että tehtävää suorittavat henkilöt ymmärtävät kuumalatauksen riskit ja toimivat niiden minimoimiseksi. Koulutuksen tulisi olla suunnattu ensisijaisesti helikopterin miehistölle, sillä omasuojaheitteiden kuumalataus voi tulla eteen ainoastaan, kun helikopterin miehistö on tehtävällä.

Omasuojaheitteiden kuumalataaminen vaatii tarkoituksenmukaisen vaatetuksen ja välineet, jotka turvaavat henkilöstön turvallisen työskentelyn. Kuumalatausta suorittavan henkilöstön minimivarustuksen tulee kattaa silmien, kasvojen, korvien ja ihon peittävän suojauksen, jotka kuuluvat helikopterimiehistön jo olemassa oleviin varusteisiin.

Polttoaineen sekä omasuojaheitteiden täydennykset moottorit käyden tulisi suorittaa samojen turvallisuusohjeistusten mukaisesti. Polttoaineen kuumatankkaus on ollut käytössä jo vuosia valmistajan ohjeistuksien mukaisesti ilman onnettomuuksia. Polttoaineen kuumatäydennyksien riskit pätevät myös omasuojaheitteiden kuumatäydennyksiin ja kuumatankkauksen ohjeistuksen tulisi toimia kuumalatauksen ohjeistuksen pohjana.

10 POHDINTA

Tutkimuksen lähtötilanteessa NH90 -kaluston omasuojaheitteet ladattiin valmistajan ohjeistuksen mukaisesti helikopterin ollessa virrattomana. Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään mitä asioita tulisi huomioida, jotta omasuojaheitteet voidaan ladata turvallisesti kuumatankkauksen yhteydessä.

Alatutkimuskysymyksillä pyrittiin hakemaan ymmärrystä laajemmin aiheeseen. Ensimmäisessä alatutkimuskysymyksessä pyrittiin ymmärtämään mahdollisuudet tahattomalle omasuojaheitteen detonaatiolle. Toisessa alatutkimuskysymyksessä etsittiin mahdollisia muita kuin teknisiä esteitä omasuojaheitteiden kuormalataamiselle. Alatutkimuskysymyksillä pyrittiin huomioimaan päätutkimuskysymyksen tekninen puoli sekä mahdolliset Puolustusvoimien ulkopuoliset määräykset.

10.1 Vastaukset tutkimuskysymyksiin

Luvussa 9.1. vastattiin tutkimuksen päätutkimuskysymykseen. NH90-helikopterin omasuojaheitteiden lataaminen kuumatankkauksen yhteydessä tulee aina sisältämään riskejä, mutta riskit ovat hallittavissa. Omasuojaheitteiden turvallisessa kuormalatauksessa tulee huomioida vähintään seuraavat asiat:

- Helikopterin staattisen varautumisen tulee olla purettu tai potentiaalierojen tulee olla tasattu jokaisen kuormalataukseen osallistuvan tekijän kesken ennen kuormalataustoimenpiteiden aloittamista.
- Ympäristön elektromagneettisen säteilyn vaikutuksen ja siitä mahdollisesti aiheutuvan jäännösjännitteen määrän tulee olla turvallisella tasolla.
- Omasuojaheitteiden ja polttoaineen täydennyspisteiden aiheuttamat päällekkäiset toiminnot tulee yhteensovittaa ja ohjeistaa toimintatapamalleissa.
- Helikopterin omat turvallisuustoiminnot tulee olla käytössä ja helikopterimiehistön tulee noudattaa turvallisia toimintatapamalleja.

Luvussa 9.2 vastataan ensimmäiseen alatutkimuskysymykseen. Omasuojaheitteet laukaistaan sähkötoimisilla ulosheittopanoilla, joiden suunnittelussa on huomioitu 25 000 V staattisen varauksen purkautumisen kestäminen. Tutkimuksessa suoritettavat laskutoimitukset tukevat ulosheittopanojen staattisen varauksen purkautumisen kestämistä.

Luvussa 9.3 käsiteltiin toinen alatutkimuskysymys. Työturvallisuusmääräykset perustuvat Puolustusvoimien omiin määräyksiin ja ohjeisiin. Puolustusvoimien omat määräykset ja ohjeet ovat rajattu tutkimuksen ulkopuolelle tutkimuksen rajausten mukaisesti.

10.2 Tutkimuksen luotettavuus

Tutkimus perustui julkisesti saatavilla olevaan tietoon tutkimuksen rajausten mukaisesti. Tutkimus ei perustu Puolustusvoimilla käytössä oleviin omasuojaheitteisiin, vaan kansainvälisiin standardeihin sekä -ohjeisiin. Yksityiskohtaisia ominaisuuksia Puolustusvoimien käytössä olevista omasuojaheitteistä ei ollut käytettävissä tutkimukseen, mutta suunnitteluvaatimuksia voidaan pitää yleispätevinä länsimaissa.

Tutkimusta varten käytiin läpi laajasti aiheeseen liittyvää aineistoa. Tutkimuksen suorittajan teoreettisen osaamisen lähtötaso omasuojaheitteisiin liittyen ennen tutkimusta oli välttävä ja opinnäytetyöprojekti laajensi ymmärrystä elektronisen sodankäynnin kokonaisuudesta. Työ on tarkastettu Puolustusvoimien toimesta ennen raportin luovutusta koululle. Tutkimuksessa ei havaittu asiavirheitä tarkastusten yhteydessä.

10.3 Jatkotutkimusehdotukset

Tutkimuksen mukaan omasuojaheitteiden kuumalataamiselle ei ole suoranaisia esteitä. Omasuojaheitteiden kuumalataaminen on normaali toimenpide useissa länsimaissa. Suomen liittyttyä NATO-maaksi omasuojaheitteiden kuumalataamiseen liittyvien STANAG-asiakirjojen käsittely olisi suositeltavaa osana kuumalataamisen mahdollistamista.

Kuumatankkaukseen verrattaessa omasuojaheitteiden kuumalataamisessa tulee lisäksi huomioida NH90-helikopterin ominaisuudet jäännösjännitteen muodostumiselle. Jäännösjännitteen mittaaminen ennen jokaista omasuojaheitekasetin asennusta on käytännössä mahdotonta etenkin taistelutilanteessa. NH90-helikopterin ominaisuuksien mukaisesti jäännösjännitteen muodostuminen tulee testata luotettavuuden takaamiseksi esimerkiksi kertaluontoisena tarkastuksena runkoyksilökohtaisesti ja aina järjestelmään suoritettavan laitevaihdon yhteydessä.

Puolustusvoimien omien määräysten ja ohjeiden vaikutus kuumalataustoimintaan tulee varmistaa ennen kuumalataustoiminnan aloittamista. Toiminnan aloittamista varten Maavoimien ilmailun olisi suositeltavaa ottaa selvää muiden käyttäjämaiden toimintatapamalleista omasuojaheitteiden kuumalataukseen liittyen.

LÄHTEET

Born, G.J., Burke, W.F. & Durbin, E.J. 1972. A Fundamental study of static electric phenomena (Applied to helicopters). WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD0750617.pdf> [viitattu 14.2.2024].

Defense Acquisition University. s.a. Radiation Hazards. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.dau.edu/cop/e3/resources/radiation-hazards> [viitattu 8.3.2024].

Electronic Countermeasure (ECM). 2016. Wordpress. WWW-blogi. Saatavissa: <https://basicsaboutaerodynamicsandavionics.wordpress.com/2016/03/29/electronic-countermeasure-ecm/#comments> [viitattu 1.2.2024].

Euroopan komission asetus (EU) N:o 965/2012

Fish, T. 2022. An in-depth look at military aircraft countermeasures. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.key.aero/article/depth-look-military-aircraft-countermeasures> [viitattu 28.1.2024].

Haapanen, A. 2003. Helikopterit Suomessa 1953–2003. Tampere: Apali Oy.

Juhila, K. s.a. Laadullisen tutkimuksen ominaispiirteet. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/mita-on-laadullinen-tutkimus/laadullisen-tutkimuksen-ominaispiirteet/> [viitattu 18.3.2023].

Jyväskylän yliopisto. 2021. Aiheeseen perehtymien. WWW-dokumentti. Päivitetty 27.9.2021. Saatavissa: <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/tutkimusprosessi/aiheeseen-perehtyminen> [viitattu 16.3.2023].

Leinonen, R. 2020. Tapaustutkimus – tutkimus tapauksesta. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://spoken.fi/tapaustutkimus/> [viitattu 18.3.2023].

MIL-DTL-23659F. 2010. Detail specification initiators, electric, general design specification for. WWW-dokumentti. Päivitetty 10.6.2010. Saatavissa: <https://dd85acd6f8ce3a9adb81-6e072f012ed548dddb04b05fe0859bb9.ssl.cf2.rackcdn.com/> [viitattu 24.2.2024].

NASA. 2014. What is a helicopter? WWW-dokumentti. Päivitetty 21.5.2022. Saatavissa: <https://www.nasa.gov/learning-resources/for-kids-and-students/what-is-a-helicopter-2-grades-5-8/> [viitattu 17.1.2024].

NATO. 2022. Standardization. WWW-dokumentti. Päivitetty 14.10.2022. Saatavissa: https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_69269.htm [viitattu 16.3.2023].

NH90. 2024. Airbus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.airbus.com/en/products-services/helicopters/military-helicopters/nh90> [viitattu 20.01.2024].

PacSci EMC. s.a. The Beginner's Guide To No-Fire & ALL-FIRE Sensitivity. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://psemc.com/solutions/all-fire-no-fire-sensitivity/> [viitattu 1.2.2024].

Pechacek, R.E., Greig, J.R. & Murphy, D. P. 1985. Electrostatic charging of the CH-53E helicopter. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA161936.pdf> [viitattu 14.2.2024].

Puolustusvoimat. s.a. Kevythelikopteri Hughes MD500. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://puolustusvoimat.fi/kalusto#/asset/view/id/235> [viitattu 20.01.2024].

Puolustusvoimat. s.a. Kuljetushelikopteri NH90 TTH. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://puolustusvoimat.fi/kalusto#/asset/view/id/236> [viitattu 20.01.2024].

Raunio, J. 2000. Helikopterin rakenteet ja järjestelmät. Helsinki: Oy Edita Ab.

Salmela, H., Kalliohaka, T., Lehtimäki, M. & Harkoma, M. 2012. Electrostatic charging of the NH90 helicopter. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S0304388612001982?via%3Dihub> [viitattu 16.2.2024].

SFS-EN 61340-5-1. 2016. Staattinen sähkö. Osa 5-1: Elektronisten komponenttien suojaaminen staattiselta sähköltä.

Shining. s.a. Flare vs. Chaff. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.cnshining.com/chaff-vs-flare> [viitattu 09.02.2024].

Space Center Houston. 2019. A look back at the Wright brothers' first flight. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://spacecenter.org/a-look-back-at-the-wright-brothers-first-flight/> [viitattu 22.01.2024].

Tara Aerospace AD. s.a. Impulse cartridge TM-BBU-35. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.tara-aerospace.com/TM-BBU-35> [viitattu 30.01.2024].

Tekniikka&Talous. 2022. Leonardo da Vinci ideoi helikopterin, mutta vasta 1936 saksalaiset saivat sen lentämään – Tältä näytti yli 120 km/h kiitänyt Focke-Wulf Fw 61. Saatavissa: <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/leonardo-da-vinci-ideoi-helikopterin-mutta-vasta-1936-saksalaiset-saivat-sen-lentamaan-talta-naytti-yli-120-km-h-kiitanyt-focke-wulf-fw-61/5cec1ba9-750b-4b29-a233-23671b2da385> [viitattu 22.01.2024].

Työturvallisuuslaki 23.8.2002/738.

Viitala, J. 2018. ILMAVOIMIEN JUHLALENTONÄYTÖS – MODERNIA MENOJA JA SOIHTUJEN KYLVÄMISTÄ. Saatavissa: <https://siivet.fi/harrasteilmailu/ilmavoimien-juhlalentonaytos-modernia-menoa-ja-soihtujen-kylvamista/> [viitattu 09.02.2024].

Vilka, H. 2005. Tutki ja kehitä. Helsinki: Tammi.

VTT. s.a. Staattisen sähkön vaarojen tunnistaminen ja hallinta prosessiteollisuudessa. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://virtual.vtt.fi/virtual/staha/koulutusaineisto.pdf> [viitattu 14.02.2024].

Yleiselektroniikka. s.a. Mitä on ESD?. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.yeint.fi/uutiset/esd-suojaus> [viitattu 10.02.2024].