

**RF-simulaattorin  
tulevaisuudessa**

**käytettävyys**

**tutkakoulutuksessa**

Pro gradu -tutkielma

Yliluutnantti

Pauli Vallius

Sotatieteiden maisterikurssi 4

Maasotalinja

Huhtikuu 2015

## Tiivistelmä

Kurssi Sotatieteen maisterikurssi 4	Linja Johtamisjärjestelmälinja
Tekijä Yliluutnantti Pauli Vallius	
Opinnäytetyön nimi <b>RF-simulaattorin käytettävyys tutkakoulutuksessa tulevaisuudessa</b>	
Oppiaine, johon työ liittyy Sotatekniikka	Säilytyspaikka Maanpuolustuskorkeakoulun Kurssikirjasto
Aika Huhtikuu 2015	Tekstisivuja 60 Liitesivuja 2
<b>TIIVISTELMÄ</b> Tässä tutkimuksessa selvitettiin, että radiotaajuisen simulaattorin käytettävyys tutka-ELSO-koulutuksessa nyt ja tulevaisuudessa on hyvä. Tutkimuskysymykseen vastattiin teemahaastattelujen pohjalta. Varsinaista päätutkimuskysymystä varten selvitettiin koulutuksen asettamat vaatimukset simuloinnille. Tutkimuksessa muodostettiin vaatimukset simulaattorille eri koulutustasoilla. Tasoja muodostui viisi: perustaso, ELSO-tasot 1 ja 2, maastoharjoittelu sekä tutkaverkkojen koulutus. Vaatimukset joka tasolla määrittivät neljää suurta kokonaisuutta: maalit, häirinnät, tutkaympäristö ja koulutusympäristö, jotka edelleen jakautuivat useisiin vaatimuksiin. RF-simulaattorin hyviä puolia ja ongelmakohtia verrattiin vaatimuksiin. Lopuksi pohdittiin vielä tutkatekniikan mahdollisesti tulevia kehityskohteita ja niiden vaikutuksia RF-simulaattorin suorituskykyyn. Näin päästin tämän tutkimuksen tulokseen, että vaikka RF-simulaatiolla on rajoituksia, pääasiassa ilmaitse toimittaessa, jolloin vaihtelevan suuntatiedon tuottaminen on ongelmallista, on sen suorituskyky monilla alueilla erittäin hyvä nyt ja lähitulevaisuudessa.	
Avainsanat Tutkat, simulointi, ELSO, elektroninen suojaus, elektroninen vaikuttaminen	

## Sisällysluettelo

Tutkimuksessa käytettävät käsitteet:.....	
1. Johdanto .....	1
Tutkimusongelma ja tutkimuksen tavoitteet .....	10
Käsittelytapa ja rajaukset .....	11
2. Teoria .....	15
Haastattelu tutkimusmetodina.....	16
Tutkatekniikka.....	19
Liittyvät järjestelmät .....	24
Käytettävyystudkimus.....	25
Aikaisempi tutkimus ja lähdeaineisto .....	26
3. Koulutusvaatimukset.....	27
ELSO-koulutus taso 1 ja 2 .....	29
Maastoharjoittelu.....	33
Tutkaverkkojen asettamat koulutusvaatimukset .....	35
Koulutusvaatimusten yhteenveto .....	39
4. RF-simulaattorin käytettävyys .....	42
Vaativuustaulukon tarkastelu .....	42
Yhteenveto vaatimusten täyttämistä RF-simulaattorilla.....	50
Vaihtoehtoja RF-simulaattorille.....	52
5. Pohdinta ja yhteenveto .....	54
Operaattorin merkitys jatkossa.....	54
Nykyiset ja tulevat järjestelmät.....	55
Passiivinen tutka .....	56
Jatkotutkimukset .....	60
LÄHDELUETTELO.....	
Liite 1 – Tutkien lohkokaaviot.....	

## Kuvat

Kuva 1. Keskiarvontutka KEVA 2010. [17] .....	2
Kuva 3. Tarpeiden ja ominaisuuksien vaikutus simulaattorin vaatimuksiin. ....	10
Kuva 4. Tutkimuksen teoreettinen viitekehys.....	13
Kuva 5. Yksinkertaistettu tutkan lohkokaavio ja kaapelikytkentäpaikat. ....	20
Kuva 6. Yksinkertaistettu tasoantennilla varustetun tutkan lohkokaavio ja kaapelikytkentäpaikat.....	20
Kuva 7. Käytettävyyden elementit – Tehtävä, suorituskyky, teknologia. ....	25
Kuva 8. ITO05 ilmatorjuntajärjestelmä, jossa maalinosoitustutka. [21] .....	35
Kuva 9. Ohjusvene Hamina, ylimpänä 3d-tutkan antenni. [12].....	38
Kuva 10. Passiivinen tutka, jossa VHF- ja UHF-alueen antennit (2006). [3].....	57
Kuva 11. Passiivisentutkatestin lähettimien ja vastaanottimen sijainnit. [3].....	57
LIITE 1. Kuva tutkan lohkokaaviosta, jossa tavallinen antenni. 2013. [1].....	
LIITE 1. Kuva tutkan lohkokaaviosta, jossa tasoantenni. 2014. [16] .....	

## Taulukot

Taulukko 1. Koulutustasojen vaatimukset .....	40
Taulukko 2. Koulutustasovaatimukset ja niiden toteutettavuus RF-simulaattorilla. ....	50

## **Tutkimuksessa käytettävät käsitteet:**

**Aaltoputki** = Suurilla taajuuksilla, yleensä yli 1GHz, käytetty siirtojohtotyyppi [14].

**Aktiivinen häirintä** = Häirintä, joka on toteutettu joko itse tuotetulla signaalilla (esim. kohina) tai muokkaamalla ja vahvistamalla tutkan lähettämää signaalia (toistinhäirintä) [14].

**Digitaalisimulaattori** = Tässä tutkimuksessa: laite tai järjestelmä, jolla digitaalista dataa hyödyntämällä luodaan (halutussa määrin) todellisuutta vastaava maalitilanne ja kaikuympäristö tutkan tulkittavaksi.

**Doppler** = Dopplerilmiö eli ilmiö kun liikkuvasta kohteesta heijastuu sähkömagneettista säteilyä. Tällöin säteilyn taajuus ja vaihe muuttuvat ja liikkuva kohde voidaan erottaa liikkumattomista tai sen nopeus todeta.

**DRFM** = Digital Radio Frequency Memory eli digitaalinen radiotaajuusmuisti. Käytetään esimerkiksi valemaalihäirinnöissä: häiritävän tutkan signaali tallennetaan DRFM:n ja voidaan lähettää takaisin.

**ELSO** = Elektroninen sodankäynti

**ELSO-kouluttaja** = Henkilö, joka kouluttaa erityisesti ELSO-alan asioita.

**ELSO-taso 1** = Tässä tutkimuksessa: Alemman tason ELSO-harjoittelulla saavutettava osaamisen taso (henkilö tunnistaa ja tiedostaa ELSO vaikutuksen).

**ELSO-taso 2** = Tässä tutkimuksessa: Ylemmän tason ELSO-harjoittelulla saavutettava osaamisen taso (henkilö osaa analysoida ja väistää ELSO vaikutusta).

**ELSO-ympäristö** = Elektronisensodankäynnin toimintaympäristö eli sähkömagneettinen toimintaympäristö.

**ELSU** = Elektroninen suojaus

**Harhauttavat häirinnät** = Häirintöjä, joilla hyötysignaalin havaitseminen yritetään estää tuottamalla riittävästi virheellisiä hyötysignaaleja (kuten valemaalihäirintä).

**Harjoituslaite** = Laite, joka on vain harjoittelua varten eikä täysin vastaa oikeaa laitetta.

**Häirintä ilmateitse** = Häirintää, joka saapuu tutkalle etenemällä ilmassa – erona häirinnälle joka tehdään kaapelikytkennässä.

**Hävittäjäutka** = Tässä tutkimuksessa: hävittäjään kiinteästi kuuluva utka (pl. korkeudenmittaustutka).

**Kaapelikytkentä** = Tässä tutkimuksessa: järjestely, jossa tutkan normaalin maalinkäsittelyketjun johonkin kohtaan kytkeydytään kaapelilla siten, että tutkan lähetettä voidaan valvoa ja tutkalle voidaan syöttää generoitua paluukaikua ja antennin asentotietoa. Esimerkiksi RF-kaapelikytkennässä kytkeydytään tutkan aaltoputkilinjastoon lähettimen/vastaanottimen ja antennin väliin, ja tutkalle syötetään sen lähetyspulssia vastaavia pulsseja ja antennin suuntatietoa. Näin tutkalle muodostuu maali haluttuun suuntaan.

**Kapeikonvalvontatutka** = Tutka, jonka valvonta-alueita ovat erityisesti saariston kapeikot ja kohteina liikkuvat pinta-alukset (havaitseminen perustuu doppler-ilmiöön).

**Kohde** = Fyysinen laite tai objekti, joka tutkan pitäisi havaita (lentokone, alus, ihminen..)

**Kohina(häirintä)** = Häirintälähete, joka nostaa vastaanottimen kohinatasoa (ja siten heikentää signaali/kohina –suhdetta) tavoitteena peittää hyötysignaali.

**Koulutusvaatimukset** = Tässä tutkimuksessa: Ne asiat mitä utka-ELSO-koulutuksen onnistumiseksi vaaditaan.

**Koulutusympäristö** = Koulutettavaa ympäröivä toimintaympäristö. Sisältää koulutukseen liittyvät järjestelyt, mutta myös muut koulutettavaan vaikuttavat seikat.

**Käytettävyys** = Tässä tutkimuksessa: laitteen tai järjestelmän suorituskyky tavoitteiden saavuttamiseksi. (Havainnollistava esimerkki: 2014 ostetun kännykän käytettävyys yhteydenpitoon vuonna 2024 = 2014 ostetun kännykän suorituskyky yhteydenpitoon vuonna 2024.)

**Live ympäristö** = Tässä tutkimuksessa :Todellinen tutkan mittausaseman ympäristö.

**Luokkasimulaattori** = Luokkaolosuhteissa käytettävissä oleva simuloitu harjoitteluympäristö (missä operaattori voi harjoitella tutkan kaltaisella laitteella).

**Lähihäirintä** = Häirintää, joka toteutetaan hyvin läheltä kohdetta. Esimerkiksi tykillä ammuttavat tai erikoisjoukkojen viemät lähihäirintälähettimet. Häirinnän kesto on yleensä melko lyhyt.

**Lähikatve** = Tutkan ympärille muodostuva maastosta johtuva alue, johon utka ei voi mitata.

**Maali** = Tutkan muodostama havainto kohteesta, jonka perusteella kohdetta voidaan seurata.

**Maaligeneraattori** = Tässä tutkimuksessa: laite tai järjestelmä, jolla luodaan maaleja tutkan tulkittavaksi.

**Maalinosoitustutka** = Tutka, jonka tehtäviin erityisesti kuuluu kaikkien sen alueen maalien seuraaminen ja niiden paikkatiedon välittäminen asejärjestelmille.

**Maastoharjoittelu** = Tässä tutkimuksessa: Tutkan omassa toimintaympäristössä ja kokoonpanossa tapahtuva harjoittelu.

**Maastovalvontatutka** = Tutka, jonka havaittavina kohteina ovat liikkuvat ajoneuvot ja henkilöt (havaitseminen perustuu doppler-ilmiöön).

**Omasuojahäirintä** = Häirintää, jonka tarkoitus on suojata ainoastaan häiritsijää itseään. Esimerkiksi kun lentokonetta seuraa aktiivinen tutkahakuinen ohjus, on silpun käyttö omasuojahäirintää, jolla lentokone häiritsee ohjuksen tutkaa.

**Operaattori** = Henkilö, joka käyttää tutkaa ja sen ominaisuuksia.

**Passiivinen häirintä** = Häirintä, jossa sirotetaan (heijastetaan) takaisin tutkan omaa lähetettä sitä elektronisin keinoin muokkaamatta (esim. silppu ja soppiheijastimet) [14].

**Passiivinen tutka** = Tutkajärjestelmä, joka määrittää kohteen paikan siitä heijastuneen säteilyn perusteella, mutta ei itse lähetä säteilyä

**Peittävät häirinnät** = Häirintöjä, joilla hyötysignaali yritetään peittää haittasignaaliin (kuten kohinahäirintä).

**Perushäirinnät** = Tässä tutkimuksessa: kohina ja valemaalihäirintä sekä R/VGPO

**Perustaso** = Tässä tutkimuksessa: Joukon omin toimenpitein saavutettava tutkankäyttötaito ja osaamistaso, josta voidaan edetä ELSO-koulutukseen.

**Pääkeila** = Suunta ja alue, johon antenni suuntaa suurimman osan tehostaan. Tutka havaitsee sen pääkeilassa olevat kohteet.

**Raakavideo** = Tutkan tuottama (video)kuva sen havaitsemasta kaikesta kaikutiedosta.

**RF-** = Radiotaajuinen- (Radio Frequency -). Tarkoittaa laitetta, joka toimii hyödyntämällä radiotaajuisia signaaleita.

**RF-simulaattori** = Tässä tutkimuksessa: laite tai järjestelmä, jolla RF-signaaleja hyödyntämällä luodaan (halutussa määrin) todellisuutta vastaava maalitilanne ja kaiku ympäristö tutkan vastaanotettavaksi.

**RGPO (VGPO R/VGPO)** = Range Gate Pull Off eli etäisyysportin varastaminen on häirintä, jolla pyritään estämään tutkan etäisyyslukitus tai VGPO (Velocity Gate Pull Off eli nopeusportin varastaminen) jolla pyritään estämään nopeuslukitus. Esimerkiksi ilmatorjunta-asejärjestelmälle tutkalla kohdetta osoitettaessa hävittäjä voi käyttää R/VGPO:ta).

**Saattohäirintä** = Häirintää, joka tehdään muun toiminnan mukana, samalta etäisyydeltä. Esimerkiksi ilmaoperaatiossa rynnäkköosaston mukana voi lentää erillinen saattohäirintäkone.

**Silppu** = Omasuojahäirintänä käytettävä heite, jonka tavoite on estää vihamielistä tutkaa näkemästä suojautuvaa kohdetta.

**Sivukeila** = Suunta ja alue, johon antenni suuntaa merkittävän osan tehoa, usein tahattomasti. Tutkan ei ole tarkoitus havaita sivukeiloissa olevia kohteita.

**Sivukeilahäirintä** = Häirintää, joka lähetetään vain tutkan pääkeilan osoittaessa pois päin häiritsijästä. Tavoitteena on sekoittaa häirinnän todellinen tulosuunta.

**Soveltavat häirinnät** = Tässä tutkimuksessa: kaikki peittävät ja harhauttavat häirinnät.

**Synteettinen raakavideo** = Käsitelty raakavideo: Raakavideo, jota on jonkin verran käsitelty.

**Tasoantenni** = Antenniryhmä, jossa säteilevät elementit ovat suoralla pinnalla. Tasoantenneihin liittyy nykyään lähes poikkeuksetta myös säteilykuvion sähköinen muokkaaminen (vaiheohjattu antenniryhmä) [14].

**Taustahäirintä** = Häirintää, joka tehdään muuhun toimintaan nähden kaukaa ("taustalta"). Esimerkiksi ilmaoperaatiossa taustahäirintäkone voi pysytellä kymmenien kilometrien päässä taistelevista koneista ja jopa yli sadan kilometrin päässä valvontatutkista.

**Tavallinen antenni** = Antenni, jonka säteilykuvio riippuu sen muotoilusta, ja jonka ominaisuuksia ei voida käytön aikana muuttaa [14].

**Tilannekuva** = Kokonaiskuva jonkin alueen maaleista ja niiden liikehinnästä. Yleensä koostuu usean tutkan tiedoista.

**Tulenojohtotutka** = Tutka, jonka tehtäviin erityisesti kuuluu tietyn maalin seuraaminen ja jatkuvasti kyseisen kohteen tarkan paikkatiedon välittäminen asejärjestelmälle.

**Tulevaisuus** = Tässä tutkimuksessa käsitellään erityisesti lähitulevaisuutta, n. vuosia 2017-2025



**Tutka** = Laite, joka jostakin kohteesta heijastunutta radiotaajuista säteilyä vastaanottamalla määrittelee tuon kohteen suunnan ja etäisyyden

**Tutkakoulutus** = Tässä tutkimuksessa: Tutkalla mittaamiseen ja tutkakuvan tulkintaan liittyvä koulutus ja erityisesti tähän liittyvä ELSO-koulutus

**Tutkasimulaattori** = Tässä tutkimuksessa: laite tai järjestelmä, jolla luodaan (halutussa määrin) todellisuutta vastaava maalitilanne ja kaikuympäristö tutkan tulkittavaksi.

**Tutkaverkko** = Kokonaisuus, johon kuuluu useita tutkia sekä keskus, josta näitä tutkia käytetään ja missä niiden tieto kootaan.

**Tutkaympäristö** = Tutkaa ympäröivä sähkömagneettinen toimintaympäristö. Voi olla todellinen tai keinotekoinen.

**Valvontatutka** = Tutka, jonka tehtäviin erityisesti kuuluu kohteiden havaitseminen ja seuraaminen kaukaa.

**Välke** = Ympäristön aiheuttamia, yleensä ei-toivottavia, tutkakaikuja (esim. maa-, meri- ja sadevälke) [14].

## 1. Johdanto

Käsittelen tässä luvussa puolustusvoimiin liittyvää tutkaympäristöä yleisesti ja esitän muutamia tulevaisuuteen liittyviä visioita. Tarkoituksena on luoda lukijalle mielikuva siitä, millaiseen ympäristöön ja mihin asioihin tutkat liittyvät. Yleisestä tutkaympäristöstä siirrytään kohti tutkaa käyttävän henkilön, tutkaoperaattorin, merkitystä tutkamaailmassa. Näin on tarkoitus muodostaa lukijalle kuva siitä, miten tutkaoperaattorin suorituskyky liittyy tutkien suorituskykyyn ja näin ollen miksi tutkimuksen aiheena oleva tutkasimulaattori, jolla operaattoreiden suorituskykyä voidaan parantaa merkittävästi, on oleellinen asia puolustusvoimille ja jopa puolustusvoimien suorituskyvylle tutkien suorituskyvyn kautta.

### Tutkimuksen tausta

Erilaisten tutkajärjestelmien hyödyntäminen on pitkään ollut merkittävä osa Puolustusvoimien suorituskykyä. Puolustusvoimien ensimmäinen tehtävä on Suomen sotilaallinen puolustaminen johon kuuluu mm. maa-alueen, vesialueen ja ilmatilan valvominen [18]. Toisessa maailmansodassa Helsingin suurpommitusten torjunnassa Saksasta 1943 hankituilla ilmavalvonta- ja tulenjohtotutkilla oli suuri merkitys [25]. Tänäkin päivänä tutkajärjestelmät tarjoavat ylivoimaisesti tehokkaimman tavan valvoa maa-, meri- ja ilmatilaa. Valvonnan lisäksi tutkilla on asejärjestelmätehtäviä (kuten maalinosoitus- ja seurantatutkat).

Tulevaisuudessa on mahdollista, että jonkinlaiset prosessoidut kuvausmenetelmät (LIDAR-kuvaus, monivärikuvaus, hajaspektrikuvaus) voivat tarjota vaihtoehtoja tutkavalvontaan. Kuitenkaan tällä hetkellä tutkajärjestelmien tarjoamaa suorituskykyä valvontatehtävissä ei voi korvata muulla teknologialla tai toiminnalla kustannustehokkaasti.



Kuva 1. Keskivalvontatutka KEVA 2010. [17]

Tutkilla toteutetaan jatkuvaa rajavalvontaa. Rajavalvontaa täydennetään mm. kameravalvonnalla ja partioinnilla (jalka-, meri- ja ilmapartiointi). Eri valvontamenetelmät täydentävät toisiaan, mutta millään ei voida täysin korvata toista. Esimerkiksi tunnistaminen on tehtävä, johon tutkajärjestelmä ei välttämättä pysty (vielä). Varmimmin tunnistaminen onnistuu partioimalla eli käymällä paikan päällä. (Kohteen löytämisen tasot: [22]) Tutkajärjestelmää ei tule suunnitella sellaiseen tehtävään, johon esimerkiksi partiointi soveltuu paremmin, koska tutkajärjestelmä ei tule kuitenkaan olemaan ainoa valvonnan väline.

Tutkista on tullut kiinteä taistelukentän osa muutenkin, kuin valvonnan välineenä. Jokaisesta nykyaikaisesta sotilaslentokoneesta löytyy tutka ja jokaisesta hävittäjästä erittäin monimutkainen ja monipuolinen tutka. Useat täsmäaseet toimivat tutkahakuisesti, kuten tällä hetkellä puolustusvoimien käytössä olevat ilmataisteluohjukset. Osassa järjestelmiä tutka ei ole keskeisin osa järjestelmän suorituskykyä tai se voi olla vain suorituskykyä tukeva alajärjestelmä. Tässä tutkimuksessa keskitytään valvonta-, maalinosoitus- ja

asejärjestelmätutkiiin pl. hävittäjätutkat. Hävittäjätutka on rajattu pois, kuten rajaukset osiossa tulee ilmi.

### Tutkat lähitulevaisuudessa

Puolustusvoimien käytössä olevia valvontatehtäviä voidaan jakaa maa-, meri- ja ilmavalvonnan lisäksi etäisyyksittäin: kauko-, keski- ja lähivalvonta [9]. Valvonnan lisäksi tutkajärjestelmän tehtävänä voi olla maalinosoitus. Toimintaympäristön rajoitteista johtuen maa- ja merivalvonnassa tutkilla toteutetaan vain lähivalvontaa (alle 100km). Tiukimpana rajoitteena on radiohorisontti, kun havaitsija ja havaittava molemmat ovat maan- tai merenpinnalla (sekä tietenkin maastonmuodot). Tämä huomioiden lentokoneesta voidaan kyllä valvoa maa- ja merialueita lähivalvontaa kauemmas, mutta se ei ole jatkuvaa.

Tutkavalvonnan kehittämiseksi on tutkien tehtävien kannalta kaksi vaihtoehtoa: joko päivitetään olemassa olevan tehtävän toteuttamiskykyä tai hankitaan kyky uuteen tehtävään. Uuden tehtävän tapauksessa voi olla vielä kaksi tilannetta: joko hankitaan suorituskyky johonkin yllä mainittuun tuttuun tehtävään tai muodostetaan uusi tehtävä, johon suorituskyky tarvitaan.

Jos muodostuisi tarve käyttää tutkaa johonkin täysin uuteen tehtävään, tulisi määritellä ja tehdä päätös siitä, onko meillä tarve saada tämä uusi suorituskyky. Esimerkkinä täysin uudesta alasta voitaisiin pitää avaruudenvalvontakykyä; tehtävänä seurata Suomen alueeseen vaikuttavia satelliitteja. Juuri tällä hetkellä Suomi ei itsenäisenä toimijana ole kovin aktiivinen satelliittitoimialalla. Lähitulevaisuudessa ei ole todennäköistä, että Suomella olisi merkittävää suorituskykyä satelliiteilla. Jossain kohtaa asia tulee kuitenkin olemaan ajankohtainen. Satelliittien haltijoiksi tulee paljon uusia toimijoita ja esimerkiksi satelliittiterrorismi voi muodostua käsitteeksi. Näin ollen voi olla mahdollista, että valtiolle katsotaan tarpeelliseksi omata sotilaallinen kyky valvoa avaruutta. Ehkä todennäköisempää on, että ensin esimerkiksi EU hankkisi oman avaruudenvalvontakyvyn. Käytännössä tällä hetkellä koko maailman avaruudenvalvonnasta vastaa USSTRATCOM:n (United States Strategic Command) alainen USSSN (United States Space Surveillance Network) [27].

Venäjällä on tietenkin oma kyky valvoa avaruutta [26], mutta se ei kata koko maailmaa. Euroopan avaruusjärjestökin valvoo avaruutta, mutta sen järjestelmien päätarkoitus on valvoa Maata ja satelliitteja uhkaavia meteoreja ja muuta ”romua” [5]. Todennäköisesti järjestelmä kykenee valvomaan satelliittejakin jossain määrin.

Nykyisiä suorituskykyjä parantavia hankkeita on parhaillaan valmistumassa, kuten Ilmavoimien keskivalvontakykyä parantava hanke KEVA 2010. Äskettäin valmistuneita suorituskykyä parantavia hankkeita ovat mm. Maavoimien ITO12 hanke ja siihen liittyvä AN/MPQ64F1 lähivalvontatutka sekä Merivoimien merivalvontakykyä parantanut Navielektro-hanke, jossa 1970-luvun FIKA tutkat korvattiin uusilla [19]. Vastaavia hankkeita voidaan nähdä vielä lisää jo 4-8 vuoden sisälläkin, mutta nykyiset Puolustusvoimien resurssit voivat hillitä hankkeiden etenemistä.

### Kriittiset kohteet Puolustusvoimissa

Tutkateknologian kriittisyyttä voidaan tarkastella Puolustusvoimien tehtävien, johon maa-, ilma- ja merialueen valvominen kuuluu, kautta. Tutkat ovat osa Puolustusvoimien valvonta ja tilannekuvan muodostuskykyä, mitä ei voi noin vain korvata millään.

Yksi kriittinen tekijä on kaluston määrä. Tutkaverkossa on jonkin verran päällekkäisyyttä ja liikkuvia tutkajärjestelmiämme voidaan kohdentaa paikkoihin, joista valvontakyky menetetään. Kaluston tuhoutuminen ja rikkoutuminen on ongelma, jota ei täysin voida ennakoida tai estää. Varsinkin kiinteiden kaukovalvontatutkien tai merivalvontatutkien tuhoutuminen kaukovaikutteisille aseille on odotettavaa. Puolustusvoimilla on riittävä määrä siirrettäviä tutkajärjestelmiä, jotta kriisiaikanakin riittävä tutkavalvontakyky voidaan saavuttaa. (Kriittisen siirrettävän kaluston riittävyyttä voitaisiin tutkia omassa turvaluokitellussa tutkimuksessaan.)

Toinen kriittinen tekijä määrän lisäksi on toimivuus. Yksi keskeinen toimivuuteen vaikuttava seikka on käyttöikä. Kun kaluston elinikä päättyy, sen ei katsota enää olevan määrävahvuudessa. Tällaisia hankkeita voi olla meneillään puolustusvoimien päävalvontajärjestelmissä 4-8 vuoden sisällä, vaikka kaukovalvontatutkien elinjaksopäivitys pitäisikin olla valmis 2015 aikana

[2]. Elinikään liittyvä suorituskyvyn päivittäminen on sinänsä kriittinen suorituskyky, mutta se on helposti ennakoitavissa.

Mielenkiintoisempi toimivuuteen liittyvä näkökulma on toimintaympäristön muutos. Tutkien osalta oleellisimpia toimintaympäristön muutoksia on kohteiden ominaisuuksien muuttuminen havaittavuuteen vaikuttavalla tavalla (häiveteknologian kehittyminen). Tätä aihetta on tutkittu runsaasti omissa tutkimuksissaan.

Toinen, osin ennakoitavissa oleva, toimintaympäristön muutos on sähkömagneettinen. Rauhan aikana tutkien sähkömagneettinen toimintaympäristö on selkeä, mutta kriisitilanteessa se voi muuttua täysin vastustajan tuottaman häirinnän takia. Täysin ei voida olla varmoja siitä, minkälaista häirintää vastustaja käyttää, mutta hyvin paljon siitä voidaan ennakoida. Häirintä on toimintaympäristön muutos, joka voi muuttaa tutkan suorituskyvyn täysin, mutta se on ennakoitavissa. Häirinnän aiheuttamaa toimintaympäristön muutosta ei kuitenkaan välttämättä ole otettu huomioon kaikkien valvontajärjestelmien osalta. Kun esimerkiksi sotilaallista kykyä tuotetaan siviilitutkilla, voi olla ettei sodanajan elektromagneettinen toimintaympäristö kuulu niiden toimialueeseen.

Häirityt olosuhteet toimintaympäristönä on kriittinen haavoittuvuus, joka on huomioitava tutkavalvonnan suorituskyvyssä. Niihin voidaan vastata kolmella tavalla: toimintatavoilla (tutkataktiikalla), teknologialla (tutkan suorituskyky > häirinnän suorituskyky) ja koulutuksella. Puolustusvoimien käytössä on useita tutkajärjestelmiä, joissa operaattorin taito käyttää laitetta vaikuttaa merkittävästi suorituskykyyn. Tämä on yksi selkeä kriittinen suorituskykytekijä, jota on vaikea tunnistaa rauhan ajan toimintaympäristössä. Tutkateknologia kehittyy siihen suuntaan, että käyttäjän tarvitsee tehdä ja osata entistä vähemmän käyttääkseen tutkaa. Se on erittäin hyvä asia, sillä uudet tutkajärjestelmät suoriutuvat automaattisesti oikein hyvin rauhan ajan toimintaympäristössä. Myös automaattiset elektronisen suojautumisen ominaisuudet ovat kehittyneet ja automaattiset tutkat selviytyvät häirinnästä paremmin, kuin osaamattoman operaattorin käyttämä tutka. Kehityksen huono puoli on se, että uusissa tutkajärjestelmissä käyttäjä ei välttämättä voi tehdä toimenpiteitä selvittääkseen häirityistä olosuhteista, vaikka osaisikin. Paras suorituskyky saadaan, kun

tutkassa on paljon ominaisuuksia ja automatiikkaa, mutta se mahdollistaa täysin myös käyttäjän haluamat toimenpiteet. Lisäksi operaattorilla on oltava korkea koulutustaso hyödyntääkseen laitetta.

Vielä kolmantena tekijänä toimintatapojen muutokset (omat ja vihollisen) voivat vaikuttaa tutkan toimintaympäristöön ja tutkalta vaadittaviin ominaisuuksiin. Esimerkiksi lennokkien käyttö ylipäättään on tuonut tutkille uusia vaatimuksia. Lennokit voisivat muodostaa uusia uhkia, joihin tutkajärjestelmämme eivät täysin vastaa. Arvioisin tämän olevan varsin ajankohtainen aihe 4-8 vuoden sisällä. (Esimerkiksi TRS-3D/16-ES, LÄVA tai MOSTKA 87M tutkien tarve ja kyky havaita häivelennokkeja?)

Tärkeimpiä tutkajärjestelmien kehittämiseen liittyviä kokonaisuuksia ovat juuri lennokkien ja niihin liittyvien toimintatapojen kehittyminen sekä sodanajan toimintaympäristön (sähkömagneettinen ympäristö) huomioiminen ja siinä selviytyminen.

### Operaattoreiden koulutus

Operaattoreita, eli tutkaa käyttäviä henkilöitä, ovat Suomessa varusmiehet, reserviläiset ja henkilökunta. Operaattoreina toimivat varusmiehet ovat pääosin ilmatorjuntakoulutettuja ja heitä koulutetaan maalinosoitus- ja tulenjohtotutkille, joilla he toimivat reserviläisinäkin. Tutka-asioissa varusmiehiä kouluttava henkilökunta operoi tietenkin samoja tutkia. Puolustusvoimissa henkilökunta tuottaa rauhanajan ilmatilannekuvaa tutkilla ja operoi mm. merivoimien alusten tutkia.

Suomessa ja useissa muissa maissa pidetään tutkaoperaattoreiden ammattitaitoa tärkeänä, kuten tutkija itse on käytännössä huomannut. Tutkaoperaattorin osaamisen tärkeyttä voitaisiin tutkia omassa tutkimuksessaan ja selvittää onko tutkaoperaattoreiden osaamisen tarpeelle tulevaisuudessa tulossa muutosta yhä automatisoituvien tutkajärjestelmien myötä.



Kuva 2. ITO12 järjestelmän operaattori ja työpiste (FDC – Fire Distribution Center). [10]

Yhtenä tärkeänä koulutusmenetelmänä tutkaoperaattoreiden osaamisen kehittämisessä on simulaattoriavusteinen koulutus. Simulaattoriavusteisessa koulutuksessa on kaksi tärkeää elementtiä 1) Koulutettava käyttää todellista omaa laitettaan ja 2) Koulutustilannetta voidaan täysin hallita ja se voidaan luoda samanlaiseksi jokaista operaattoria varten esim. arviointia silmällä pitäen. (Sähkömagneettisesti samanlaisen tilanteen luominen ilman simulaattoria on käytännössä mahdotonta.) Tällainen harjoittelumahdollisuus edellyttää käytännössä simulaattoria, joka syöttää tutkalle tietoa ympäristöstä siten, ettei tutkaa operoiva henkilö tiedä onko tutkan näkemä tilanne todellinen vai simuloitu.

Jatkuvasti kehittyvien tutkajärjestelmien harjoittelumooditkin kehittyvät. Tällä hetkellä useissa tutkissa on jo hyvin monipuolisia ohjelmistopohjaisia harjoittelumahdollisuuksia. Tämän tutkimuksen näkemys kuitenkin on se, että radiotaajuisia lähetteitä käyttävä simulaattori (RF-simulaattori) tarjoaa sellaista luotettavuutta ja aitoutta, jota pelkkä ohjelmallinen harjoitteluympäristö ei



mahdollista. Tästä syystä tämän tutkimuksen aiheena on juuri RF-simulaatio ja sen käytettävyys.

Puolustusvoimien käyttöön on tullut uusia tutkajärjestelmiä ja tutkavalvontakykyä kehitetään edelleen nyt ja tulevaisuudessa. Uudistuvat tutkajärjestelmät asettavat entistä suurempia vaatimuksia tutkasimulaattorille, mutta samoin asettaa tutkaosaamisen kehittyminen: kun osataan tehdä enemmän, osataan vaatiakin enemmän.

### RF-simulaattorin käyttökelpoisuus

Simulaattorijärjestelmän vaatimusmäärittely on mittava työ. Se voitaisiin jakaa useaksi tutkimustyöksi. Vaatimusmäärittelyn tekeminen kuitenkin edellyttää valmistelevaa työtä ja tietoa. Ensimmäiseksi selvitettäväksi kokonaisuudeksi tulisi valita aihe, joka parhaiten tukee hankinnan toteuttamista ja jonka tutkiminen on välttämätöntä. Tässä tutkimuksessa tehdään juuri vaatimusmäärittelyn pohjatyötä tekemällä tehtäväprofiilia.

Tämän tutkimuksen aiheeksi on valittu käyttökelpoisuuden tutkimus. Käyttökelpoisuuden, eli tässä tutkimuksessa käytettävyyden, toteamista varten on selvitettävä mihin simulaattoria halutaan käyttää (koulutusvaatimukset) sekä pohdittava millä eri vaihtoehdoilla tavoitteisiin voidaan päästä ja miten RF-simulaattori soveltuu niiden toteuttamiseen.

Tutkimuksessa yhdistetään tutkatekniikan tietoa tutkajärjestelmätietoihin tarkoituksena tuottaa tietoa tutkasimulaattorista. Lisäksi tarvitaan näkemystä tutkaoperaattoreiden kouluttamisesta. Tutkatekniikasta on olemassa enemmän kuin riittävästi tietoa. Tutkateknisen materiaalin haaste onkin materiaalin valtava määrä ja sen syvällisen ymmärtämisen vaikeus. Tutkaoperaattoreiden osalta Puolustusvoimissa ei ole määritelty kattavia koulutusvaatimuksia. Tästä syystä koulutusvaatimusten osalta jatkossa lähteenä toimivat simulaatiokoulutusta järjestävien kouluttajien haastattelut.

Tutkajärjestelmätiedon osalta julkista materiaalia käytössä olevista tutkista on vaikea löytää. Työn tietoturvaluokituksen kannalta ei voitaisikaan käyttää täsmällisiä tietoja. Toisaalta työssä on jossain määrin suuntauduttava

tulevaisuuteen ja vielä valmistamattomista tutkista ei tietenkään ole olemassa tietoja. Ylipäätään työssä olisi pystyttävä osaltaan ennustamaan tulevien tutkajärjestelmien suorituskykyä tekniikan kehitystrendien perusteella ja osaltaan käsittelemään olemassa olevien tutkajärjestelmien ominaisuuksia yleisellä tasolla, mutta riittävän tarkasti. Tärkeintä on paikantaa merkittävät ominaisuudet ja käsitellä niiden vaikutuksia tutkimuksen aiheeseen.

Näkemyksistä tutkasimulaattorista on organisaation asettamia vaatimuksia henkilöstön osaamiselle ja sitä kautta simulaattorilta odotettavalle kyvyille. Se on myös kokemusta harjoituksissa käytännön osoittamista vaatimuksista suoriutua sodanajan toimintaympäristössä. Nämä molemmat ovat lähdeaineiston kannalta haastavia aiheita. Organisaatiolla ei ole selkeitä vaatimuksia aiheeseen liittyen. Puolustusvoimien vaatimukset operaattoreiden tutkaosaamisesta tukevat rauhan ajan osaamista, mutta eivät välttämättä sodan ajan olosuhteita (koska vaatimukset eivät tällä hetkellä suoraan liity sodanajan sähkömagneettiseen toimintaympäristöön).

Puolustusvoimista kuitenkin löytyy henkilöitä joilla on käytännön kokemusta ja tietoa. Varsinaisia sotakokemuksia tutkateknisestä sodanajan ympäristöstä puolustusvoimissa tuskin on, mutta on paljon ammattilaisia, jotka harjoittelevat mahdollisimman hyvin sodanajan sähkömagneettista toimintaympäristöä muistuttavissa olosuhteissa (kuten vuosittainen ilmatorjuntaharjoitus, erilliset ELSO-harjoitukset ja ELSO-testaukset).

## Tutkimusongelma ja tutkimuksen tavoitteet

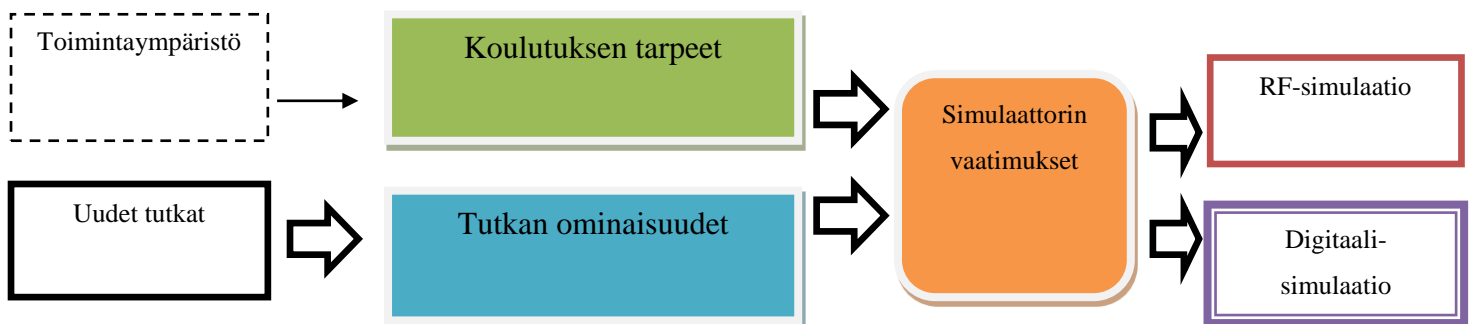
Pääkysymys:

- ”Mikä on RF-simulaattorin käytettävyys tutka-ELSO-koulutuksessa tulevaisuudessa?”

Alakysymys:

- ”Mitä vaatimuksia koulutus asettaa simuloinnille?”

Tässä tutkimuksessa selvitetään, minkälainen tutkasimulaattorin pitäisi olla. Tässä tutkimuksessa aihetta lähestytään koulutuksen asettamien vaatimusten pohjalta. Tutkasimulaattorikoulutukselle ei ole olemassa kirjattuja koulutusvaatimuksia ja se on tämän tutkimuksen ensimmäinen selvitettävä asia. Tämän tutkimuksen tarkoituksena ei ole esitellä tutkien kehittymistä, vaan peilata simulaattorikoulutuksen tarpeita tutkien ominaisuuksiin, jotka vaikuttavat simulaattorin vaatimuksiin.



Kuva 3. Tarpeiden ja ominaisuuksien vaikutus simulaattorin vaatimuksiin.

Auki kirjoitettuna tutkimuksen aihe on: Mikä on radiotaajuisen simulaattorin suorituskyky tutkamittaamisen ja tutkakuvan tulkintaan liittyvän ELSO-koulutuksen tavoitteiden saavuttamisessa lähitulevaisuudessa (2017 ja sen jälkeen).

## Käsittelytapa ja rajaukset

Tutkimus on rajattu puolustusvoimissa annettavaan tutka-ELSO-koulutukseen. Pääosin tutkimuksessa käsitellään asiaa maalinosoitus- ja valvontatutkien näkökulmasta, sillä kyseisten tutkatyyppien käyttäjiä on puolustusvoimissa eniten. Suuri osa tutkimuksen asioista on kuitenkin yleistettävissä muillekin tutkatyypeille järjestettävään koulutukseen. Lisäksi tutkimuksessa huomioidaan jonkin verran tulenjohtotutkien erityispiirteitä.

Koulutettavat ovat tässä tutkimuksessa kaikki puolustusvoimien tutkaoperaattorit. Operaattoreina toimii niin palkattua henkilökuntaa ja varusmiehiä kuin reserviläisiäkin.

Tulevaisuuden näkymänä tässä tutkimuksessa tarkastellaan lähitulevaisuutta: vuosia 2017-2025. Tämä aikaikkuna on valittu pääasiassa siksi, että kyseisenä aikana nykyinen simulaattorikoulutuskalusto tulee käyttöikänsä päähän ja uusi on saatava hankittua, jos halutaan saavuttaa nykyisenkaltaisia tuloksia tutkakoulutuksessa.

Tutkimuksen kohteeksi on valittu RF-simulaattori, koska se on tämän hetkinen koulutusmenetelmä ja nykyinen kalusto on käyttöikänsä loppuvaiheessa. Tutkimuksessa halutaan selvittää tarvitseeko nykytilanteessa etsiä uusia erilaisia ratkaisuja (digitaalisimulaatio) vai hankitaanko entisenkaltaista mutta päivitettyä suorituskykyä (RF-simulaatio).

## Hävittäjätkat rajataan pois

Hävittäjän toimintaympäristö on kuitenkin niin erilainen, ettei siihen sovellu sama koulutusjärjestelmä [11]. Hävittäjiä voitaisiin kouluttaa niiden ollessa maassa, mutta ilmassa tapahtuva koulutus on täysin erilaista: Ei esimerkiksi voida tehdä kuva ja puheyhteyttä kouluttajan ja koulutettavan välille [11].

Maasta ilmaan toteutettava koulutus ei mahdollistaisi vaadittavia asioita ja asettaisi korkeat vaatimukset koulutuslaitteen teholle ja suuntaamiselle. Lisäksi hävittäjän ja koulutuslaitteen välille tarvittaisiin riittävän tietoturvallinen videoyhteys koulutuksen ohjaamiseen ja kohdentamiseen. Ei ole

kustannustehokasta, jos koneen on aina laskeuduttava, ennen kuin voidaan tarkastella koneen näkökulmasta toteutunutta koulutusta [11].

Kaapelikytkennän rakentaminen hävittäjätutkaan voi olla vaikea toteuttaa. Hävittäjien tutka-antennit ovat pienikokoisia tasoantenneja, joissa ei välttämättä ole tilaa ylimääräisille kytkennöille. Kytkeytyminen tasoantenniin ylipäättään on ongelmallista. Lisäksi on vielä mahdollisesti saatava valmistajalta lupa kytkennän suorittamiseen. Hävittäjätutkille järjestettävä koulutus on tärkeää, mutta siihen on hankittava muista tutkista erillinen koulutuskalusto.

Hävittäjätutkilla järjestettävän koulutuksen erityispiirteitä ei oteta tutkimuksessa huomioon.

#### SAR-tutka rajataan pois

SAR-tutkat ovat yksi mielenkiintoinen tutkimusalue. SAR-tutkan käyttö- ja toimintaperiaate on kuitenkin hyvin erilainen tavalliseen tutkaan verrattuna. Puolustusvoimallisesta näkökulmasta tämän hetken SAR-koulutuksen tulisi keskittyä SAR-kuvaukselta suojautumiseen [14], eikä tämä näkökulma sovellu tämän tutkimuksen aihepiiriin. Tässä tutkimuksessa käsiteltävää simulaattoria ei voitaisi käyttää SAR-kuvaukselta suojautumisen kouluttamiseen.

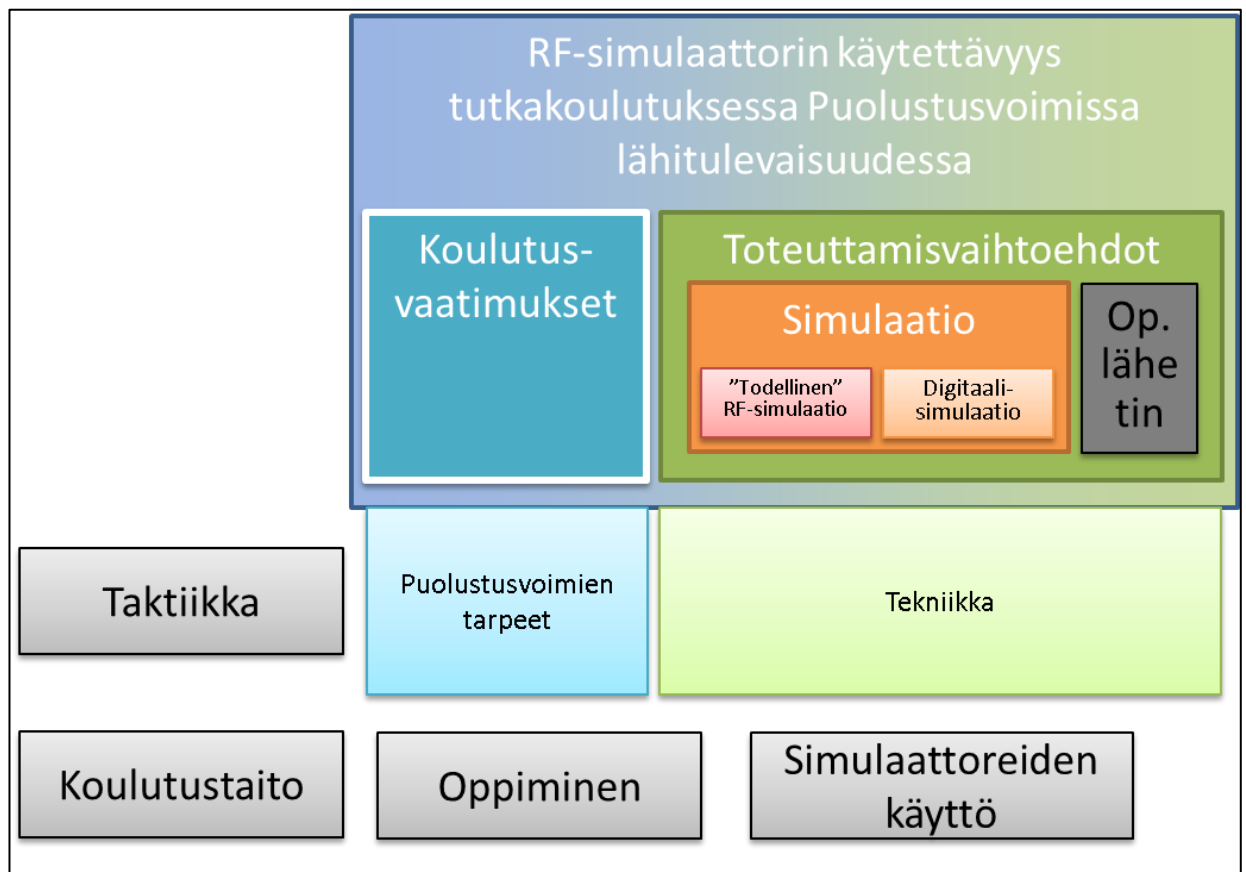
#### Toisiotutkat ja omatunnuslaitteet rajataan pois

Toisiotutkat (jollaisia omatunnuslaitteet ovat) ottavat vastaan kohteiden lähettämää signaalia. Toisiotutka ei siis vastaanota heijastunutta tutkakaikua vaan lähetteen toisesta antennista. Omatunnuslaitteita käytetään usein esimerkiksi maalinosoitustutkien yhteydessä. tutkassa oleva omatunnuskyselijä vastaanottaa lentokoneen lähettämän omatunnussignaalin, josta ilmenee esimerkiksi lentokoneen tunnus ja lentokorkeus. Toisiotutka eroaa sekä toimintaperiaatteeltaan (antennista antenniin lähete) että käyttöperiaatteeltaan tavanomaisesta (ensiö) tutkasta. Omatunnuskyselijän tuottama informaatio näkyy siihen liittyvän maalin yhteydessä. Omatunnuskyselijä ei itse muodosta paikkatietoa maaleista eikä operaattori voi tehdä omatunnuskyselijän osalta samanlaisia toimenpiteitä tai johtopäätöksiä häirinnästä, kuin varsinaisen tutkan osalta. Ei ole mielekäästä kouluttaa omatunnuskyselijöiden käyttöä samassa

mielessä, kuin varsinaisten tutkien osalta. Näin ollen tässä tutkimuksessa jätetään käsittelemättä toisiotutkat ja omatunnuslaitteet.

### Tutkimuksen tavoitteet ja teoreettinen viitekehys

Tutkimuksen päätavoite on selvittää lukijalle voidaanko tulevaisuudessa hankkia RF-simulaattoria tutka-ELSO-koulutukseen. Muilta osin tutkimuksella pyritään selvittämään RF-simulaation vaihtoehtoja, hyötyjä ja haittoja. Esittämällä vastauksen tutkimuksen pääkysymykseen ”Mikä on RF-simulaattorin käytettävyys tutka-ELSO-koulutukseen tulevaisuudessa?” ja perustelemalla vastaus sekä esittämällä vaihtoehtoja, muodostuu lukijalle käsitys miten tutkasimulaatio tulevaisuudessa voidaan toteuttaa.



Kuva 4. Tutkimuksen teoreettinen viitekehys

Yllä olevassa kuvassa on esitetty tutkimuksen teoreettinen viitekehys. Tutkimuksen ulkopuolelle jäävät taktiikka, koulutustaito, oppiminen ja simulaattoreiden käyttö (tämä tutkimushan ei keskity simulaattoreiden käyttöön vaan niiden suorituskykyyn).

Tutkimukseen liittyvät ylätasot ovat puolustusvoimien tarpeet ja tekniikka. Edelleen tutkimuksen pääkysymys sijoittuu koulutusvaatimusten toteuttamisvaihtoehtojen ympärille. Toteuttamisvaihtoehdoista lähimmäksi tarkasteltavaksi on tähän tutkimukseen valittu RF-simulaatio.

## 2. Teoria

### Tutkimusmenetelmät

Tässä Pro Gradu –työssä käytetään kahta tutkimusmenetelmää: kirjallisuustutkimusta ja haastattelua. Kirjallisuustutkimus saa hieman pienemmän osan haastattelun ollessa päämenetelmänä. Kirjallisuustutkimuksen tarkastelu tutkimusmenetelmänä herättää tutkijan tarkastelemaan mitä tahansa sisältöä systemaattisesti. Kirjallisuustutkimuksen periaatteisiin kuuluvat tiedon hallinta, analysointi ja tulkinta, jotka ovat hyviä periaatteita missä tahansa tutkimuksessa.

Haastattelun osalta tutkimuksessa on menetelmäkirjallisuutena Sirkka Hirsjärvi & Helena Hurme: Tutkimushaastattelu : teemahaastattelun teoria ja käytäntö (2010, lähde [8]). Teoksessa lähdetään tutkimustyön perusteista ja siinä on jatkuvasti läsnä ihminen tutkimuksen osana käytettäessä haastattelua menetelmänä. Teos soveltuu kuitenkin hyvin myös sotatekniikan tutkimuksen menetelmäkirjallisuudeksi haastattelun osalta. Teoksessa on käsitelty perustavanlaatuisesti suomenkieliset termit haastatteluun liittyen (kuten strukturoitu, standardoitu, formaali, strukturoimaton, puolistrukturoitu, kvalitatiivinen, kohdennettu, kohdentamaton, lomake-, syvä- ja teemahaastattelu). Vaikka teoksen painopiste on teemahaastattelussa (joka sopii tähän tutkimukseen hyvin) antaa se hyvän näkökulman muihinkin haastattelun lajeihin ja haastatteluun menetelmänä yleensä. Teos sisältyy useiden tieteenalojen opintovaatimuksiin ja sitä on käytetty monissa keskiasteen oppilaitoksissa [8]. Teoksen ensimmäinen versio on vuodelta 1979, jossa ensi kertaa määriteltiin suomenkieleen käsite teemahaastattelu [8].

Tutkimus voisi liittyä RF-simulaattorin vaatimusmäärittelyyn yhtenä sen osana ja vaatimusmäärittelykin voidaan nähdä tutkimusmenetelmänä. Teoksessa Tekniset tutkimusmenetelmät Maanpuolustuskorkeakoulussa, toimittaneet: Esa Lappalainen ja Jorma Jormakka (2004, lähde [13]), esitellään vaatimusmäärittelyä tutkimusmenetelmänä. Asia on ymmärrettävissä siten, että vaatimusmäärittely on tutkimusmenetelmän kaltainen työskentelyprosessi, joka voidaan teknisen alan tutkimusta tehdessä katsoa tutkimusmenetelmäksi. Tässä tutkimuksessa vaatimusmäärittelyä ei kuitenkaan käsitellä itsenäiseksi



tutkimusmenetelmäksi. Edellä mainitussa teoksessakin todetaan, ettei vaatimusmäärittelyä aina pidetä varsinaisena tutkimusmenetelmänä [13].

### Haastattelu tutkimusmetodina

”Haastattelu on yksi tiedonhankinnan perusmuoto.”[8]. Kuitenkin tieteellisyyteen pyrkivässä tiedonhankinnassa, kuten opinnäytetöissä ja tutkimuksissa, on haastatteluun suhtauduttava aluksi etäisen varovasti. Mielikuva haastattelusta tutkimusmenetelmänä voi olla kahvipöytäkeskustelun omainen tilanne, jossa kuulija vain kirjaa asioita paperille. Näin ei kuitenkaan voida saavuttaa tieteellisiä vaatimuksia. Edellä mainitulla tavalla tutkimusta eteenpäin vievä tutkija tulee törmäämään väistämättä kritiikkiin, jolla voidaan osoittaa tutkijan keräämästä aineistosta monia muitakin tulkintoja, kuin vain tutkijan oma. Haastattelun yksi tärkeimpiä piirteitä on yhteiset käsitteet haastattelijan ja haastateltavan välillä. Se on ensi askel siihen, että haastattelija ja haastateltava puhuvat samasta asiasta. Haastattelulla on useita eri lajeja, joilla on kaikilla hieman erilaiset tavoitteet ja toimintasäännöt [8].

Haastattelu on ihmisten välistä vuorovaikutusta. Soveltuuko se tekniikan tutkimusmenetelmäksi, kun teknisellä alalla ei sinänsä tutkita ihmistä lainkaan? Maanpuolustuskorkeakoulun Tekniikan laitoksen omassa julkaisussa todetaan, että tekniikan tutkimukseen soveltuvat kaikki menetelmät ja ettei tekniikan tutkimus ole oikeastaan tieteellistä tutkimusta lainkaan [13]. Toki kuitenkin teknisissä tutkimuksissa noudatetaan hyviä tieteellisiä periaatteita. Haastattelukin soveltuu hyvin tekniikan tutkimusmenetelmäksi. Vaikka haastattelussa tieto on lähtöisin ihmiseltä eikä kirjasta tai mittalaitteelta, on ihminen kerännyt tiedon (teknisestä) ympäristöstään. Onhan kirja ja mittalaittekin ihmisen tekemä. Ehkä parhaiten haastattelu tukee teknistä tutkimusta, kun kerätään teknisen alan asiantuntijan osaamisella, kokemuksella ja koulutuksella suodattamaa ja valmiiksi analysoitua tietoa. Tässäkin (ja ehkä erityisesti tässä) on muistettava edellä käsitellyt tieteellisyyden lähtökohdat.

Organisaation sisällä tehtävä haastattelu, tutkimus ja julkaisutyö voi olla myös alttiina tahattomalle tai tahalliselle tulosten vääristelylle. Kun Pro Gradu –työssä haastatellaan puolustusvoimien henkilöitä, on tutkijan huomioitava mikä on haastateltavan suhde tutkimuksen mahdollisiin tuloksiin. Jos esimerkiksi

tutkimuksella voitaisiin vaikuttaa epäsuorasti haastateltavan päivittäiseen työmäärään, voisi haastateltava tietoisesti tai tiedostamatta pyrkiä puoltamaan hänelle edullista näkökulmaa. Mainittu tapahtumaketju saattaa olla väistämätön, eikä sen voi antaa estää tutkimuksen tekemistä. Se on huomioitava siten, ettei se vaikuta tutkimuksen tuloksiin vääristävästi. Vastaavalla tavalla tutkijan oma tilanne voi vaikuttaa käsiteltävien asioiden painotuksiin, kun tutkimuksen tulos liittyy tutkijan elämään. Tämän seikan neutraloiminen voi olla haastavaa. Haastattelutilanteesta ja haastatteluiden käyttämisestä lähtienä on vielä hyvä huomioida tiedon luottamuksellisuus. Ensinnäkin haastattelijan ja haastateltavan välillä on oltava luottamus, jotta haastateltava pystyy vapautuneesti vastaamaan kysymyksiin. Toisekseen haastattelumateriaalia on käsiteltävä siten, että luottamus säilytetään, eikä haastateltavia aseteta huonoon valoon.

#### Teemahaastattelu eli puolistrukturoitu haastattelu

Teemahaastattelussa tutkija nimensä mukaisesti suunnittelee teemoja, löyhästi määriteltyjä aiheita, joista hän haastattelee vastaajia. Teemahaastattelun kolme vaihetta [8] s. 47-48 mukailten:

1. Tutkija valitsee haastateltaviksi sellaisia henkilöitä, jotka tuntevat tutkittavan aiheen
2. Tutkija alustavasti selvittää tutkittavan aiheen tärkeitä osia ja kokonaisuutta
3. Tutkija analysoi tutkittavaan asiaan liittyviä kokonaisuuksia ja kehittää haastattelurungon
4. Tutkija haastattelee valitsemiaan asiantuntijoita ja hyödyntää haastattelun etenemisessä asiantuntijoiden vastauksia

Teemahaastattelussa oleellista on se, että haastattelu etenee valittujen teemojen mukaan, ei niinkään tarkasti laadittujen kysymysten sanelemana [8]. Teemahaastattelu muistuttaa siinä mielessä strukturoitua haastattelua, että siinä teemat ovat kaikille samat. Toisaalta teemahaastattelu muistuttaa avointa haastattelua, sillä haastateltavan vastaukset voivat ohjata haastattelua uusin suuntiin. Teemahaastattelussa tutkija kuitenkin selvästi kontrolloi keskustelun etenemistä, toisin kuin avoimessa haastattelussa. Teemahaastattelussa vastaaja pystyy täydentämään vastauksiaan tiedoilla joita tutkija ei kysynyt, mutta jotka

hänen mielestään ovat asian kannalta oleellisia. Tämä onkin juuri tilanne johon onnistuneen teemahaastattelun tulisi pyrkiä: haastattelija ja haastateltava yhdessä kartoittavat tutkimukseen liittyviä asioita, jotka tutkija kirjaa. Riskinä on se, että haastateltava pääsee liikaa vaikuttamaan tutkijan mielipiteisiin ja suuntaamaan tutkimusta haluamaansa suuntaan. Osaava tutkija kuitenkin haastattelee useita asiantuntijoita ja muodostaa laajan käsityksen aiheesta. Näin tutkija pysyy tieteellisellä polulla ja pystyy käsittelemään haastatteluista saamia tietoja myös tieteellisesti.

### Yksilöhaastattelu ja ryhmähaastattelu

Haastattelut voidaan jakaa vielä kahteen sen mukaan haastatellaanko kerralla yhtä vai useampaa henkilöä. Yksilöhaastattelun voi katsoa sopivan lähes joka tilanteeseen, mutta ryhmähaastattelun käytölle on selkeitä rajoituksia. Ryhmähaastattelua ei voi käyttää aiheissa, joissa haastateltavat joutuisivat tuomaan esiin henkilökohtaisia asioitaan, kannattamaan mielipiteitä joita eivät halua muiden tietävän tai joutuisivat muuten epäilyttävään asemaan muiden haastateltavien näkökulmasta. Tällainenkin haastattelu voi onnistua, mutta erityisesti edellä mainituissa asioissa ryhmä vaikuttaa siihen mitä asioita haastateltavat kertovat.

Ryhmähaastattelussa haastattelijan rooli on erilainen kuin yksilöhaastattelussa. Ryhmähaastattelussa tutkija toimii puheenjohtajana ja ohjaa enneminkin ryhmän keskistä keskustelua, kuin itsensä ja jonkun haastateltavan välistä keskustelua.

[8]

## Tutkatekniikka

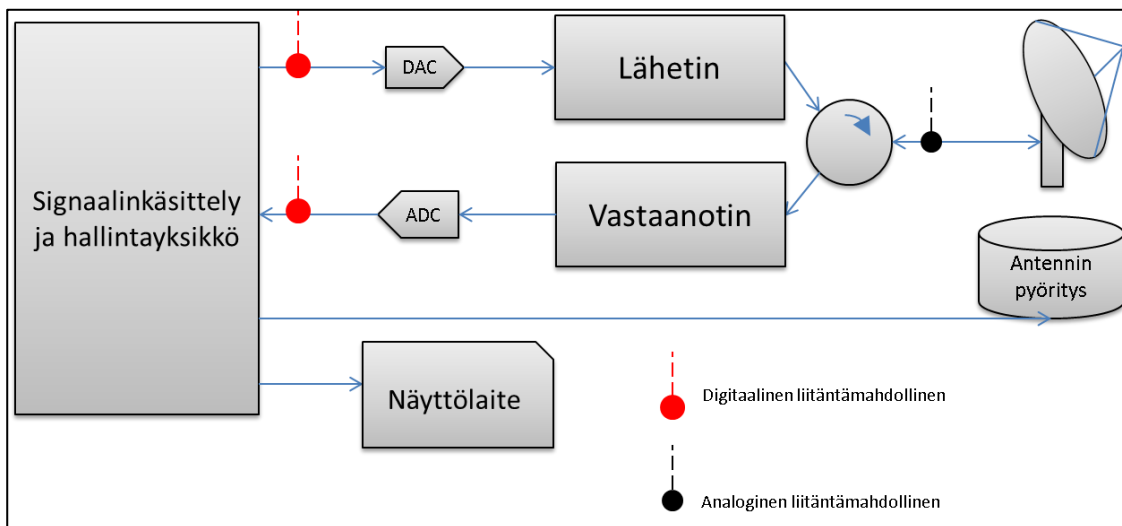
Tutka havaitsee materiaa sähkömagneettisen säteilyn avulla. Tutkataajuisen säteilyn käsittelyn tarkkuus tekee tutkalle mahdolliseksi paikantaa havaitsemiaan kohteita. Yleensä tämä tarkoittaa sitä, että tutka muodostaa hallitun suuritehoisen sähkömagneettisen pulssin, jonka se lähettää kapealla keilalla tuntemaansa suuntaan. Jos tuossa suunnassa on kohde, heijastuu pulssi siitä ja palaa tutkan vastaanotettavaksi. Lähetykseen ja vastaanottoon kuluneesta ajasta tutka selvittää kohteen etäisyyden ja tuntemastaan lähetys suunnasta sen paikan.

Tutkalaitteisto käsittelee sisällään suuritehoisia korkeataajuisia pulsseja, joita se lähettää, mutta myös hyvin matalatehoisia kaikuja, joita se vastaanottaa. Tutka madaltaa lähetteensä taajuutta käsitellessään sitä (välitaajuus). On teknisesti helpompaa käsitellä matalampia taajuuksia, kuin mitä tutka lähettää, joten silloin kuin ei tarvita varsinaista suuritehoista lähetystaajuutta, se pudotetaan välitaajuudelle. Lisäksi tutkan eri osien välillä on mm. synkronointitoimintoja ja pulssinmuodostukseen liittyviä toimintoja.

Tutkan osat voidaan kuitenkin käsittää muutamaksi erilliseksi kokonaisuudeksi, jotka ovat merkityksellisiä tämän tutkimuksen kannalta. Nämä kokonaisuudet ovat lähetin, vastaanotin, antenni, lähetys-vastaanottokytkin, digitaali/analogi-muuntimet, signaalinkäsittely- ja hallintayksikkö, näyttölaite sekä antenninpyörityskoneisto.

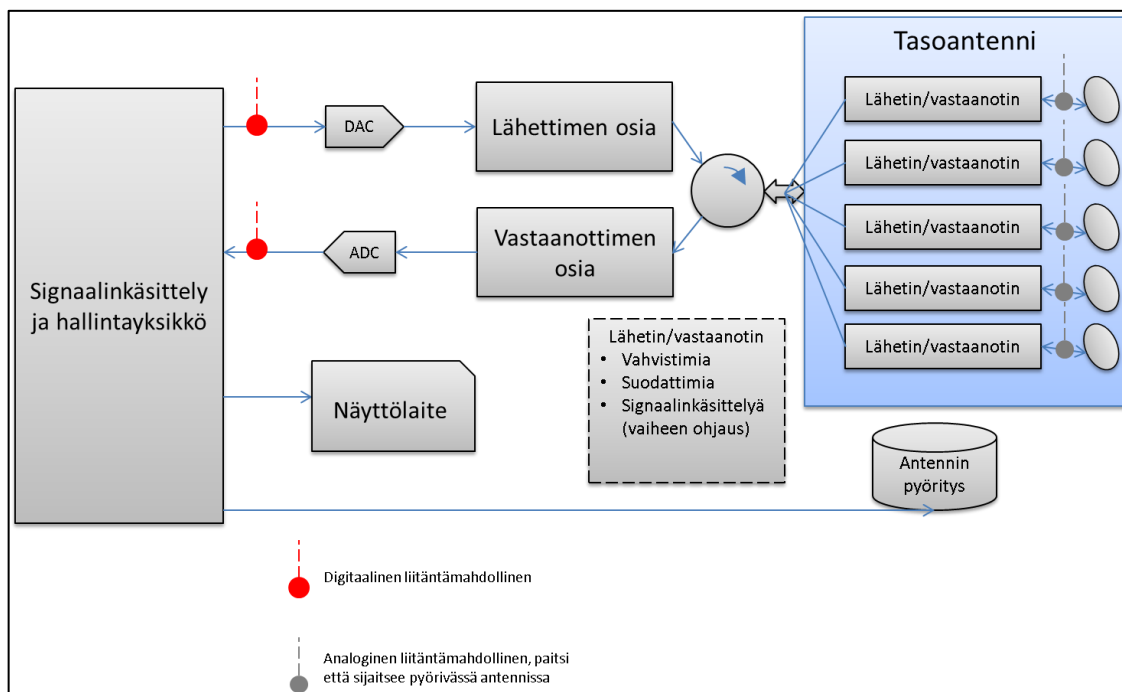
## Kaapelikytkentä

Tutkimuksessa puhutaan kaapelikytkennän tekemisestä tutkaan ja seuraavissa yksinkertaistetuissa tutkan lohkokaavioissa on esitetty periaatekuvina mihin analoginen RF-kaapelikytkentä tai mihin digitaalinen kaapelikytkentä on mahdollista tehdä. Kuvat havainnollistavat eroa, joka syntyy siitä onko tutkassa tavallinen antenni vai tasoantenni. Lohkokaaviot on yksinkertaistettu liitteen 1 mukaisista kaupallisten tutkien lohkokaavioista [1,16].



Kuva 5. Yksinkertaistettu tutkan lohkokaavio ja kaapelikytkentäpaikat.

Kuva 5 esittää sitä, että antennissa ei tapahdu signaalinkäsittelyä, joten RF-kaapelikytkentä voidaan tehdä suuntakytkimen ja antennin väliin ilman, että tarvitsee puuttua tutkan signaalinkäsittelyyn. Digitaalinen kytkentä tulee tehdä analogi/digitaalimuuntimien ja signaalinkäsittely-yksikön väliin.



Kuva 6. Yksinkertaistettu tasoantennilla varustetun tutkan lohkokaavio ja kaapelikytkentäpaikat.

Kuvasta 6 nähdään RF-kaapelikytkennän haaste tasoantennilla varustettuun tutkaan. Kun halutaan kytkeytyä ennen tutkan signaalinkäsittelyosia, tulee se

tehdä tässä tapauksessa antenniin. Ongelmia aiheutuu siitä, että kytkentäpisteitä on useita ja ne sijaitsevat pyörivässä antennissa.

### Tutkan operointi

Tutkan operointi tarkoittaa tutkan ja sen ominaisuuksien käyttämistä. Joissakin tutkissa operaattorilla on vain muutamia mahdollisuuksia käyttää tutkan ominaisuuksia ja hän lähinnä valvoo automatiikan toimintaa. Toisissa järjestelmissä automatiikkaa taas on hyvin vähän ja operaattorin on aktiivisesti käytettävä tutkaa. Normaaliin operointiin kuuluu yleensä maalien sekä tilanteen seuraaminen. Operaattorin tulee mm. havaita mikä on tutkan sähkömagneettinen toimintaympäristö (onko häirintää tai häiriöitä). Lisäksi operaattori valvoo, että tutka toimii halutulla tavalla: lähetin on päällä oikealla hetkellä ja se toimii oikealla mittausmoodilla.

Viimekädessä operaattori vastaa siitä, mikä on tutkan suorituskyky. Hän valvoo tutkan toimintaa ja hänellä on käytävissään tutkan ominaisuudet, kuten lähettimen ja vastaanottimen toiminnot, joilla voidaan havaita ja väistää häirintää. Operaattori myös analysoi tutkansa tilanteen ja välittää tietoa eteenpäin.

### Tutkasota

Jos ajatellaan tutkan ja kohteen välistä toimintaa, voidaan puhua tutkasodasta. Kohde ei halua tulla havaituksi ja voi käyttää häirintää, kun taas tutka haluaa havaita kohteen ja häirinnän kaikissa tilanteissa ja käyttää siihen väistötoimenpiteitä.

Häirinnät voidaan jakaa esimerkiksi passiivisiin ja aktiivisiin häirintöihin. Passiiviset häirinnät ovat heitteitä, kuten silppuja ja valemaaleja, kun taas aktiiviset häirinnät ovat varsinaisia häirintälähteitä (kuten kohinahäirintä tai valemaalit). Toinen tapa jaotella häirintää on käyttötapa, jolloin häirintä voidaan jakaa tausta-, saatto-, lähi- ja omasuojahäirintään. Taustahäirintä toteutetaan kaikkein kauimpaa ja sillä pyritään estämään operaation alkuvaiheiden havaitseminen (esimerkiksi ennakkovaroituksen tekeminen). Saattohäirintää toteutetaan operaation mukana ja se voi olla esimerkiksi erillinen häirintäalus tai

–lentokone, joka toimii operaatioalueella. Lähihäirintää on lähelle tutkaa tuotujen tai tykillä ammuttujen häirintälähettimien häirintä, joiden toiminta-aika on yleensä lyhyt. Omasuojahäirintää voi toteuttaa kuka tahansa ja sillä häiritsijä pyrkii suojaamaan vain itseään (estämään esimerkiksi ohjuksen osuman). Vielä kolmas tapa jaotella häirintää on vaikutustavan mukaan. Tällöin häirinnät ovat joko peittäviä tai harhauttavia. Peittävät häirinnät pyrkivät peittämään kohteet alleen, kuten kohinahäirintä. Harhauttavat häirinnät pyrkivät sekoittamaan oikeat kohteet väärin, kuten valemaalihäirintä.

Operaattorin tehtävänä on havaita minkä häirintätilanteen kohteena hän on ja käyttää tarvittaessa tilanteeseen sopivalla tavalla tutkan lähettimen, vastaanottimen tai signaalinkäsittelyn ominaisuuksia. Näitä ovat esimerkiksi taajuuden tai mittauksen vaihto, ilmaisukynnyksen taso ja videonkäsittelytapa. Operaattorin käytössä olevat ominaisuudet vaihtelevat tutkatyyppittäin.

### RF-simulointi

RF-simuloinnin tavoitteena on mahdollistaa operaattorille harjoitteluympäristö analysoida vihollisen toimia sekä kokeilla ja käyttää oman tutkan toimintoja.

RF-simulointi voidaan toteuttaa ilmateitse, jolloin kaikki läheteet kulkevat tutkan antennin kautta, kuten ne oikeastikin kulkisivat. Tutkan oma lähete lähtee antennin kautta ympäristöön, josta se voi havaita oikeita kohteita ja simulaattorin lähete tulee oikeiden kaikujen seassa tutkalle. Tällöin tarvitsee tehdä vähiten valmisteluita toiminnan suhteen ja tutkan ominaisuudet toimivat oikein. Ongelmallista on se, että simulaatiolähetteen suunta näyttää tutkalle jatkuvasti samalta (ellei fyysisesti simulaattorin antennin paikka muutu). Tätä ongelmaa käsitellään myöhemmin.

RF-simulointi voidaan toteuttaa myös kaapelin välityksellä, jolloin tutkan RF- ketjuun on tehtävä kytkentä. Jos halutaan säilyttää tutkan ominaisuuksien toiminta, tulee kytkentä tehdä ennen kuin ominaisuuksia tuottavat laitteistot vaikuttavat signaaliin (kuten kuvissa 5 ja 6 esitettiin). Tutkimuksessa käsitellään myöhemmin kytkennän käytännön ongelmia. Hyvänä puolena kaapelin

välityksellä toimittaessa on se, että simulaatio saadaan näyttämään tulevan mistä suunnasta tahansa.

### Digitaalinen simulointi

Jos simulaatiota ei tehdä RF-tasolla, on se tehtävä digitaalisesti. Tällöin haasteeksi muodostuu toiminnan realismin saavuttaminen. Kuten kuvista 5 ja 6 nähdään, digitaalisessa vaihtoehdossa ohitetaan tutkan lähettimen ja vastaanottimen ominaisuudet, joten niiden toimintojen simuloimisesta tulee oma haasteensa. Ja kuten tutkimuksessa myöhemmin tulee ilmi, on tärkeää, että tutkan ominaisuudet ja niitä tuottavat osat toimivat simulaatiossa oikein.



## Liittyvät järjestelmät

Puolustusvoimissa on käytössä useita erityyppisiä tutkia, jotka kaikki omaavat erityispiirteitä ja asettavat vaatimuksia tutka-ELSO-koulutuksen toteuttamiseen. Koulutusta on kyettävä toteuttamaan kaikille tilannekuvan muodostamiseen osallistuville tutkille ja kaikille asejärjestelmien tutkille [11]. Uudistetun taistelutavan myötä tilannekuvan arvo ja hyödyllisyys korostuvat. Voitanee myös olettaa, että vastustajan halu heikentää kykyämme hyödyntää tilannekuvaa taistelussa kasvaa. Tämä tarkoittaisi entistä suurempaa uhkaa valvonta- ja maalinosoitustutkia sekä johtamisjärjestelmiä kohtaan.

Myös kapeikonvalvontatutkat osallistuvat asejärjestelmien ennakkovaroituksen luomiseen ja ne, kuten myös maastovalvontatutkat, asettavat omia vaatimuksiaan koulutuksen toteuttamiselle. Väylä- ja maastovalvontatutkien erityispiirteenä on kohteen doppler-ominaisuuksien ilmaiseminen ja tulkinta esim. käyttäjälle kuultavana audiona. Tällöin koulutusympäristön täytyy myös kuulostaa, ei vain näyttää, aidolta. [11]

Liittyvät järjestelmät ovat:

- Valvontatutkat
  - Kuten ilma-, meri-, maasto- ja kapeikonvalvontatutkat
- Maalinosoitustutkat
  - Kuten ilmatorjunnan erilliset maalinosoitustutkat ja asejärjestelmien maalinosoitustutkat
- Tulenjohtotutkat

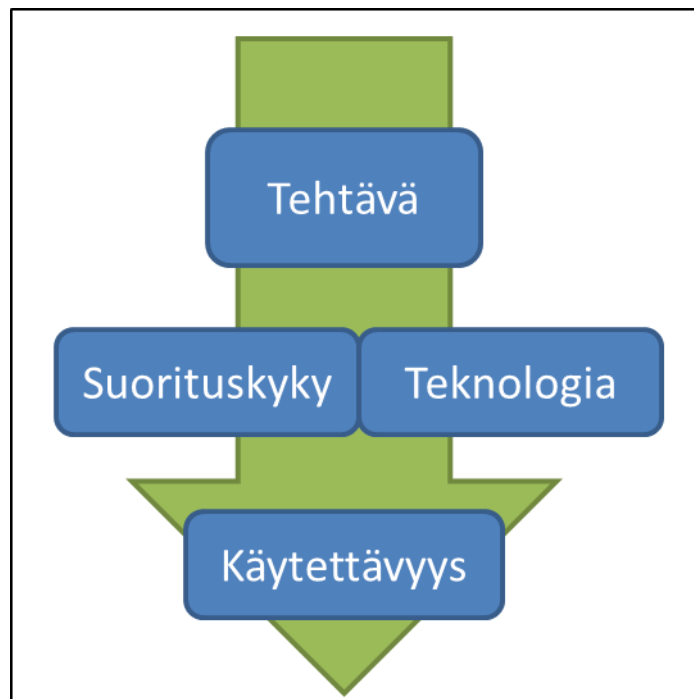
## Käytettävyystudkimus

Tässä tutkimuksessa käytettävyyttä tutkitaan käyttömahdollisuuksien ja suorituskyvyn näkökulmasta. Tämän tutkimuksen käytettävyys ei käsittele jotakin olemassa olevaa ohjelmista, käyttöliittymää tai muutakaan tiettyä järjestelmää, vaan ennemminkin teknologiaa: RF-simulaattoria.

Käytettävyyttä voitaisiin tutkia ns. käyttöhyvyyden, tehokkuuden ja helppouden näkökulmasta [29] tai informatiivisuuden kannalta [15]. Monesti käytettävyys liittyy juuri käyttäjän näkökulmaan. Järjestelmien kehittämiseen liittyvässä tutkimuksessakin käytettävyyttä ajatellaan käyttäjän kannalta [6]. Nämä näkökulmat eivät kuitenkaan sovellu tähän tutkimukseen.

Tässä tutkimuksessa käytettävyydellä tarkoitetaan teknologian kykyä toteuttaa haluttuja tehtäviä (RF-teknologian kyky toteuttaa halutunlaisia simulaatioita tutkille).

Sanaa käytettävyys soveltuu tämän tutkimuksen otsikkoon, koska se kuvaa ytimekkäimmin tutkimuksessa selvitettävää asiaa.



Kuva 7. Käytettävyyden elementit – Tehtävä, suorituskyky, teknologia.

## Aikaisempi tutkimus ja lähdeaineisto

Tämän Pro Gradu työn tutkimusmenetelmiä käsittelevä osuus hyödyntää aikaisempaa tutkimusta haastattelun ja tiedonkäsittelyn pohdinnan osalta. Haastattelua ja tiedonkäsittelyä on tutkittu erittäin paljon ja niistä löytyy tutkimuksien pohjustamaa ja kokemusten raudoittamaa aineistoa helposti. Tähän työhön valittiin lähteeksi oppilaitoksissa oppimateriaalina käytetty sekä kirjoittajan omasta näkökulmasta mielenkiintoinen teos [8].

Tämän tutkimuksen varsinaisen sotateknisen osuuden osalta aikaisempaa tutkimusta on tehty simulaattoreiden käytöstä koulutuksessa, koulutustaidosta, teknisistä vaatimuksista ja vaatimusmäärittelystä ja tietenkin tutkatekniikasta ylipäätään. Kuitenkaan juuri tämän tutkimuksen näkökulmasta olevaa aineistoa ei ole tarjolla. Tutkimuksen näkökulma voitaisiin yleistää: Mitkä ovat puolustusvoimien vaatimukset tutka-ELSO-koulutukseen ja voidaanko ne täyttää RF-simulaattorilla. Tämän sotateknisen osuuden lähteiksi on valittu aiheen parissa työskenteleviä puolustusvoimien asiantuntijoita.

## Lähdekritiikki

Tutkimuksen lähteinä ovat asiantuntijahaastattelut. Haastattelujen huonona puolena voi olla niiden puolueellisuus ja näkökulman kapeus. Tässä tutkimuksessa haastateltavina olleet asiantuntijat omaavat kukin yli kymmenen vuoden kokemuksen omalta alaltaan ja heidän tietonsa täydentävät toisiaan. Lisäksi koulutusvaatimusten muodostamisen pohjalla olevilla haastateltavilla on kansainvälistä kokemusta alalta ja heidän työhönsä kuuluu alan kehittäminen.

### 3. Koulutusvaatimukset

Tässä luvussa käsitellään minkälaiset vaatimukset koulutuksen tarpeet asettavat tutkasimulaattorille. Lähteenä on haastattelumateriaali, jonka pohjalta koulutusvaatimukset muodostuvat. Näin vastataan alakysymykseen ”Mitä vaatimuksia koulutus asettaa simuloinnille?”

#### Vaatimukset

Vaatimuksia voidaan käsitellä koulutettavan osaamisen vaatimuksina, mutta myös laitteen suorituskyvyn vaatimuksina. Tässä tutkimuksessa keskitytään juuri laitteen suorituskykyyn ja siihen liittyviin vaatimuksiin.

Vaatimuksiin liittyy kolme tasoa: perustaso sekä ELSO-koulutuksen tasot 1 ja 2. Lisäksi ”maastoharjoittelu” (harjoittelu joukon varsinaisessa toimintaympäristössä) asettaa omia vaatimuksiaan. Tutkia käyttävän joukon tulisi saavuttaa perustaso itsenäisesti ennen varsinaista ELSO-harjoittelua, jolla syvennetään osaamista. Maastoharjoittelua toteutetaan erillisissä ELSO-harjoituksissa tai joukon muiden harjoitusten yhteydessä.

Perustason harjoittelu ei vaadi niin aitoa harjoitteluympäristöä, kuin varsinaisten elektronisen suojautumisen toimenpiteiden harjoittelu tasoilla 1 ja 2.

Perustason harjoittelua tutkajoukko voi tehdä itsenäisesti ilman ELSO-kouluttajia. ELSO-koulutuksen taso 1 antaa perusteet ELSO-ympäristössä toimimiselle ja taso 2 perehdyttää tutkan käyttöön sodanajan sähkömagneettisessa toimintaympäristössä. 2. tason harjoittelu edellyttää harjoitteluympäristöltä huomattavasti enemmän kuin 1. tason harjoittelu ja niiden vaatimukset on hyvä erottaa toisistaan.

Tason 1 asioita voidaan harjoitella ”luokkasimulaattorissa”, mutta tason 2 harjoittelu pitää tehdä todellisessa ympäristössä (oikeat käyttölaitteet ja todellisuutta vastaavat ilmiöt). [11]

Tason 2 harjoittelussa on tarkoitus oppia toimimaan ja suoriutumaan häiriytyissä olosuhteissa. On tärkeää, että operaattorin tekemät toimenpiteet tuottavat

todellisia vastineita tutkan toimintaan: Lähettimen ja vastaanottimen ominaisuudet toimivat oikein.

Maastoharjoittelussa joukko harjoittelee omassa toimintaympäristössään ja siihen lisätään sähkömagneettisen ulottuvuuden todenmukaisuus.

### Perustaso

Koulutettavien tulisi olla tietyllä perustasolla, ennen ELSO-koulutusta. Perustason osaaminen on tutkan käyttötaitoa ja kyky havaita häirintöjä [11]. Se parantaa oleellisesti joukon suorituskykyä ja erillisen ELSO-harjoittelun tehoa [11]. Koulutettavalla joukolla tulisi olla mahdollisuus harjoitella itsenäisesti tutkaympäristössä toimimisen perusteet [11]. Perustason saavuttanut operaattori kykenee havainnoimaan taistelukentän ilmiöitä tutkallaan.

Joukon itsenäisesti harjoiteltavia perusasioita ovat maalien havaitseminen, seurantojen tekeminen, maalien ”portittaminen” ja maalinvaihdot. Lisäksi joukon tulisi ilman ELSO-kouluttajia harjoitella perusasioita häirinnästä: miltä erilaiset häirinnät näyttävät (erilaisten peittävien ja harhauttavien häirintöjen, kuten kohina ja valemaalit, havaitseminen). Tähän tarvitaan yksinkertaista generointikykyä niissä järjestelmissä, missä tutkan oma simulaattori ei tuota visuaalisesti nähtäviä häirintäilmiöitä. Tulenjohtolaitteilla on tarpeellista harjoitella lukituksen poistavia häirintöjä (kuten RGPO) vastaan, jos ohjuksen osuminen perustuu tutkaohjaukseen. Jos taas aktiiviset ohjukset yleistyvät, missä operaattori ei voi hallita etäisyysporttia (kuten AMRAAM), tämä harjoittelu ei ole tarpeen. [11]

Perustason osaaminen voidaan pääasiassa saavuttaa harjoittelemalla pelkällä tutkalla, mutta sitä voitaisiin tehostaa yksinkertaisella maaligeneraattorilla. Jos tutkajärjestelmässä ei ole itsenäistä kykyä tuottaa simuloituja maaleja, joiden seurantaanottoa ja poistamista operaattori voi harjoitella, siihen tarvitaan generaattori, sillä muuten on harjoiteltava todellisiin ilmamaaleihin, eikä se välttämättä ole kustannustehokasta tai aina edes mahdollista.

## ELSO-koulutus taso 1 ja 2

Tason 1 tavoitteena on saada operaattori tunnistamaan tutkallaan havaitsemat taistelukentän ilmiöt ja tiedostamaan niiden vaikutukset (tunnista ja tiedosta). Tason 2 tavoitteena on antaa operaattorille osaaminen analysoida tunnistamiaan ilmiöitä ja väistämään (analysoi ja väistä) parhaalla mahdollisella tavalla haitallisia ilmiöitä, kuten häirintää.

Maalien liikehdinnän kannalta tasot eroavat toisistaan. Tason 1 harjoittelussa riittää, että maaleja liikkuu yksittäisessä suunnassa kohti ja pois päin tutkasta (kuten häirintää ilmaitse kiinteästä asemasta tehtäessä). Tason 2 harjoittelussa maalit voivat liikkua luonnollisesti joka puolella tutkaa ja häirintää voi suuntautua useista suunnista samanaikaisesti [11].

Tason 1 maalitilanne ja harjoittelu ympäristö ylipäättään voi olla klininen ja suljettu: Ei ole oleellista että näytöllä näkyy lähikatveja, sateita, muita välkkeitä tai siviililiikennettä. Tason 2 harjoittelussa taas maalitilanteen ja harjoittelu ympäristön pitää edellä mainituissa asioissa vaikuttaa todelliselta [11]. Olisi hyvä, että tutka voisi mitata todellista ympäristöä ja samanaikaisesti sille tuotettaisiin simuloituja maaleja, häirintöjä ja muita ilmiöitä [11].

Tason 1 harjoittelussa ei välttämättä tarvita todellista tutkalaitetta lainkaan ja jos sellaista käytetään, sen suorituskykyä voidaan rajoittaa merkittävästi (RA1 moodi riittää). Tason 2 harjoittelussa taas tulee voida käyttää koko tutkan suorituskykyä. Jos ei voi rauhan aikana harjoitella koko suorituskyvyllä, ei onnistu sodan aikana. [11]

### Tasovaatimuksista

Perusasioiden harjoittelua varten on helppo toteuttaa ”luokkasimulaattoreita”, jotka eivät täysin vastaa todellisuutta, mutta jotka antavat perusvalmiudet. Tällainen simulaattori ei voi olla pelkkä tietokoneohjelma, vaan lisäksi tarvitaan todellista laitetta vastaava käyttöliittymä (fyysiset käyttöpaneelit tai vastaavat) [11]. Jossakin tutkajärjestelmässä käyttöliittymä voi olla pelkkä tietokone tai kosketusnäyttö, jolloin todellista vastaavan käyttöympäristön teko olisi melko helppoa. Kuitenkaan ohjelman sisällön ei tarvitse vastata kaikin puolin todellisuutta. Vasta edistyneemmässä harjoittelussa on tärkeää, että käyttäjän

tekemät toimenpiteet saavat todellisia vastaavat vaikutukset tutkan suorituskyvyssä. ELSO-ympäristössä toimimisen harjoittelua varten on oltava todellinen kyky toimia RF-tasolla tutkan kanssa, jotta tiedetään oikeasti miten laite toimii ja voidaan aidosti testata laitteen suorituskykyä [11].

Joukon oman harjoittelun tavoitteena on luoda perusedellytykset maalien seuraamiselle ja häirintöjen tunnistamiselle. Tällöin maalien käsittelyn osalta operaattorin on voitava harjoitella jonkin verran laitteen varsinaista käyttämistä, ns. nappulatekniikkaa. Häirintöjen tunnistamisen osalta operaattorin ei tarvitse tehdä mitään toimenpiteitä laitteella. Riittää kun hän näkee miltä erilaiset häirinnät näyttävät näyttölaitteella, mutta mitään väistötoimenpiteitä ei tarvitse tehdä tai harjoitella (joukon omassa harjoittelussa). Tällöin häirintä voidaan tuottaa tutkalle siinä mielessä keinotekoisesti, ettei tutkan lähettimen ja vastaanottimen tarvitse reagoida häirintään todellisuutta vastaavasti käyttäjän tekemien muutosten perusteella. Riittää, kun tietyillä asetuksilla häirintä näyttää oikealta.

Harjoitteleminen RA1 moodeilla riittää, kun harjoitellaan ainoastaan tunnistamista, eikä väistötoimenpiteitä [11]. Tällä hetkellä vastaavaa harjoittelua varten on olemassa videomateriaalia eri järjestelmille, joita katsomalla operaattori näkee, miltä häirinnät hänen tutkallaan näyttäisivät. On kuitenkin käytännön kannalta eri asia katsooko videokuvaa vai seuraako tilannetta todellisesta laitteesta [11]. Välttämättä harjoittelua ei tarvitsisi toteuttaa varsinaisessa SA-laitteessa, vaan sitä varten voitaisiin rakentaa riittävän hyvä harjoittelulaite. Osassa järjestelmistä onkin jo harjoittelulaitteita, joilla voidaan tehdä ainakin osa perusasioista (kuten ITO90, ITO96, ITO12) [11].

Syvällistä harjoittelua varten on huolehdittava siitä, että tutka vastaa käyttäjän toimenpiteisiin todellisuutta vastaavalla tavalla. Syvässä harjoittelussa on päästävää harjoittelemaan koko suorituskyvyllä ja mittaamaan todellisessa ympäristössä, kuten haastatteluista on käynyt ilmi [11, 14]. Kun otetaan huomioon moodiprofilien sääntely, ei ole mahdollista toteuttaa näitä asioita yhtä aikaa.

Tutkalle olisi saatava tuotettua oikeanlainen kaiku-ympäristö. Kun tutkien näyttölaitteet ovat digitaalisia, voisi olla mahdollista tallentaa todellista

kaiku ympäristöä ja toistaa sitä harjoittelun aikana [11]. Tällainen toistettu kaiku ympäristö ei tietenkään reagoisi tutkalla tehtäviin toimenpiteisiin, joten se ei soveltuisi syvälliseen harjoitteluun, mutta perusharjoittelussa se voisi olla toimiva vaihtoehto. Hyvä vaihtoehto olisi, jos voitaisiin tehdä keinotekoinen kaiku ympäristö ja tutka voisi mitata samaan aikaan [11].

### Vaatimukset häirinnöistä

Häirintää pitää voida tehdä useista maaleista ja useasta suunnasta samanaikaisesti. Toisesta kohteesta voidaan tehdä samaan aikaan taustahäirintää, kun toisesta tehdään omasuojahäirintää. Lisäksi vielä mukana voi olla saattohäirintää. Nämä kolme elementtiä kuuluvat yhteen hyökkäykseen ja hyökkäyksiä on voitava olla enemmän kuin yksi yhtä aikaa. Näin ollen häirintää on voitava tuottaa yhtä aikaa vähintään kuudesta eri suunnasta yhtä aikaa. (Kaksi hyökkäyssuuntaa joihin kuuluu kumpaankin taustahäirintä, saattohäirintä ja omasuojahäirintä.) Häirinnälle on myös voitava toteuttaa keilakuvion ominaisuudet: Kun häirintälähde liikehtii, häirintä muuttuu sen mukaan miten keila suuntautuu tutkaan. [11]

Passiivisista häirinnöistä vaatimuksena on tuottaa hyvätasoisia silppuja. Silppukäytäviä valvonta- ja tulenjohtotutkia vastaan ja erityisesti omasuojasilppuja tulenjohtotutkia vastaan [11].

Hyvätasoinen silppu näyttää realistiselta ja toimii tutkaa vastaan, eli peittää kohteita.

Häirintää on voitava tuottaa myös tutkille, jotka lähettävät useita taajuuksia kerralla. [11]

### Muita vaatimuksia

Simulaattorin on tietenkin tuotettava tutkien tarvitsema perustiedot luotettavasti: maalit joilla on suunta, etäisyys ja nopeus. Lisäksi tarvittavia ominaisuuksia ovat kohteiden häilynnän simulointi ja monipuolinen doppler-simulointi (kuten helikopterien doppler-ominaisuudet rungosta, moottorista ja roottorista). [11]



Realistisen maalikaiun luominen ei välttämättä ole helppo tehtävä ja se voi olla yksi simulaattorin vaativimmista tehtävistä.

ELSO-kouluttajan ja tutkaoperaattorin välillä on oltava kuva ja puheyhteys. Toisen haastateltavan mukaan isommissa maastoharjoituksissa pelkkä puheyhteys olisi riittävä, mutta toisen haastateltavan mielestä kuvayhteys on välttämätön [11].

Puhe- ja kuvayhteys on yksi rajoittava tekijä ilmalavetin käytössä koulutuksessa ilmatilaa valvoville tutkille. Häirinnän tekeminen ilmalavetista on kaikkein realistisin tilanne häirinnän käyttäytymiselle, mutta tietoturvallisen puhe- ja kuvayhteyden tekeminen lentokoneen ja tutkaoperaattorin välille voi muodostua haasteeksi. Yksi vaihtoehto voisi olla simulaattorijärjestelmän etäkäyttö. Tällöin ilmalavettiin ei tarvittaisi kuva- tai puheyhteyttä, vaan yhteys toteutettaisiin tutkan toimintaympäristössä. Lavettiin muodostettaisiin vain simulaattorijärjestelmän etäyhteys. Lavettina voisi toimia lentokone, helikopteri tai lennokki.

Itsekin ELSO-kouluttajana toimineena olen sitä mieltä, että kuvayhteys häirintää tuottavalle ELSO-kouluttajalle on välttämätön. Kuvayhteydellä ELSO-kouluttaja varmistuu häirintäsimulaation oikeasta toimivuudesta. Jos kuvayhteyttä ei ole, muodostuu tilanteesta ELSO-kouluttajallekin harjoittelutilanne, jolloin tutkaoperaattorin koulutus voi kärsiä. Häirinnän simuloinnissa on nimenomaan kyse operaattorin harjoittelusta eikä ELSO-kouluttajan harjoittelusta tässä mielessä.

Väylä- ja maastovalvontatutkien edellyttämien doppler-ominaisuuksien saaminen sille tasolla, että voitaisiin harjoitella kuuntelemaan kohteita, voi olla vaikeaa. Yhtenä vaihtoehtona olisi käyttää nauhoitteita suoraan audiona tai kopioida todellisten kaikujen RF-ominaisuuksia ja käyttää niitä. Kopioimalla voi tulla haasteeksi luoda monipuolisia maaliympäristöjä, mutta yksinkertaiset (toistettavissa olevat) tilanteet todennäköisesti onnistuisivat.

Aidolta kuulostavien (kuunteli maaleja sitten automatiikka tai operaattori) maalien luominen väylä- ja maastovalvontatutkille voi olla haastavaa. Samoin

on haaste kaiku ympäristön luominen näille tutkille. Kaikki kohteet kuulostavat omanlaisiltaan (esim. sumu ja kohina) [11].

Tulenojohtotutkat, joissa ohjus ohjautetaan tutkalla kohteeseen, edellyttävät R/VGPO harjoittelumahdollisuutta. Voi olla että tällaiset järjestelmät vähenevät, kun aktiiviset ohjukset yleistyvät, mutta ohjautettavilla ohjuksilla on etuja häirinnän siedossa: Bi-staattisen tutkan häiritseminen on vaikeampaa, koska lähetin ja vastaanotin ovat eri paikoissa. Näin ollen niiden olemassaoloa ei tule sulkea pois. Esimerkiksi RGPO:n harjoittelussakin joukolle riittää kyky havaita ja tunnistaa. Joukon omilla harjoittelulaitteilla ei ole välttämätöntä pystyä tuottamaan RGPO:ta, joka reagoi todellisella tavalla käyttäjän toimenpiteisiin.

## Maastoharjoittelu

Yksi harjoittelumuoto on vielä harjoittelevan joukon kannalta todenmukaisissa olosuhteissa tapahtuva harjoittelu [11]. Eli siis harjoittelu maasto-olosuhteissa. Maastoharjoittelussa operaattori pääsee kokemaan mitä on suoriutua tutkaoperaattorina todenmukaisessa sodanajan ympäristössä.

Joukon pitää voida harjoitella ilman että simulointi vaikuttaa tilanteen realismiin. Maasto-olosuhteissa tulisi säilyttää harjoittelun todenmukaisuus, eikä näkyvien kaapeleiden kytkeminen ole mahdollista [11]. Kaapeleiden kytkeminen voi myös rajoittaa joukon liikkuvuutta. Muutenkaan tavallisesta poikkeavat järjestelyt operointipaikalla tai tutkan ympäristössä eivät tule kyseeseen. ELSO-ympäristö on voitava luoda samalla, kun joukko harjoittelee omassa kokoonpanossaan mahdollisimman aidossa tilanteessa [11]. Tässä koulutus tilanteessa ei tarvita kuva- tai puheyhteyttä tutkalta ELSO-kouluttajaan, vaan tärkeintä on saada häirintä vaikuttamaan siltä, kuin se tulisi oikeasta kohteesta. Realistisin tilanne saataisiin tietenkin operatiivisella häirintälaitteella [11]. On voitava tuottaa niin realistinen tilanne, että yksityiskohdatkin ovat oikeanlaisia [11].

Alusten tutkien osalta kaapelikytkentä ei todennäköisesti olisi ongelma, sillä kaapelit voitaisiin kytkeä muuta toimintaa haittaamatta.

Maastossa tapahtuvassa harjoittelussa on tärkeintä, että tilanne on realistinen. Käytännössä se tarkoittaa sitä, että maasto-olosuhteisiin sijoitetun tutkan operaattori (tai vastaavasti aluksesta tutkaa operoiva merimies) todella luulee, että sitä häiritsee ilmassa lentävä lentokone. Helpoiten tämä realismi onnistuu sille, että häirintä todella tehdään ilmasta. Silloin häirintälähde liikehtii oikein ja tutkan pystysuunnan antennikeilaominaisuudet toimivat oikein. Samoin häirinnän tehotason vaihtelu toteutuu kaikkein realistisimmin, kun häirintä tehdään lentävästä lavetista [11]. Jos häirintä sen sijaan tehdään maahan sijoitetusta kiinteästä pisteestä, suurimmaksi ongelmaksi muodostuu häirinnän kiinteä suunta tutkan näkökulmasta. Tällöinhän häirintälähete todella tulee jatkuvasti samasta suunnasta.

Hyödyntämällä kohteena olevan tutkan antennin heikkouksia, olisi mahdollista tuottaa jonkin verran häirintää ns. sivukeilahäirintänä, jolloin häirinnän suunta näyttää olevan jokin muu, kuin mitä se todellisuudessa on. Tämäkään ei kuitenkaan käytännössä mahdollistaisi simuloitun häirintäkoneen sulavaa liikehdintää, vaan tekisi mahdolliseksi joidenkin häirintöjen liikkumisen ja näkymisen eri suunnista. Sivukeilahäirintöjen toimivuus on parempaa vanhempia ”tavallisilla” antenneilla (heijastinantennit) varustettuja tutkia vastaan. Uudemmissa tasoantenneilla varustetuissa tutkissa keilanmuodot eivät mahdollista niin hyvin sivukeilojen tasaista hyödyntämistä. Haastateltavan [14] mukaan ilmaitse toteutetulla RF-simuloinnilla ei ole käytännössä mahdollista toteuttaa suunnanvaihteluita realistisesti (ilman liikkuvaa lähetysantennia).

Maalin liikekyvyn lisäksi maasta toteutettu häirintä kärsii siitä, ettei häirintä todella suuntaudu ilmasta. 2D-tutkien osalta, jotka eivät mittaa kohteen korkeutta, tämä on harvoin ongelma. Älykkäästi keilaavat 3D-tutkat, jotka pystyvät erottelemaan vastaanottoaan korkeuden mukaan, kärsivät siitä, ettei häirintä tule oikealta korkeudelta. Simuloidut maalit saavat väärän korkeustiedon (ne voivat vaikkapa näyttää olevan maan alla, eivätkä piirry näytölle lainkaan).



Kuva 8. ITO05 ilmatorjuntajärjestelmä, jossa maalinosoitustutka. [21]

### Tutkaverkkojen asettamat koulutusvaatimukset

Yksi oman huomionsa ansaitseva koulutuskokonaisuus on verkottuneen valvontajärjestelmän harjoittelu. Eli siis sellainen valvontajärjestelmä, jossa yksi henkilö käyttää tai hyödyntää useita tutkia yhtä aikaa (etäkäyttöisesti), verkon välityksellä. Operaattori ei itse hyödynnä tutkiensa ominaisuuksia suoraan, vaan hänen apunaan ovat automaattitoiminnot (sensorifuusio). Verkon käytössä olevat tutkat tuottavat automaattisesti paikkatietoja maaleista, jotka sensorifuusion avulla yhdistetään seurattaviksi kohteiksi.

Tällaisessa tapauksessa operaattori ei kykene jatkuvasti seuraamaan käytössään olevien tutkien raakavideoita, vaan hän keskittyy kokonaisuuden hallitsemiseen. On mahdollista, että operaattori tietyssä tilanteessa tarkastelee yksittäisen tutkan raakadataa ja arvioi sen tilannetta tarkemmin. Tämä toimintamalli tekee muutamia selkeitä eroja valvontakyvyn häirittevyteen ja operaattorin mahdollisuuksiin havaita ja suojautua häirinnältä. Se, ettei operaattori pysty seuraamaan kunkin tutkan raakadataa poistaa käytöstä joitakin elektronisen suojautumisen manuaalisia perustoimintoja, kuten häirinnän suunnan määrittämisen ja heikkojen maalien etsimisen kohinasta.

(automaattijärjestelmäkin toki kykenee tähän, mutta ei välttämättä yhtä hyvin, kuin etevä operaattori.) Häirinnän suunnan määrittäminen on aina hyödyllinen ominaisuus, mutta häirinnän väistötoimenpiteet eivät välttämättä ole tarpeellisia, kun operaattorin käytössä voi olla useita samaa aluetta valvovia tutkia, joita ei kaikkia välttämättä häiritä yhtä aikaa.

Verkottuneen valvonnan tarjoamina uusina suojautumisen menetelminä ovat yhden henkilön käytössä olevat tutkatakattiset ratkaisut: aktiivinen tutkavuorottelu ja laajempi häirinnän vaikutuksen arviointi. Aktiivinen tutkavuorottelu tarkoittaa sitä, että koska yhden henkilön hallittavissa on useita tutkia ja hän tuntee niiden valvonnassa olevien alueiden laajuuden ja päällekkäisyyden, hän voi tehokkaasti tilanteen mukaan valita mitä tutkaa kannattaa milläkin hetkellä käyttää. Vastaavasti omana keinonaan voitaisiin pitää häirinnän vaikutuksen arviointia, jonka yhtä tutkaa operoiva henkilö tekee vain oman tutkansa osalta. Verkottuneessa mallissa operaattori pystyy arvioimaan häirinnän merkitystä kokonaisuuden kannalta (eikä kokonaisuuden saamiseksi tarvitse yhdistää usean operaattorin arvioita, joka voi viedä aikaa tai ei aina ole edes mahdollista). Kun tavanomaisessa tilanteessa yksittäinen operaattori toteaa tilanteen ja tekee väistötoimenpiteet, voi verkottuneen järjestelmän operaattori todeta, ettei yhden tutkan häirittynä olemisella ole merkitystä kokonaisuuteen, koska muut tutkat paikkaavat sitä, eikä mitään toimenpiteitä tarvita. Jälkimmäinen on parempi vaihtoehto siitä syystä, että silloin voidaan paremmin hallita vastustajalle välittyvää tietoa häirinnän vaikuttavuudesta.

Verkottunutta tutkajärjestelmää voidaan pohtia elektronisen sodankäynnin osalta koulutusvaatimuksiltaan itsenäisenä tilanteena tavanomaiseen järjestelyyn verrattuna. Yksittäisen tutkan ja sen operaattorin kannalta on tärkeintä luoda mahdollisimman realistinen tilanne tutkan toiminnallisuudet huomioiden. Siten että tutkan lähettimen, vastaanottimen ja antennin ominaisuudet reagoivat oikein tilanteeseen. Verkottuneessa tilanteessa tutkien käyttöperiaate ei perustu niinkään tutkien ominaisuuksien hallitsemiseen vaan tutkien määrään, sijoitteluun ja sijaintiin. Tällöin harjoittelussa tärkeintä on luoda tilanne, joka näyttää samalta usealle tutkalle yhtä aikaa ja on siten realistinen [11]. Realistisuus tutkaverkon kannalta tarkoittaa juuri näkymää monen tutkan kannalta yhtä aikaa, eikä se perus tilanteessa edellytä realistisuutta yksittäisen tutkalaitteen ja sen ominaisuuksien kannalta.

Perusvaatimukset tutkaverkko-operaattorille ennen ELSO-koulutusta ovat periaatteiltaan samat kuin yksittäisen tutkan operaattorille. Tutkaverkko-operaattorin on hallittava perusasetusten määrittäminen, osattava maalien käsittely sekä kyettävä tunnistamaan yksinkertaiset häirintätilanteet.

Tutkaverkon osalta edellytyksenä on luoda realistinen tilanne tutkaverkon kannalta, jossa realismilla yksittäisen tutkan lähetys- ja vastaanotto-ominaisuuksien kannalta ei ole merkitystä [11]. Realismi on oltava siinä, että toteutettu tilanne näyttää samalta kaikille verkon tutkille. Operaattori pystyy harjoittelemaan häirintöjen havaitsemista, mutta väistötoimenpiteiden harjoittelua ei tarvitse mahdollistaa; kuten yksittäisen tutkan operaattorin harjoittelussakin.

Syventävässä harjoittelussa tutkaverkko-operaattorin tehtäviksi muodostuu oman tutkaverkon suorituskyvyn analysointi ja verkon suorituskyvyn maksimaalinen hyödyntäminen. Nämä toimenpiteet edellyttävät samoja asioita kuin yksittäisenkin tutkan operoinnin osalta: tutkailmiöiden havaitsemista, tunnistamista, ymmärtämistä ja väistötoimenpiteiden tekemistä sekä lisäksi tutkatakista ymmärrystä. Tutkaverkkojen syventävässä harjoittelussa oleellisena osana tulee olemaan vastustajan näkökulma: Miltä tutkaverkon suorituskyyky ja toiminta häirityissä olosuhteissa näyttää vastustajalle? Tutkaverkkojen taktiikkaa voitaisiin tutkia omassa tutkimuksessaan.

Toisaalta, kun on paljon sensoreita tuottamassa dataa, joka kerätään yhteen, ei yksittäisen sensorin virheellinen toiminta (häirintä) välttämättä vaikuta lainkaan kokonaisuuteen [14]. Tällöin voitaisiin simuloinnissa keskittyä hieman toiselle tasolle. Tavanomaisen näkökulman mukaan halutaan tuottaa simulaatioita yksittäisille tutkille ja sitä kautta koko järjestelmälle. Uudemman näkemyksen ajatuksena olisi tuottaa dataa keräävään järjestelmään virheellistä dataa, joka simuloi häirinnän vaikutusta sensorifuusioon [14]. Operaattorin rooli ja operoinnin harjoittelu ei sinänsä muutu, jos operaattorilla nyt ylipäätään on osuutta sensorifuusion muodostumiseen. Operaattorin tulisi edelleen järjestelmän sallimissa rajoissa analysoida tilannetta ja käyttää tutkaverkkoaan saavuttaakseen parhaan mahdollisen suorituskyvyn ja vaikutuksen joka tilanteeseen (tutkatakttiikka).

Tutkaverkko-operaattorin tulisi harjoitella samojen ELSO-koulutus tasovaatimusten mukaisesti kuin yksittäisenkin tutkan operaattorin, mutta lisäksi tämän on harjoitettava varsinaisen tutkaverkon käyttöä.

### Tutkaverkoista

Tutkaverkon häirinnän osalta on tarve toteuttaa samanlainen simulaatio usealla tutkalle yhtä aikaa. Tämä on helpointa toteuttaa digitaalisella simulaatiolla [14]. RF-simulaatiossa ongelmaksi muodostuu suuntatiedon synkronoiminen: Tutkaverkon tutkat ovat simuloituun maaliin ja häirintään nähden eri suunnissa (pl. jotkin yksittäistapaukset). Käytännössä tutkaverkon häiritseminen ilmateitse ei onnistu muualta kuin oikeasti liikkuvasta lavetista. Mutta jos ilmavalvonnan tutkaverkkoa häiritään lentokoneesta, ei kyseessä oikeastaan enää ole simulaatio.

RF-simulaatio kaapelikytkennässä olisi mahdollista toteuttaa tutkaverkolla, jos kaikkiin sen tutkiin voidaan kytkeytyä kaapeleilla. Puolustusvoimissa on kuitenkin useita tutkia joihin kaapelikytkennän tekeminen ei teknisesti ole mahdollista [14].



Kuva 9. Ohjusvene Hamina, ylipäätänsä 3d-tutkan antenni. [12]

Kuvassa yksi puolustusvoimien tutkajärjestelmistä, johon RF-kaapelikytkennän rakentaminen antennin jälkeen ei ole mahdollista, sillä pyörivä antenni sisältää RF-käsittelyyn liittyviä ominaisuuksia.

### Arvio koulutusvaatimuksista

Yllä esitetyn asiantuntijahaastatteluihin pohjautuvan tiedon pohjalta voidaan muodostaa loogiset vaatimukset koulutukselle. Osa asiantuntijatiedosta sisältää mielipiteitä, joihin voisi löytyä muitakin perusteltuja näkemyksiä, kuten koulutustasoilla tarvittavien maalien määrä, mutta esitetyt näkemykset ovat perusteltuja ja niistä muodostuneiden vaatimusten avulla voidaan muodostaa riittävät vaatimukset simulaattorille. Tässä ei varmasti ole käsitelty kaikkia asiaan liittyviä näkökulmia ja haastatteleamalla laajempaa joukkoa asiantuntijoita vaatimuksia voitaisiin vielä tarkentaa, mutta tämä on hyvä lähtökohta.

### Koulutusvaatimusten yhteenveto

Koulutusvaatimukset määrittävät seuraavia asioita:

- Maalit
  - Maalien liikehdintä
  - Maalien määrä
  - Maalien käyttäytyminen tutkan suorituskyvyn muutoksiin
- Häirinnät
  - Häirintätyypit
  - Silput
  - Häirintöjen liikehdintä
  - Häirintöjen määrä
  - Häirintöjen käyttäytyminen tutkan suorituskyvyn muutoksiin
- Tutkaympäristö
  - Lähikatveet
  - Välkkeet (kuten sade)
  - Siviililiikenne
- Harjoitteluympäristö
  - Harjoittelulaitteet (tutka vai harjoituslaite)
  - Harjoittelun järjestelyt (harjoittelutilanne vai sotaharjoitus)



Seuraavassa taulukossa on esitetty vaatimuksiksi muotoiltuna esille tulleita asioita maalien, häirintöjen sekä tutka- ja koulutusympäristön osalta. Jokaisella koulutustasolla on kuhunkin vaatimukseen merkitty kyllä/ei (tai numero määrien osalta) sen mukaan vaaditaanko kyseistä asiaa.

Myöhemmin, RF-simulaattorin käytettävyys –osiossa, taulukon vaatimuksia tarkastellaan siinä valossa ovatko ne toteutettavissa RF-simulaattorilla.

	Vaatimukset	Perus- taso	ELSO- taso 1 taso 2		Maasto- harjoittelu	Tutkaverkot
<b>Maalit</b>	Maalien liike ja suunta on vapaa	ei	ei	kyllä	ei	kyllä
	Maalien määrä (suuntaa antava)*	2	5	10	5	10
	Siviilimaalit	ei	ei	kyllä	ei	kyllä
	Maalit vastaavat tutkan suorituskyvyn muutoksia	ei	ei	kyllä	kyllä	ei
<b>Häirinnät</b>	Perushäirinnät	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä
	Soveltavat häirinnät	ei	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä
	Silput	ei	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä
	Häirintälähteitä yhtä aikaa	1	2	6	2	6
	Häirintöjen liike ja suunta on vapaa	ei	ei	kyllä	ei	kyllä
	Häirinnät vastaavat tutkan suorituskyvyn muutoksia	ei	ei	kyllä	kyllä	ei
<b>Tutka- ympäristö</b>	Lähikatveet	ei	ei	kyllä	ei	ei
	Välkkeet (kuten sade)	ei	ei	kyllä	ei	ei
	Todellisen ympäristön mittaaminen samaan aikaan	ei	ei	ei	kyllä	ei
<b>Koulutus- ympäristö</b>	Operaattorin on harjoitettava oikealla laitteella	ei	ei	kyllä	kyllä	kyllä
	Kuva- ja puheyhteys	kyllä	kyllä	kyllä	ei	kyllä

\*Perustasolla tarvitaan ainakin kaksi maalia, jotta maalinvaihto onnistuu

\*Tason 1 maalien määrän perusteena on hyökkäys johon kuuluu 1 taustahäirintäkone ja lento-osasto, joka voi jakautua kahteen osaan: saattohäirintäkone + pari ja omasuojahäirintäkone + pari. Yhteensä 5 maalia. Tasolla kaksi perusteena on kaksi yhtäaikaista edellisen kaltaista hyökkäystä.

Taulukko 1. Koulutustasojen vaatimukset

## Tasojen eroista

Taulukosta nähdään että perustason ja ELSO-taso 1 välillä eroavaisuuksia on neljässä kohdassa: maalien määrä, soveltavat häirinnät, silput ja häirintälähteiden määrä. Perustason ja ELSO-taso 2 välillä eroja taas on jopa 12 kohdassa. Eroavien kohtien määrän tarkastelu ei sinänsä kuitenkaan ole kovin oleellista, sillä ero jossakin yksittäisessä kohdassa voi olla jo merkittävä koulutuksen sisällön ja tutkasimulaattorin ominaisuuksien kannalta.

Tarkastellaan vaatimuksia tutkaympäristölle: Lähikatveiden ja välkkeiden luomista tutkasimulaattorilla edellytetään ainoastaan ELSO-taso 2 osalta, mutta näiden luominen saattaa olla vaativa suoritus. Live-ympäristön mittaamista simulaation kanssa samaan aikaan edellytetään myös vain yhdellä tasolla: maastoharjoittelussa. Myös tämä yksittäinen vaatimus voi vaikuttaa merkittävästi simulaattorin toteuttamiseen.

Perustason vaatimukset ovat kaikkien kohtien osalta alhaisimmat pois lukien kuva- ja puheyhteysvaatimus, jossa maastoharjoittelun osalta on vähäisempi vaatimus (siinä sitä ei tarvita).

ELSO-tason 1 vaatimukset ovat kaikilta osin samat tai alhaisemmat, kuin ELSO-tason 2. Maastoharjoittelun ja tutkaverkkojen vaatimukset taas ovat sekoitus ELSO-tasojen 1 ja 2 vaatimuksia. Esimerkiksi maalien osalta maastoharjoittelun vaatimukset ovat muuten samat kuin ELSO-tason 1, paitsi maalien on vastattava tutkan suorituskyvyn muutoksiin, kuten ELSO-tasolla 2. Tutkaverkkojen osalta vaatimukset ovat maalien osalta päinvastoin: muut vastaavat ELSO-tason 2 vaatimuksia ja maalien ei tarvitse vastata tutkan suorituskyvyn muutoksia, kuten ELSO-tasolla

#### 4. RF-simulaattorin käytettävyys

Tiettyyn pisteeseen saakka voidaan harjoitella epätarkemman simulaation avulla. Mutta vaikka tutkissa olisi vain synteettinen raakavideo ja automaattinen järjestelmä häirintöjen tunnistamiseen ja väistämiseen, on silti oltava kyky testata ja harjoitella sitä miten laite oikeasti toimii. Esimerkiksi uusien automaattisten järjestelmien kanssa on todettu RF-tason testaamisen tarpeellisuus. [11]

Automaattistenkin tutkajärjestelmien maailmassa RF-simulaattori on käytettävyydeltään korvaamaton järjestelmien todellisen suorituskyvyn testaamiseen. Molemmat asiantuntija [11] olivat sitä mieltä, että RF-simulaattoria tarvitaan välttämättä ainakin nykyisin käytössä olevalle kalustolle. Tähän näkemykseen on helppo yhtyä.

Asiantuntija [14] oli sitä mieltä, että uusien tutkajärjestelmien osalta, joissa on oma simulaattori mukana, RF-simulointia ei tarvita koulutuksessa. RF-puolella voidaan tutkia laitteiden ja simulaattoreiden toimintaa ja hyödyntää tuloksia koulutuksessa esimerkiksi säätämällä simulaatioiden toimintaa [14].

#### Vaatimustaulukon tarkastelu

Tarkastellaan nyt aikaisemmassa luvussa taulukkona esitettyjen kohtien toteuttamismahdollisuuksia RF-simulaattorilla.

Muistutettakoon yleisesti, että toimittaessa ilmateitse RF-simulaattorin tuottama korkeustieto (joka määräytyy tutkan ja simulaattorin antennien välisestä kulmasta) on monessa kohtaa ongelma, koska siihen ei voida vaikuttaa ja korkeutta mittaavat tutkat voivat hylätä maaleja tai häirintää vääränlaisen korkeustiedon takia. Korkeustiedon ongelmallisuutta ei käsitellä jokaisessa alla olevassa kohdassa, vaikka se niihin liittyisikin, sillä syyt ja seuraukset ovat samat.

Samoin ilmateitse toimittaessa ei suuntatietoa voida tuottaa vapaasti, kuten aikaisemmin on esitetty. Asiaa käsitellään alemmassa kappaleessa, mutta kaikissa kappaleissa ei erikseen mainita, että kaapelikytkentää käytettäessä

ongelmaa ei olisi (sillä kaapelikytkentä ei lähtökohtaisesti ole käytettävissä kaikkien tutkien kanssa eikä kaikissa tilanteissa).

Vaatus: ”Maalien liike ja suunta on vapaa”.

Tätä edellytetään vain ELSO-tason 2 ja tutkaverkkojen harjoittelussa. Vaatus tarkoittaa sitä, että maalien on voitava liikkua rajoituksitta tutkan mittausympäristössä: kaikissa suunnissa, kaikkiin suuntiin, kaikilla korkeuksilla ja kaikilla nopeuksilla.

Tämän vaatimuksen täyttäminen RF-simulaattorilla ilmaitse on käytännössä mahdotonta. Ilmateitse tuleva signaalihan tulee fyysisesti tutkalle juuri lähetysantennin suunnasta ja jos lähetysantenni pysyy paikallaan, ei simulaattorin tekemä maali voi periaatteessa liikkua sivu- eikä pystysuunnassa. Etäisyyden suhteen maali kyllä voi liikkua tutkan ja simulaattorin välisellä linjalla. Teoriassa voidaan ajatella, että yksittäisestäkin suunnasta voitaisiin sivukeilahäirintänä saada maali liikkumaan sivusuunnassa, mutta käytännössä jopa laboratoriomaisessa harjoittelutilanteessa sulavasti liikehtivän maalin tuottaminen on mahdotonta.

Yhdestä antennista voidaan tuottaa yksi suunta. Jos antennia liikutetaan, saadaan suunta muuttumaan. Tutkan ympärille voitaisiin asetella useita antennia, jolloin saataisiin useita yksittäisiä suuntia. Antennien pitäisi silti edelleen liikkua, jotta maalit liikehtisivät sulavasti, sillä tutkien suuntatarkkuus on asteen luokkaa, eli jotta useasta eri antennista tehtävä kohde näyttäisi samalta olisi antennien oltava noin asteen välein toisistaan tutkasta katsottuna. Vielä pitää ottaa huomioon sivusuunnan lisäksi korkeustieto, joka kasvattaa antennien tarvittavia sijainteja huomattavasti.

Voisihan olla mahdollista rakentaa jonkinlainen antennikenttä, jossa riittävän monta liikkuvaa antennia tuottaa sulavasti liikehtiviä maaleja, mutta järjestely kuulostaa melko epärealistiselta ja kalliilta. Tällaisen antennikentän suunnittelussa pitäisi huomioida mm. tutkan lähikentässä toimiminen: Antennikeilan muodostuminen vaatii tietyn etäisyyden ja tämän etäisyyden sisällä tutka ei toimi suunnitellulla tavalla. Etenkin 3D-tutkat ovat ongelma, kun keilan muoto ei lähikentässä ole oikeanlainen [14].

Lähikentän etäisyys paljon aallonpituutta suuremmalle antennille, kuten tutkien antennit, on  $R = 0,62 \times \left(\frac{D^3}{\lambda}\right)^{\frac{1}{2}}$ . Missä D on antennin pituus tai halkaisija ja  $\lambda$  on aallonpituus. [23, 4]

Esimerkiksi tutka, jonka antennin pituus on 2 m ja toimintataajuus 10 GHz saa yllä olevasta kaavasta lähikentäksi 10,1 m. Kuten kaavastakin nähdään antennin pituuden muuttaminen vaikuttaa merkittävästi lähikentän suuruuteen. Metrin pituisella antennilla lähikenttä ulottuisi vain 3,6 m asti. Esitetty lähikentän raja ei ole todellisuudessa näin selkeä, jota kauempaan tutka toimii ja lähempänä ei [14]. Lasku esittää kuitenkin asian suuruusluokkaa.

Jos simulaattoriantennit halutaan viedä lähikentän ulkopuolelle ja peittää tiiviisti koko tutkan näkymä, kasvaa simulaattoriantenneilla peitettävä pinta-ala melko suureksi. Lasketaan tuo pinta-ala:

Pallon osan pinta-ala eli segmentti on  $A = 2\pi Rh$  [24, 20, 28]. Oletetaan, että tutka ei näe aivan pystysuoraan ylös, vaan 75 asteen kulmaan saakka. Kun ympyrän (lähikentän) säde on 10,1 m, saadaan  $h = 10,1 m \times \sin 75$  josta  $h = 9,8 m$ . Näin ollen segmentin pinta-alaksi tulee  $A = 621 m^2$ . Jos tutkan näkemää aluetta laajennetaan vaikkapa 10 astetta horisontin alapuolelle laajentaa se pinta-alaa hieman:  $h = 10,1 m \times \sin 10 = 1,8 m$  josta  $A_{10} = 114 m^2$ ; jolloin kokonaispinta-ala  $A = 735 m^2$ .

Tällainen tutkan ympärille rakennettava massiivinen antennijärjestely ei kuulosta kannattavimmalta vaihtoehdolta, mutta voi olla toimiva. Jos maalien mahdollisista liikesuunnista karsittaisiin ja maaleja haluttaisiin vain pahimpaan uhkasektoriin esimerkiksi 90 asteen leveydelle, pienentäisi se RF-seinän pinta-alaa ja rakennelman kokoa neljäsosaan. Tämä ei kuitenkaan vastaisi täysin määriteltäviä tarpeita maalien liikehännälle.

Vaatus: ”Maalien määrä”.

Maalien määrä on taulukossa kahden ja kymmenen välillä ja tarkoittaa tietenkin sitä, montako maalia voidaan kussakin tilanteessa ylläpitää yhtä aikaa.

RF-simuloinnilla ei voida luoda loputonta määrää samanaikaisia maaleja, mutta kymmenen tai edes kymmenien maalien tekeminen ei pitäisi olla teknisesti mikään ongelma.

Vaatus: ”Siviilimaalit”.

Siviilimaaleja edellytetään kahdessa kohdassa: ELSO-taso 2 ja tutkaverkkojen harjoittelussa.

Käytännössä siviilikohteet voivat erota paljonkin sotilaskohteista, mutta vaikeasti havaittavaksi ja nopeasti liikkuviksi tehtyjen sotilaskohteiden simuloiminen on todennäköisesti yhtä helppoa (tai vaikeaa) kuin siviilimaalien, joten tässä mielessä siviilimaalit eivät nosta vaatimustasoa. Siviilimallisten maalien luominen onnistuu RF-simuloinnilla.

Siviilimaalit kyllä lisäävät tarvittavien maalien kokonaismäärää ja esimerkiksi merivalvontatutkan tapauksessa meriliikenteessä saattaa näkyä kymmeniä siviilimaaleja. Kuitenkin kuten yllä jo mainittiin, ei kymmenienkään yhtäaikaisten maalien luominen pitäisi olla teknisesti mikään ongelma RF-simuloinnille.

Tutkaverkkojen osalta voi olla, että verkon peittämä alue on niin suuri, että sen näkemien siviilimaalienkin määrä on erittäin suuri. Jos maaleja on satoja, voi RF-simuloinnilla tuotettavien maalien määrä tulla vastaan. (Toki rajoitus ei ole luonnontieteellinen vaan tekninen, joten tarvittaessa tekniikkaa voi hankkia lisää.)

Vaatus: ”Maalit vastaavat tutkan suorituskyvyn muutoksia”.

Tätä vaaditaan vain kahdessa harjoittelutasossa: ELSO-tasolla 2 ja maastoharjoittelussa.

Vaatimuksen mukaan maalien näkyvyyden on reagoitava todenmukaisesti tutkan suorituskyvyn muutoksiin. Esimerkiksi heikoissa näkyvyysolosuhteissa (tutkan kannalta) lähetystehon muutoksen pitäisi vaikuttaa maalien

näkyvyyteen. Samoin kohteen valaisemiseen vaikuttavat seikat, kuten erilaiset mittaasmoodit, voivat vaikuttaa maalien näkyvyyksiin. Myös tutkan vastaanotossa tehtävät muutokset, kuten erilaisten prosessointitapojen käyttö (käyttäjä ei varmaankaan näitä voi vaihtaa, mutta ne voivat vaihtua automaattisesti jonkin muun toiminnon yhteydessä) on oltava mukana maalien näkyvyydessä.

Näiden seikkojen huomioiminen ja toteuttaminen ei ole ongelma RF-simulaattorille. RF-simulaattori havaitsee jatkuvasti millainen tutkan lähete on ja luo maaleja sen mukaan. Näin se pystyy mukauttamaan maalit kulloiseenkin mittaustapaan. Samoin RF-simuloinnilla tehtävät maalit kulkevat läpi koko tutkan signaalin- ja datankäsittelyketjujen, joten ne käyttäytyvät kuten oikeatkin maalit.

Maalien korkeus voi olla ongelma, mutta kuitenkin pääosin RF-simuloinnilla tehdyt maalit vastaavat tutkan suorituskyvyn muutoksiin.

Vaatus: ”Perushäirinnät”.

Kaikilla koulutustasoilla edellytetään perushäirintöjen tekemistä.

RF-simuloinnilla voidaan ongelmitta tuottaa kaikki perushäirinnät.

Vaatus: ”Soveltavat häirinnät”.

Soveltavia häirintöjä edellytetään kaikilla muilla koulutustasoilla paitsi perustasolla.

Soveltavien häirintöjen tuottaminen ilmaitse RF-simuloinnilla ei ole ongelma. Tilanne on todellisuuden kanssa hyvin samankaltainen, kuin oikeassakin häirintätilanteessa, paitsi että simulaattori on paljon lähempänä tutkaa ja tarvitsee siten paljon vähemmän häirintätehoa ja epäherkemmän vastaanottimen. Tilanne on siis simulaattorille helpompi kuin todelliselle häiritsijälle. Häirintöjenkin suhteen korkeustieto voi olla ongelma.

Vaatus: ”Silput”.

Silppujen tuottamista vaaditaan kaikilla paitsi peruskoulutustasolla.

Silppujen tuottaminen RF-simuloinnilla ei periaatteessa ole ongelmallista. Voidaan helposti luoda paikallista ”kohdetietoa” (silppua), jota tutka vastaanottaa kaikilla etäisyyksillä silpun tasalta alkaen mitatessaan silpun suuntaan. Näin silppu ja sen seassa tai takana olevat kohteet toimisivat vielä yhteen silpun kanssa, kun tutkan vastaanottoketju käsittelee niitä samalla hetkellä vastaanotettuina tietoina.

Silppujen pitäisi vastata todellisuutta eli sitä kun ilmaan vapautettu silppu hitaasti laskeutuu, leviää ja siirtyy tuulen mukana muodostaen silppuseiniä tai käytäviä. RF-simuloinnissa suuntatiedon rajoittunut käytettävyys ilmateitse toimittaessa tekee käytännössä silppujen tekemisestä mahdotonta [14].

Vaatus: ”Häirintälähteitä yhtä aikaa”.

Yhdenaikaisia häirintälähteitä vaaditaan olevan 1 – 6 eri tasoilla.

Kuten maalien määrä, häirintöjenkin määrä on riippuvainen tekniikasta. Kuusikin yhtä aikaista häirintää on kuitenkin vielä melko vähäinen määrä. Ja häirintöjen määrälle ilmateitsekin toteutettavassa RF-simulaatiossa ei ole luonnontieteellisiä rajoitteita. Riittävä määrä yhtäaikaisia häirintöjä on toteutettavissa RF-simulaatiolla.

Vaatus: ”Häirintöjen liike ja suunta on vapaa”.

Tätä vaaditaan ELISO-tasolla 2 ja tutkaverkkojen koulutuksessa, samoin kuin maalienkin osalta. Vastaus vaatimuksen toteutettavuudesta on myös sama: ilmateitse RF-simulaatiossa ei voida toteuttaa suunnanvaihteluita vapaasti, kuten ylempänä kuvailtiin. Tämä vaatimus ei ole toteutettavissa.

Vaatus: ”Häirinnät vastaavat tutkan suorituskyvyn muutoksia”.

Tämä vaatimus tulee täyttyä kahdella koulutustasolla: ELISO-tasolla 2 ja maastoharjoittelussa, samoin kuin vaatimus maalien näkyvyyden vastaavuudesta tutkan suorituskyvyn muutoksiin. Vaatus toteutuu vastaavalla tavalla, kuin maalien osalta: Häirinnät kulkevat koko tutkan maalinkäsittelyketjun läpi, joten



ne myös toimivat ja vaikuttavat tutkalle oikeilta ja käyttäytyvät sen mukaan. Tämä vaatimus on toteutettavissa RF-simulaatiolla.

Vaatimus: ”Lähikatveet”.

Lähikatveja tulisi voida simuloida vain ELSO-tasolla 2.

Lähikatveetkin on periaatteessa toteutettavissa samoin kuin silput: niiden vaatima kaikutieto voitaisiin tuottaa, mutta ei riittävän moneen suuntaan. Suuntatiedon riittämättömyys RF-simuloinnissa ilmaitse käytännössä estää lähikatveiden luomisen.

Vaatimus: ”Välkkeet”.

Erilaisia välkkeitä, kuten sadevälkettä, tulisi voida luoda vain ELSO-tasolla 2.

Periaatteet välkkeille ovat samankaltaiset kuin lähikatveille ja silpulle. Rajoittuneesta suuntatiedosta johtuen välkkeitä ei voida tuottaa ilmaitse RF-simulaatiolla.

Vaatimus: ”Todellisen ympäristön mittaaminen samaan aikaan”.

Todellista ympäristöä on voitava mitata simuloinnin kanssa samaan aikaan vain maastoharjoittelussa.

Kun simulaatiota tehdään ilmaitse RF-simulaationa, ei se vaikuta periaatteessa mitenkään tutkan mahdollisuuksiin toimia normaalisti. Tämä vaatimus on helppo täyttää RF-simulaatiolla ilmaitse.

Jos RF-simulaatio tehdään kaapelikytkennässä, tilanne voi olla toinen. Kaapeleiden kytkeminen voi estää esimerkiksi antennin pyörittämisen tai signaalin kulkemisen antennin ja vastaanottimen välillä kokonaan. Joissakin tapauksissa tämä voidaan ottaa huomioon ja ongelmaa ei ole, muttei välttämättä kaikissa tapauksissa.

Vaatus: ”Operaattorin on harjoiteltava oikealla laitteella”.

Tätä vaaditaan ELSO-tasolla 2, maastoharjoittelussa ja tutkaverkkojen harjoittelussa.

RF-simulaatio oikeastaan edellyttää, että harjoittelu tapahtuu oikealla laitteella, sillä harvoin harjoituslaitteita tehdään toimimaan RF-tekniikalla. Tämä vaatimus siis täyttyy. Ongelmallisempaa taas nimenomaan olisi löytää sellainen harjoittelulaite, jolle RF-simulaattorilla voitaisiin tuottaa maaleja ja häirintöjä.

Vaatus: ”Kuva- ja puheyhteys”.

Tätä vaaditaan kaikilla koulutustasoilla paitsi maastoharjoittelussa.

Tämä vaatimus on ehkä vähiten riippuvainen siitä, minkälaisella simulaatiolla harjoittelu järjestetään. Ilmateitse toteutettavan RF-simulaation tapauksessa ainoa huomioon otettava seikka lienee käyttöpaikkojen välinen etäisyys. Jos RF-simulaattorin käyttöpaikka on kovin kaukana tutkan käyttöpaikasta ja tietoturvallisen yhteyden takaamiseksi tarvitaan kaapeliyhteys, eikä saatavilla ole puolustusvoimien kiinteän verkon yhteyttä, muodostuu yhteyden rakentamisesta aikaa vievä prosessi. Tämä ei suoranaisesti ole RF-simulaattorin ominaisuus eikä vaikuta vaatimuksen toteutettavuuteen.

## Yhteenveto vaatimusten täyttämistä RF-simulaattorilla

	Vaativuudet	Perus- taso	ELSO- taso 1 taso 2		Maasto- harjoittelu	Tutkaverkot
Maalit	Maalien liike ja suunta on vapaa	ei	ei	kyllä	ei	kyllä
	Maalien määrä	2	5	10	5	10
	Siviilimaalit	ei	ei	kyllä	ei	kyllä
	Maalit vastaavat tutkan suorituskyvyn muutoksia	ei	ei	kyllä	kyllä	ei
Häirinnät	Perushäirinnät	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä
	Soveltavat häirinnät	ei	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä
	Silput	ei	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä
	Häirintälähteitä yhtä aikaa	1	2	6	2	6
	Häirintöjen liike ja suunta on vapaa	ei	ei	kyllä	ei	kyllä
	Häirinnät vastaavat tutkan suorituskyvyn muutoksia	ei	ei	kyllä	kyllä	ei
Tutka- ympäristö	Lähikatveet	ei	ei	kyllä	ei	ei
	Välkkeet (kuten sade)	ei	ei	kyllä	ei	ei
	Todellisen ympäristön mittaaminen samaan aikaan	ei	ei	ei	kyllä	ei
Koulutus- ympäristö	Operaattorin on harjoitettava oikealla laitteella	ei	ei	kyllä	kyllä	kyllä
	Kuva- ja puheyhteys	kyllä	kyllä	kyllä	ei	kyllä
	Toteutettavissa RF-simulaatiolla ilmaitse					
	Voi olla toteutettavissa RF-simulaatiolla ilmaitse					
	Ei toteutettavissa RF-simulaatiolla ilmaitse					

Taulukko 2. Koulutustasovaatimukset ja niiden toteutettavuus RF-simulaattorilla.

Yllä olevasta tarkastelusta voidaan todeta, että ilmaitse toteutetulla RF-simulaatiolla on yksi heikkous, joka vaikuttaa moneen asiaan: suunnanvaihtelun toteuttaminen. Tämä heikkous jäisi pois RF-simulaatiossa kaapelikytkennässä. Toinen tapa päästä eroon heikkoudesta olisi jonkinlainen antenniseinärakennelma, jota ylempänä käsiteltiin. Liikkuva simulaattorin antenni mahdollistaisi suunnan muuttumisen, mutta ei siltikään useita yhtäaikaista suuntia. Jätetään tässä käsittelemättä useasta liikkuvasta antennista

koostuva järjestely tarvittavien antennien suuren määrän ja sen epäkäytännöllisyyden takia.

Ilmateitse tuotetun RF-simulaation kaikki ongelmat johtuvat rajoittuneesta suunnanvaihtelukyvystä. Jos tämä ongelma voidaan jollakin tavalla ohittaa, tekee se RF-simulaatiosta tämän tutkimuksen valossa virheettömän simulaatiovaihtoehdon.

Tällä hetkellä ratkaisua asiaan ei ole. Taulukon 2 mukaan ilmateitse RF-simulaattori olisi täysin käytettävissä vain perustason koulutuksessa (huomioiden sen, että jos operaattori ei harjoittele oikealla laitteella, silloin tuskin voidaan käyttää RF-simulaatiotakaan).

Haastattelujen [11, 14] pohjalta arvioisin, että vaatimukset maalien ja häirintöjen liikekyvystä on ensiarvoisen tärkeä sitä vaativilla koulutustasoilla. Näin ollen RF-simulaattorilla ei ilmateitse voida toteuttaa koulutusta ELSO-tasolla 2 eikä tutkaverkoille. Muut täyttymättä jäävät vaatimukset, silput, lähikatveet ja välkkeet, eivät taas ole aivan niin kriittisiä. Ilman niitäkin voitaisiin kyseisiä asioita vaativa koulutus toteuttaa.

Näin ollen voidaan listata RF-simulaattorin olevan ilmateitse käytettävissä seuraavilla koulutustasoilla:

- Perustaso
- ELSO-taso 1
- Maastoharjoittelu

RF-simulaattori ei ole käytettävissä ilmateitse seuraavilla koulutustasoilla:

- ELSO-taso 2
- Tutkaverkot

Kaapelikytkennässä, silloin kun se on mahdollista toteuttaa, RF-simulaatiolla pystytään toteuttamaan kaikki esitetyt koulutustasot ja täyttämään koulutusvaatimukset.

## Vaihtoehtoja RF-simulaattorille

On useita simulointivaihtoehtoja. Perustelluista syistä tässä tutkimuksessa on keskitytty vaihtoehtoin, joissa operaattori harjoittelee todellisella laitteellaan. Nämä simulointivaihtoehdot voidaan jakaa kahteen: Simulointi tehdään ennen vastaanotinta (RF-simulointi) tai se tehdään vastaanottimen jälkeen tiedonkäsittelyvaiheessa (digitaalisimulointi).

Digitaalinen simulointi ohittaa monia RF-simulaation ongelmia, mutta tuo mukanaan uusia haasteita. Yhtenä vaikeutena on todellisen ja simuloitun ympäristön yhteensovittaminen [14]. RF-simulaatiossa se ei ole ongelma, sillä simuloitu maali muuttuu dataksi kuten oikeakin maali ja siihen vaikuttavat ympäristön ilmiöt tutkan käsittelyketjussa. Digitaalisesti simuloitu maali taas on todennäköisesti keinotekoisista, valmiiksi pureskeltua, dataa. Tutkaympäristö kuten välke, kanavoituminen ja muut ilmiöt eivät välttämättä vaikuta digitaaliseen simulaatioon [14]. Esimerkiksi maastoharjoituksessa tutkalla olisi mitattava oikeita kohteita ja lisäksi saatava mukaan simuloituja kohteita ja häirintää. Simuloitujen kohteiden pitäisi hävitä rankkasateeseen, kuten oikeidenkin, mutta se voi olla mahdotonta [14]. Digitaalisesti simuloitu maali ei välttämättä reagoi mitenkään muuhun tutkan vastaanottamaan dataan, joten se ei välttämättä reagoi esimerkiksi juuri sateeseen mitenkään, vaan näkyy sateen päällä. On kuitenkin mahdollista, että digitaalinen simulointi on toteutettu niin hyvin, että se huomioi kaikki tutkan maalinkäsittelyn ominaisuudet, kuten RF-simulaatiokin. RF-simulaatiosta tiedetään, että se kulkee tutkan signaalinkäsittelyosien läpi ja toimii oikein. Digitaalinen simulaatio taas voidaan (ja on helpompaa) toteuttaa monella muullakin tavalla.

Haastateltavan [14] mukaan digitaalisimulaattorin ei pitäisi olla erillinen laite, vaan tutkahankinnan yhteydessä hankittava osuus. Simulaattori on osattava määrittellä oikein hankinnan yhteydessä. Kun valmistaja tekee simulaattorin, on se ”halpaa” ohjelmistotyötä. Jos taas simulaattori yritetään itse tehdä jälkikäteen, tutkimalla valmiin laitteen toimintaa, törmätään isoihin ongelmiin. Simulaattori saataisiin ehkä näyttämään oikeanlaiselta, siten että voitaisiin harjoitella havaitsemista. Se että jälkikäteen tehty digitaalisimulaattori saataisiin reagoimaan realistisesti tutkan eri ominaisuuksiin, moodien vaihtoihin ja automaattisiin toimintoihin tuntuu mahdottomalta. [14]

Haastateltava [14] sanoo, ettei usko että ikinä pystyttäisiin selvittämään signaalien toiminta tutkan sisällä niin tarkkaan, että reagoiva digitaalisimulaatio olisi mahdollinen (huomioiden simulaatiolta vaadittava tarkkuus ja valmius panostaa kehitystyöhön) [14].

Digitaalisimulaattori tulisi saada valmistajalta hankinnan yhteydessä oikein määriteltynä [14]. Valmistajan tuottaman simulaattorin toiminta on pystyttävä todentamaan ja vertaamaan sen toimintaa todellisuuteen [14]. Tähän tarvitaan RF-simulaatiokykyä [14]. RF-simulaattoria tarvitaan siis joka tapauksessa tutkimus- ja testauskäyttöön. Jos RF-simulaattori hankittaisiin vain tähän käyttöön, sen vaatimukset olisivat todennäköisesti toisenlaiset, kuin koulutuskäyttöön hankitun simulaattorin.

## 5. Pohdinta ja yhteenveto

Tutkimuksessa muodostettiin koulutusvaatimukset simulaattorille ja tuotettujen vaatimusten oikeellisuus ja käyttöarvo on hyvä. Koulutusvaatimusten toteutettavuutta RF-simulaattori arvioitiin ja saatiin tulokset mitkä asiat voidaan toteuttaa ja mitä ei.

Vaikka RF-simulaatiolla voidaan toteuttaa suurin osa oleellisista vaatimuksista, kuten taulukosta 2 nähdään, puuttuu ilmateitse toimittaessa RF-simuloinnista yksi oleellinen tekijä, joka vaikuttaa laajasti. Ilmateitse RF-simuloinnilla ei voida toteuttaa maalien tai häirintöjen liikehdintää ja suuntia vapaasti. Tämä vaikuttaa merkittävästi toteutettavissa oleviin koulutusskenaarioihin. Vaikka RF-simuloinnilla voidaankin toteuttaa kaikkia soveltavia häirintöjä, jotka vastaavat todenmukaisesti tutkan suorituskykyyn, ei voida luoda riittävän monipuolista maalitulannetta, että kyseisiä häirintöjä olisi mielekästä käyttää.

Haastattelujen osalta koulutuksen realismin tarpeesta oli eriäviä näkemyksiä. Koulutuksesta vastaavat asiantuntijat olivat parhaan mahdollisen realismin kannalla, kun taas RF-tekniikan asiantuntija piti mahdollisena pientä tinkimistä realismista [11, 14]. Tämä näkökulmien ero voisi olla merkittävä painotettaessa tärkeimpiä vaatimuksia ja päätettäessä onko jokin koulutus riittävän hyvin toteutettavissa RF-simulaatiolla ilmateitse vai ei. Se ei kuitenkaan muuta oleellisesti tämän tutkimuksen tulosta.

### Operaattorin merkitys jatkossa

Tutkien ja tutkajärjestelmien kehitys on suuntautunut jonkin aikaa siihen, että automatisoitujen toimintojen merkitys kasvaa ja operaattorilta edellytetään kokonaisuudessaan vähemmän toimenpiteitä. Operaattorin ammattitaitoa ei tarvita niin paljoa tutkan toimintojen käyttämiseen ja esimerkiksi häirintöjen väistämiseen tai edes tunnistamiseen, kuin aikaisemmin. Operaattori ei välttämättä edes pysty käyttämään ammattitaitoaan, jos järjestelmä ei sitä mahdollista. Tulevaisuuden suuntaus on, että tutkat automatisoituvat ja syntetisoituvat [11]. Eli operaattori ei näe tutkan tuottamaa raakatietoa (raakavideo) vaan tutka käsittelee datan jo hyvin pitkälle, ennen kuin se esitetään operaattorille. Tämän johdosta operaattori ei ole enää niin tietoinen siitä, mitä tutka todella havaitsee. Toisaalta se ei ole enää tarpeellista, sillä

automaattiset toiminnot havaitsevat, tunnistavat ja jopa väistävät häirintöjä omatoimisesti. Järjestelmä esittää käyttäjälle esimerkiksi tekstinä havaitsemansa häirinnän ja käyttämänsä väistötoimenpiteen.

ITO12 järjestelmän tutka edustaa puolustusvoimien uusinta tutkakalustoa. ITO12 järjestelmän osalta voidaan miettiä ovatko operaattorin harjoittelumahdollisuudet ja vaatimukset muuttuneet, kun tutkassa on häirinnän ilmaisujärjestelmä ja synteettinen raakavideo. Operaattorille voidaan simuloida tilanne, jossa häirintöjä pystyy havaitsemaan, mutta pystyykö operaattori enää analysoimaan tutkansa suorituskykyä häirityissä olosuhteissa [11]?

Automaattisissa tutkajärjestelmissä voi olla perinteisiä väistömenetelmiä, joiden hallitseminen tavanomaisella tutkalla edellyttää syvällistä osaamista operaattorilta. Automaattisen järjestelmän osalta taas syvällistä harjoittelua ei välttämättä tarvita, sillä operaattori joko näkee tai ei näe symboleita [11]. Tutka arvioi tilanteen ja tekee väistötoimenpiteen automaattisesti ja vain näyttää ilmoituksen käyttäjälle.

Jos halutaan harjoitella tutkajoukon johtoportaan ja tulenjohtoketjun toimintaa, ei tarvitse harjoituttaa laitetason käyttäjää, jolloin simulointi voidaan tehdä johtoportaan järjestelmälle. Tässä harjoittelussa ei tarvita RF-simulointia. [11]

## Nykyiset ja tulevat järjestelmät

Erään haastateltavan [11] oma näkemys oli, että puolustusvoimat on hankkinut äskettäin uusia ilmatorjunnan tutkajärjestelmiä eikä uudempia järjestelmiä tule vielä pitkään aikaan. Nykyisten järjestelmien osalta RF-simulaatio on oleellinen [11]. Tutkien verkottuminen vaikuttaa laitetason koulutuksen tarpeeseen, mutta asejärjestelmäsensoreiden osalta se tulee pysymään [11].

Tulevaisuudessa tutkajärjestelmien kehittyminen niiden käytön ja käytettävyyden osalta jatkuu todennäköisesti sellaiseen suuntaan, että käyttäjä voi tehdä entistä vähemmän ja tutkakuva on täysin synteettinen. Tämä johtaa siihen, että tutkalla häirinnästä havaittavat yksityiskohdat vähenevät huomattavasti. Operaattorin havaittavaksi jää lopulta enää tutkan antama ilmoitus häirinnästä (ja mahdolliset lisätiedot, kuten häirinnän suunta ja tyyppi).



Tämän kehityksen myötä tutkasimulaattorilta vaadittava suorituskyky häirinnän yksityiskohtien osalta alenee, koska operaattori ei pysty enää havaitsemaan niitä. Toisaalta häirinnän yksityiskohtien on täytettävä tutkan odotukset häirinnästä, jotta tutka antaa operaattorille oikean häirintäilmoituksen.

Tutkien nykyinen kehitys näyttäisi johtavan siihen suuntaan, että häirintää ei haluta esittää operaattorille yksityiskohtaisesti. Seuraavat uudet hankittavat tutkajärjestelmät voivat olla jo tällaisia. Näin ollen tutkan esittämä tieto häirintöjen yksityiskohdista on nyt huipussaan raakavideon muodossa. Nykyisille tutkille riittävän hyvä tutkasimulaattori on siis tuottamiensa häirintöjen yksityiskohtien osalta riittävän hyvä myös tuleville järjestelmille. Toinen asia on se, että jos uusien järjestelmien häirinnäväistöominaisuudet ovat riittävän hyvät, saadaanko niille häirintäilmoituksia näkymään lainkaan.

Toisaalta yksi käyttötapa tutkalle on käyttää sitä häirinnän havaitsemisen ja analysoinnin välineenä. Uuteen automaattiseen tutkaan voitaisiin analysityökaluja, jolloin tutka esittäisi tarkkoja tietoja häirinnän yksityiskohdista. Tämä ei kuitenkaan välttämättä ole nykyisen kehityksen kannalta kustannustehokas vaihtoehto tutkan kehittämiseen.

### Passiivinen tutka

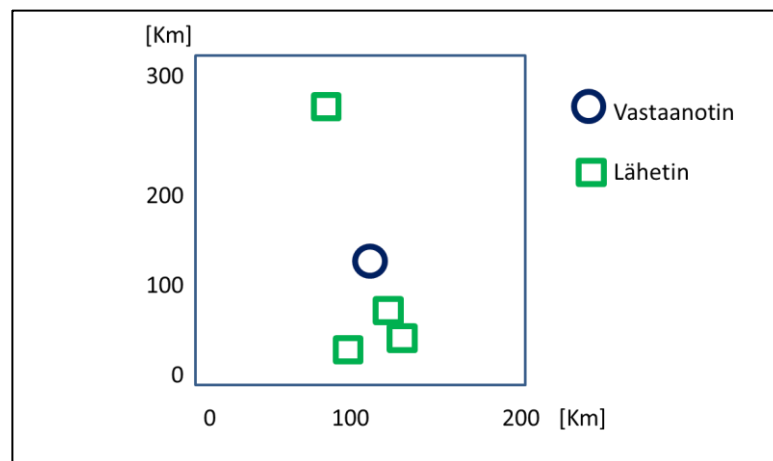
Passiivinen tutka on todennäköisesti yksi tulevaisuuden kehityssuunta [14]. Passiivisen tutkan toimintaperiaate on, että tutka itsessään ei lähetä mitään ja se vastaanottaa kohteesta heijastuvaa ympäristön ja ympäröivän maailman aiheuttamaa säteilyä (esimerkiksi yleishyödylliset lähteet kuten matkapuhelinverkot, FM-radiolähteet ja digitaaliset audio/video lähteet[7, 3]). Samanlaisena toimintaperiaatteena voitaisiin nähdä puoliaktiivinen multistaattinen tutkajärjestelmä, jossa erilliset ympäristöön sijoitellut säteilylähteet tuottavat passiivisille vastaanottimille sopivaa signaalia. Ainakin erillisillä lähetimillä voitaisiin täydentää niiden alueiden säteilyä, jossa sitä ei muuten ole riittävästi.



Kuva 10. Passiivinen tutka, jossa VHF- ja UHF-alueen antennit (2006).

[3]

Kuvassa 9 on saksalainen teknologiademoksi tarkoitettu passiivinen tutkavastaanotin, joka toimii 150-350 MHz ja 400-700 MHz taajuusalueilla. Antennissa on 16 elementtiä pyöreässä rakenteessa, jotta sitä ei tarvitse mekaanisesti pyörittää (rakenne mahdollistaa 360° keilanmuodostuksen). [3]



Kuva 11. Passiivisentutkatestin lähettimien ja vastaanottimen sijainnit. [3]

Kuvan 10 mukaisella testijärjestelyllä saatiin tutkimuksessa [3] muodostettua erilaisilla signaalinkäsittelymenetelmillä maalidataa n. 40 km päähän. Tutkimuksessa ei kuitenkaan käsitelty varsinaisesti saadun datan tarkkuutta

(vaan signaalinkäsittelymenetelmien eroavaisuuksia) eikä passiivisen tutkan mahdollisesti havaitsemia maaleja verrattu minkään muun järjestelmän havaintoihin.

Lähettimien ja vastaanottimen välistä geometriaa on myös tarkasteltava, kun mietitään passiivisen tutkan sotilaskäyttöä. Kuvan 10 tapauksessa ainoan pohjoisessa olevan lähettimen poistaminen voisi estää siitä suunnasta maalien havaitsemisen tai ainakin heikentäisi tarkkuutta merkittävästi. Sotatilanteessa on oletettavaa, että vastustajan toiminta-alueella ei välttämättä ole aktiivisia passiivisen tutkan tarvitsemia lähtimiä.

Passiivisen tutkan rakentamisessa on joitakin luonnontieteellisiä haasteita. Ympäristössä tarjolla oleva säteilyn ilmaiseminen sen jälkeen, kun se on heijastunut halutusta kohteesta, on vaikeaa. Ympäristön säteily on tutkajärjestelmän näkökulmasta voimakkuudeltaan melko heikkoa. Säteily heikkenee merkittävästi heijastuttuaan kohteesta suhteessa heijastumattomaan säteilyyn, jolloin hyötysignaalin erottaminen kohinasta (ja suoraan lähtimestä vastaanottimeen edenneestä säteilystä) on vaikeaa. Suoraan lähtimestä vastaanottimeen saapunut signaali voi olla yli 50 dB voimakkaampi kuin kohteesta heijastunut vastaava signaali ja tämä asettaa uudenlaisia vaatimuksia signaalinkäsittelylle [3].

Passiivisen tutkan häiritsemisen haasteena voi olla käyttäjälle esitettävän tiedon tarkkuuden vähyys, kuten ylempänä käsiteltiin. Toisaalta passiivinen tutka voisi olla juuri sellainen järjestelmä, jossa olisi tarpeellista esittää käyttäjälle yksityiskohtaista tietoa tutkan vastaanottamista signaaleista. Tällöin passiivinen tutka toimisi suorastaan häirinnän analysointityökaluna ja voisi vaatia häirintöjen yksityiskohdilta samaa toteutusta, kuin nykyiset järjestelmät. Haasteina passiivisen tutkan häirinnässä voisivat olla tutkan käyttämä mahdollisesti poikkeuksellisen laaja vastaanottoaika, sillä passiivisen tutkan tulisi todennäköisesti kyetä toimimaan kaikilla ympäristössä olevilla taajuuksilla ollakseen tehokas ja toisaalta pelkän vastaanottimen rakentaminen laajakaistaiseksi on paljon edullisempaa, kuin lähettimen rakentaminen (jota normaali tutka tarvitsee). Passiivinen tutka tarvitsisi todennäköisesti erittäin tehokasta signaalinkäsittelyä ja se voisi myös vaikeuttaa häirintävaikutuksen aikaansaamista passiiviselle tutkalle. Passiivinen tutka sisältäisi todennäköisesti

uusia toiminnallisuuksia maalitiedon muodostamiseen, jotka olisi huomioitava harhauttavia häirintöjä toteutettaessa. Toisaalta passiivinen tutka joutuu ilmaisemaan erittäin heikkoja signaaleja, joiden peittäminen kohinahäirinnällä ei signaalinkäsittelystä huolimatta vaadi kovin paljon häirintätehoa.

## Jatkotutkimukset

Työn aikana on esille noussut mielenkiintoisia aiheita, joita tutkija pitää mielekkäinä Pro Gradu aiheina:

- Siirrettävän tutkikaluston riittävyys poikkeusoloissa ja tarvittava tutka-ELSO-koulutusmäärä
- Kaupallisten tutkien toimivuus, mahdollisuudet ja korvattavuus SA-toimintaympäristössä
- Häivelekkien (tai lennokkien yleensä) havaittavuuden merkitys Puolustusvoimissa valvontajärjestelmälle
- Tutkaoperaattoreiden merkitys ja rooli puolustusvoimissa (ennen, nyt ja tulevaisudessa)
- Tutkaverkko-operaattoreiden kouluttamisen erityispiirteet
- Tutkaverkkotaktiikka konseptina
- Passiiviset tutkat sotilaskäytössä
- Tutkaoperaattorin käyttölaitteiden kehittyminen

Lisäksi esille on noussut muutamia suoraan tähän tutkimukseen liittyviä aiheita:

- RF-simulaattorin vaatimusmäärittely
- Kaapelikytkentöjen tekeminen puolustusvoimien tasoantennitutkiin
- Digitaalisimulaattorin vaatimusmäärittely (valmistajalle tutkahankkeen yhteydessä)

## LÄHDELUETTELO

- [1] Analog Devices. Kuva. Tutkan lohkokaaavio. [viitattu 20.3.2015] Saatavissa: [http://www.electronicproducts.com/uploadedImages/Analog\\_Mixed\\_Signal\\_ICs/Communications\\_Interface/Analog%20Devices%20-%20Radar.PNG](http://www.electronicproducts.com/uploadedImages/Analog_Mixed_Signal_ICs/Communications_Interface/Analog%20Devices%20-%20Radar.PNG)
- [2] ChainHomeHigh. Artikkele. Finland – GroundMaster-400 Radar Enters Service. 2013. [viitattu 29.1.2015]. Saatavissa: <https://chainhomehigh.wordpress.com/2013/01/17/finland-groundmaster-400-radar-enters-service/>
- [3] Christian R. Berger & others. Signal Processing for Passive Radar Using OFDM Waveforms. 2010. [viitattu 30.3.2015]. Saatavissa: <http://users.ece.cmu.edu/~crberger/J-STSP-MRA-00514-2009-final.pdf>
- [4] Christodoulou Christos G. Wahid Parveen F. Fundamentals of Antennas: Concepts and Applications. 2001. [viitattu 13.4.2015]. Ote saatavissa: <https://books.google.fi/books?id=kv3rEBUy01AC&lpg=PA13&ots=pRCTb-EnH7&dq=near%20field%200.62&hl=fi&pg=PA16#v=onepage&q=%200.62&f=false>
- [5] European Space Agency. Space Surveillance and tracking – SST segment. 2014. [viitattu 29.1.2015]. Saatavissa: [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Operations/Space\\_Situational\\_Awareness/Space\\_Surveillance\\_and\\_Tracking\\_-\\_SST\\_Segment](http://www.esa.int/Our_Activities/Operations/Space_Situational_Awareness/Space_Surveillance_and_Tracking_-_SST_Segment)
- [6] Gabbard, Joseph L. & muut. Usability Engineering for Complex Interactive Systems Development. 2003.
- [7] Griffiths, H.D. Baker, C. J. Abstract. Passive coherent location radar systems. Part 1: performance prediction. 2005. [viitattu 30.3.2015]. Saatavissa: [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=1459150&url=ht tp%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs\\_all.jsp%3Farnumber%3D1459150](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=1459150&url=ht tp%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D1459150)

[8] Hirsjärvi, Sirkka ja Hurme, Helena. Tutkimushaastattelu: teemahaastattelun teoria ja käytäntö. 2010.

[9] Ilmavoimien esikunta. Ilmatilaa valvotaan kellon ympäri. 2013. [viitattu 29.1.2015].

Saatavissa:

<http://www.puolustusvoimat.fi/wcm/SU+Puolustusvoimat.fi/Puolustusvoimat.fi/Ilmavoimat/Perustietoa/Ilmavoimien+kalusto/Ilmavalvonta/Ilmavalvontatutkat>

[10] Kongsberg. Kuva. ITO12 FDC. NASAMS-FDC-Command-Post. [viitattu 3.3.2015]. Saatavissa: <http://200.kongsberg.com/timeline/rebirth/Luftvern>

[11] Kontinaho, Marko. Metsoila, Arto. Haastattelu (ryhmähaastattelu). Elektronisensodankäynnin keskus. 2014.

[12] Laamenen, Eero J. Kuva. Ohjusvene Haminan komentosilta ja varusteita. 2011. [viitattu 3.3.2015].

Saatavissa:

<http://www.vastavalo.fi/displayimage.php?pos=-305908>

[13] Lappalainen, Esa (toim.) ja Jormakka, Jorma (toim.). Tekniset tutkimusmenetelmät Maanpuolustuskorkeakoulussa. 2004.

[14] Myyryläinen, Pasi. Puolustusvoimien tutkimuslaitos. 2014 ja 2015.

[15] Nelson, W. Todd. Bolia, Robert S. US Air Force Research Laboratory. Battle Management Command and Control (BMC2) Human Machine Interface (HMI) Design Guide. 2005.

[16] NXP. Kuva. Elektronisesti keilaavan tutkan lohkokaavio. [viitattu 20.3.2015].

Saatavissa:

[http://www.electronicproducts.com/uploadedImages/RF\\_and\\_Microwave\\_Components/RF\\_and\\_Microwave/NXP%20-%20L-S%20Band%20AESA.gif](http://www.electronicproducts.com/uploadedImages/RF_and_Microwave_Components/RF_and_Microwave/NXP%20-%20L-S%20Band%20AESA.gif)

[17] Pihlaja, Eila. Ilmavoimat. Kuva. KEVA 2010. 15.1.2013. [viitattu 3.3.2015].

Saatavissa:

<http://www.puolustusvoimat.fi/wcm/Erikoissivustot/Ilmavoimien+kuvat/Suomeksi/Ilmavalvontatutkat/>

[18] Pääesikunnan viestintäosasto. Puolustusvoimien tehtävät. 2013. [viitattu 22.1.2015]. Saatavissa:

<http://www.puolustusvoimat.fi/portal/puolustusvoimat.fi/?1dmy&urile=wcm%3apath%3a/SU+Puolustusvoimat.fi/Puolustusvoimat.fi/Puolustusvoimat/Perustietoa/Puolustusvoimien+tehtavat/>

[19] Ruotuväki 6/2009 – Uutiset s. 4. [viitattu 29.1.2015].

Saatavissa:

<http://www.puolustusvoimat.fi/wcm/4bedb8004b2db42b94e9bd65732193f3/Ruotuv%C3%A4ki+0609+s4.pdf?MOD=AJPERES>

[20] Taulukot.com. Geometrian kaavoja. [viitattu 13.4.2015]. Saatavissa:

[http://www.taulukot.com/index.php?search\\_id=geometria](http://www.taulukot.com/index.php?search_id=geometria)

[21] Tuokko Ville. Puolustusvoimat. Kuva. 6.12.2010. Kuopio. ITO05. [viitattu 25.3.2015]. Saatavissa:

<http://www.puolustusvoimat.fi/wcm/erikoissivustot/itsenaisyyspaiva2010/suomeksi/kuvagalleria>

[22] US ARMY RDECOM. TECHNICAL REPORT No: AMSRD-CER-NV-TR-235. 2005. [viitattu 22.1.2015]. Saatavissa:

[www.dtic.mil/2Fcgi-bin/2FGetTRDoc%3FAD%3DADA437058&ei=500PVeWzFoeeywPv\\_oG4Dw&usg=AFQjCNHTrsT9Y9I8E\\_XcTSB4IL3nQ2GVJg&sig2=EJVDfE-GDjfHxyn7UxAAQ&bvm=bv.88528373,d.bGQ&cad=rja](http://www.dtic.mil/2Fcgi-bin/2FGetTRDoc%3FAD%3DADA437058&ei=500PVeWzFoeeywPv_oG4Dw&usg=AFQjCNHTrsT9Y9I8E_XcTSB4IL3nQ2GVJg&sig2=EJVDfE-GDjfHxyn7UxAAQ&bvm=bv.88528373,d.bGQ&cad=rja)

[23] Wikipedia. Lähi- ja kaukokenttä (antennitekniikka). [viitattu 16.3.2015].

Saatavissa: [http://en.wikipedia.org/wiki/Near\\_and\\_far\\_field](http://en.wikipedia.org/wiki/Near_and_far_field)

[24] Wikipedia. Pallon osan pinta-ala. [viitattu 18.3.2015]. Saatavissa:

[http://en.wikipedia.org/wiki/Spherical\\_segment](http://en.wikipedia.org/wiki/Spherical_segment)

[25] Wikipedia. Tutkan historia. [viitattu 22.1.2015]. Saatavissa:

[http://fi.wikipedia.org/wiki/Tutkan\\_historia](http://fi.wikipedia.org/wiki/Tutkan_historia)



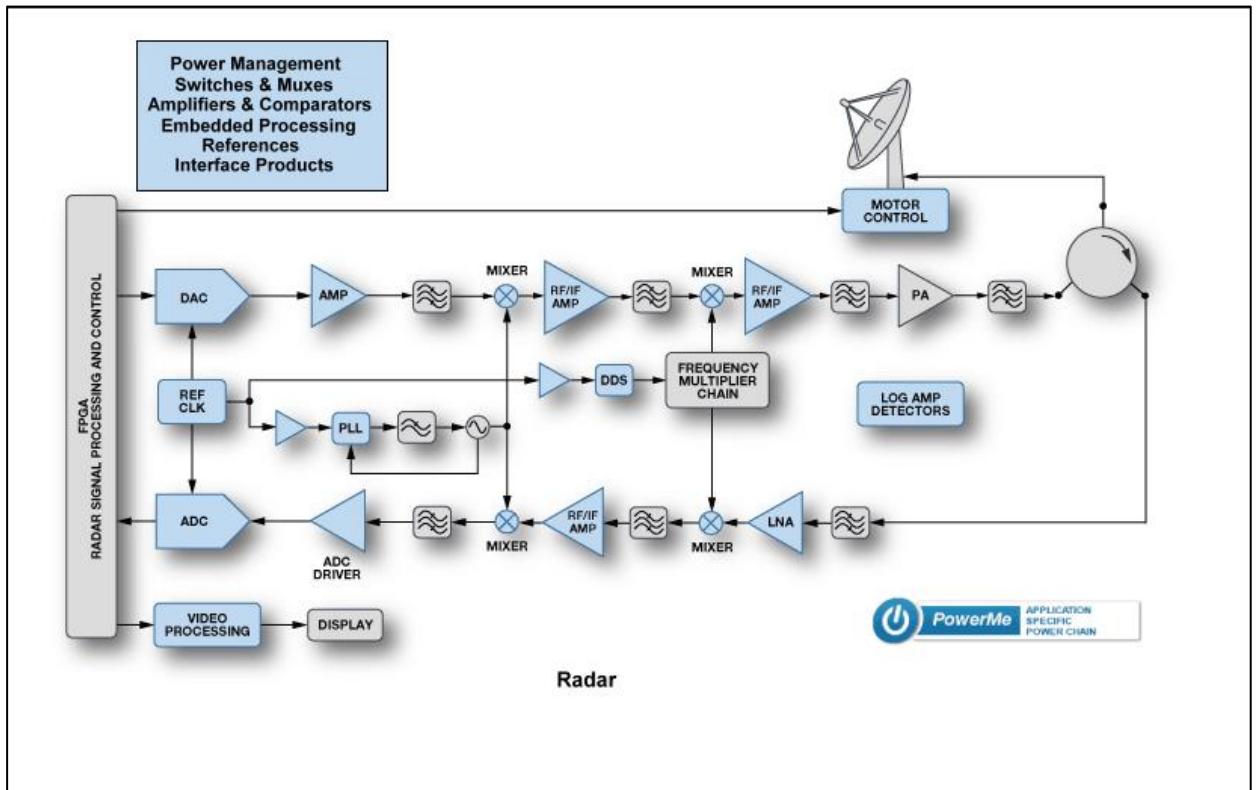
[26] Wikipedia. Venäjän avaruudenvälvontaverkko. [viitattu 29.1.2015].  
Saatavissa: [http://en.wikipedia.org/wiki/Main\\_Space\\_Intelligence\\_Centre](http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Space_Intelligence_Centre)

[27] Wikipedia. Yhdysvaltojen avaruudenvälvontaverkko. [viitattu 29.1.2015].  
Saatavissa:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/United\\_States\\_Space\\_Surveillance\\_Network](http://en.wikipedia.org/wiki/United_States_Space_Surveillance_Network)

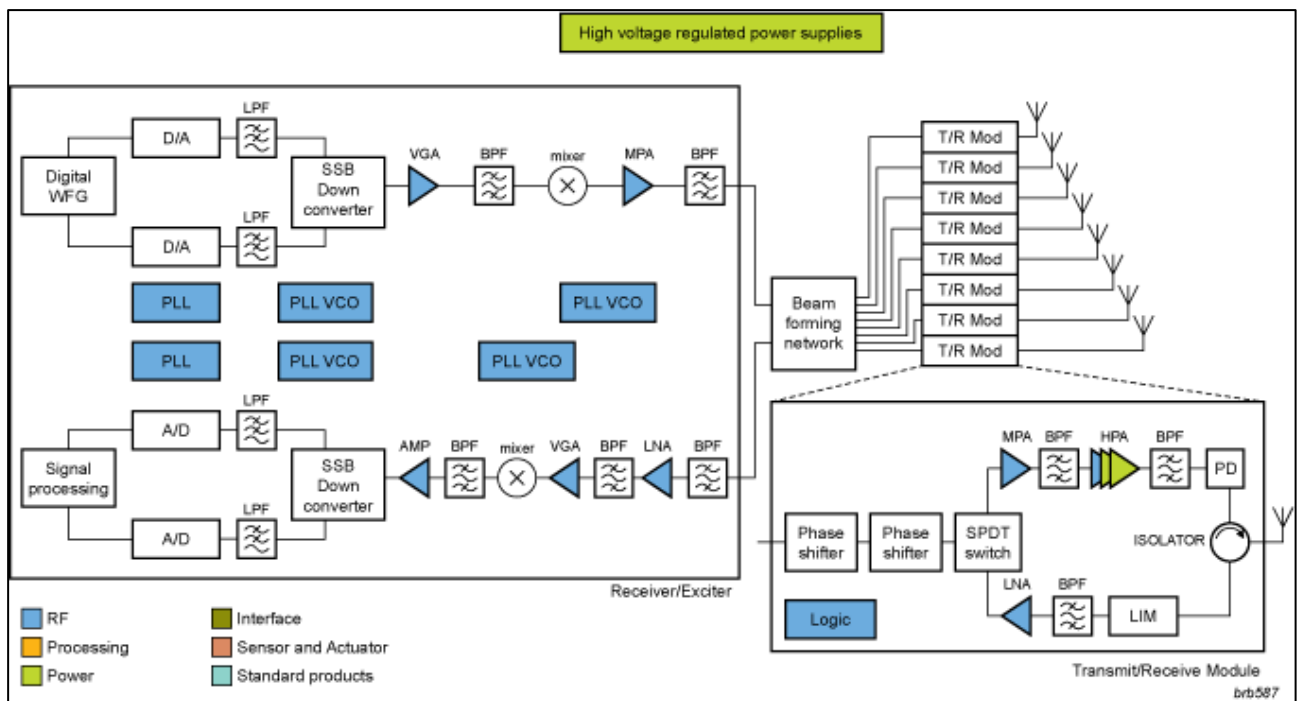
[28] Wolfram. Pallosegmentti. [viitattu 13.4.2015]. Saatavissa:  
<http://mathworld.wolfram.com/SphericalSegment.html>

[29] Zhijun Zhang. Basil, Victor. Shneiderman, Ben. Perspective-based Usability Inspection: An Empirical Validation of Efficacy. 1999.

# Liite 1 – Tutkien lohkokaaviot



LIITE 1. Kuva tutkan lohkokaaviosta, jossa tavallinen antenni. 2013. [1]



LIITE 1. Kuva tutkan lohkokaaviosta, jossa tasoantenni. 2014. [16]

Ensimmäinen kuva on Analog Devices nimisen elektroniikkayhtiön tuottama kuva heidän tuotteestaan (lisätietoa yhtiöstä: <http://www.analog.com/en/index.html> ).

Toinen kuva on NXP nimisen elektroniikkayhtiön tuottama kuva heidän tuotteestaan (lisätietoa yhtiöstä: <http://www.nxp.com/about.html> ).

Näiden lohkokaavioiden pohjalta tehtiin yksinkertaistetut mallit tämän tutkimuksen tutkatekniikkaosioon.