

Kalle Hyvönen

# COTS-tuotteiden sähkömagneettinen yhteensopivuus (EMC) laajakaistaisten radioiden yhteydessä



Insinööri (AMK)

Tieto- ja viestintätekniikan  
koulutusohjelma

Kevät 2020



**KAMK • University  
of Applied Sciences**

## Tiivistelmä

**Tekijä(t):** Hyvönen Kalle

**Työn nimi:** COTS-tuotteiden sähkömagneettinen yhteensopivuus (EMC) laajakaistaisten radioiden yhteydessä

**Tutkintonimike:** Insinööri (AMK), tieto- ja viestintätekniikka

**Asiasanat:** EMC, EMI, sähkömagneettinen säteily, sähkömagneettinen häiriö, häiriönpäästö, yhteensopivuus, standardi

**Kannen kuva:** Bittium Oy

EMC-termillä (Electromagnetic compatibility) tarkoitetaan sähköisten laitteiden keskinäistä yhteensopivuutta. Yleinen oletus on, että kaikki ympärillämme olevat sähköiset laitteet toimivat toisistaan välittä-mättä eivätkä ne aiheuta ympäristöönsä häiriöitä. Totuus kuitenkin lienee se, että aina kun käytetään sähköistä laitetta, aiheuttaa se ympärilleen häiriöitä, joiden voimakkuuden mukaan tilanne on joko sallittua tai kiellettyä.

Kuluttajakaupassa olevat sähköiset laitteet on Puolustusvoimien sisällä nimetty COTS-tuotteiksi. Näillä tuotteilla tarkoitetaan sellaista tuotetta, joka on valmistettu massakulutukseen, eikä niiden ominaisuuksia optimoida tiettyyn toimintaympäristöön sopivaksi. Tästä voi aiheutua tilanne, jossa yleiseen käyttöön tarkoitettu laite ei täytä sen ympäristön asettamia vaatimuksia esimerkiksi niissä tapauksissa, kun tuotetta käytetään Puolustusvoimien liikuteltavissa johtamisjärjestelmäsolmuissa.

Tällä opinnäytetyöllä selvitettiin, voiko kaupallinen COTS-tuote aiheuttaa säteileviä häiriöitä laajakaistaiselle radiolle. Opinnäytetyön sisältö on jakaantunut kahteen osaan, joista ensimmäisessä osassa perehdytetään lukija EMC:n käsitteeseen ja sitä ohjaaviin säännöksiin ja standardeihin ja toisessa osassa raportin omaisesti kuvataan Kajaanin ammattikorkeakoulun EMC-laboratoriossa COTS-tuotteille toteutetut EMC-testit ja niistä saadut tulokset.

EMC-testeihin valitut tuotteet ovat yleisesti viestiasemissa käytettyjä tuotteita, mutta tuotteiden otanta kokonaisuuteen nähden on varsin pieni. Mittaukset toteutettiin olemassa olevien standardien mukaisesti, mutta niiden luotettavuus kärsii yksittäisistä poikkeamista. Tulokset ovat kuitenkin keskenään vertailukelpoisia, joten mittauksista saatuja tuloksia voidaan hyödyntää mahdollisissa jatkotutkimuksissa.

## **Abstract**

**Author:** Hyvönen Kalle

**Title of the Publication:** Electromagnetic compatibility (EMC) of the COTS-products with Tactical Wideband Radios

**Degree Title:** Bachelor of Engineering, Information Technology

**Keywords:** EMC, EMI, electromagnetic radiation, electromagnetic disturbance, radiated emission, compatibility, standard

**Cover:** Bittium Oy

The term EMC (Electromagnetic compatibility) means the electronic compatibility of electric devices. The common assumption is that devices around us are operating well without any interference from or to the other devices. However, the truth might be that every time the electronic device is in use, it will emit some disturbances to the surroundings. Depending on the level of the emission it is either acceptable or forbidden.

The term COTS (Commercial off the shelf) is used for products which are mainly intended for the consumer market. A COTS-product is a product which is made for the mass audience and the features of the product are very general. This may lead to a situation where device made for general use does not meet more stringent military standards. Therefore, it may cause interference in situations where the device is installed and used in a military signal station.

This Bachelor's thesis explored, whether a commercial device can cause electronic interference to the surrounding military wideband radios when installed in the same space. The thesis is divided into two parts, the first part introduces the EMC-concept and the guiding regulations as well as standards. The second part is the report of the radiated emission measurements of the COTS-products.

The products selected for measurements are commonly used in military signal stations, but the number of products is limited. The measurements were conducted based on the current standards, but the reliability of the measurements suffered from individual deviations. The results are comparable, so the results obtained from the measurements can be used in further studies.

## **Alkusanat**

Tämä opinnäytetyö on oma mielenkiintoni kohde, jonka olen kohdannut hoitaessani virkaani Maavoimien uuden taktisen johtamisjärjestelmän kehityshankeen kenttätestipäällikkönä. Opinnäytetyötä ei varsinaisesti ole tilattu työnantajani tai hankkeen toimesta mutta asian ympärillä työskentelevät ihmiset ovat yleisesti yhtä lailla kanssani huolissaan sähköisten laitteiden aiheuttamasta sähkömagneettisesta häiriöstä varsin kalliille ja nykyaikaiselle johtamisjärjestelmälle. Eri-tyisesti kaupallisen sähköelektronisen materiaalin käyttäminen sotilasjärjestelmien yhteydessä on lisääntynyt merkittävästi eikä niiden aiheuttamiin ongelmiin ole juurikaan kiinnitetty huomiota.

Opinnäytetyötä tehdessäni huomasin, että aihealue on varsin laaja ja pelkästään lukuisten standardien vertailusta olisi voinut tehdä oman tutkimuksensa. Tästä syystä standardien syvälinen analysointi on pidetty tässä opinnäytetyössä mahdollisimman vähäisenä. Opinnäytetyö kuitenkin mahdollistaa varsin helposti jatkotutkimuksen toteuttamisen useasta näkökulmasta.

## Sisällysluettelo

1	Johdanto .....	1
2	Sähkömagneettinen yhteensopivuus EMC.....	4
2.1	CE-merkintä .....	4
2.2	Sähköisten häiriöiden kytketyminen .....	5
2.3	Säteileviin häiriöihin liittyviä standardeja .....	6
3	EMC-mittauksiin liittyvän toimintaympäristön kuvaus .....	14
3.1	Taktisen tason johtamisjärjestelmä .....	14
3.2	Kaupallinen materiaali - COTS .....	16
3.3	UHF-alueen spektri.....	16
4	EMC-mittausten toteutus.....	18
4.1	Mittausten yleisjärjestelyt.....	19
4.2	Mittaustulokset .....	20
5	Yhteenveto .....	36
6	Pohdinta .....	39
	Lähteet .....	41

## Kuvaluettelo

Kuva 1. Tuotteen CE-merkintä .....	5
Kuva 2. MIL-STD-461G raja-arvot.....	8
Kuva 3. MIL-STD-461G RE102 raja-arvot taajuusalueella 240 – 360 MHz.....	8
Kuva 4. Eri standardien raja-arvot tarkasteltavalla taajuusalueella .....	12
Kuva 5. MANET-verkon periaate.....	15
Kuva 6. Mittausvastaanotin Rohde&Schwarz ESIB26 .....	18
Kuva 7. Mittausantenni Rohde&Schwarz HL562 .....	19
Kuva 8. Mittausjärjestelyt [16].....	20
Kuva 9. Mittaustulos referenssimittaus 1.....	21
Kuva 10. Testi 1.1 järjestelyt.....	22
Kuva 11. Mittaus 1.2 järjestelyt.....	23
Kuva 12. Testi 1.2 mittaustulos.....	23
Kuva 13. Testi 2.1 järjestelyt.....	25
Kuva 14. Testi 2.1 mittaustulos.....	25
Kuva 15. Testi 2.2 järjestelyt.....	26
Kuva 16. Testi 2.3 järjestelyt.....	27
Kuva 17. Testi 2.3 mittaustulos.....	27
Kuva 18. Testi 2.4 järjestelyt.....	28
Kuva 19. Testi 2.4 mittaustulos.....	28
Kuva 20. Valmistava 1 järjestelyt.....	29
Kuva 21. Testi 3 järjestelyt.....	30
Kuva 22. Valmistava 1 sekä testi 3 mittaustulos.....	30
Kuva 23. Testi 4 järjestelyt.....	31
Kuva 24. Testi 5 järjestelyt.....	32
Kuva 25. Testi 5 mittaustulos.....	33
Kuva 26. Referenssi 2 järjestelyt.....	33
Kuva 27. Referenssi 3 järjestelyt.....	34
Kuva 28. Referenssi 2 mittaustulos.....	35
Kuva 29. Referenssi 3 mittaustulos.....	35

## Taulukkuuettelo

Taulukko 1. IEC 61000-6-3 raja-arvot .....	9
Taulukko 2. CISPR 11 raja-arvot säteileville häiriöille 3 m mittausmatkalta [19.].....	10
Taulukko 3. CISPR 22 raja-arvot säteileville häiriöille [20].....	11
Taulukko 4. Tarkasteltavien standardien eräiden ominaisuuksien vertailu .....	13

## Liitteet

Liite 1 Testisuunnitelma

Liite 2 Mittausraportit

Liite 2.1	Mittaus 1	Referenssi 1
Liite 2.2	Mittaus 2	Testi 1.1
Liite 2.3	Mittaus 11	Testi 1.2
Liite 2.4	Mittaus 5	Testi 2.1
Liite 2.5	Mittaus 6	Testi 2.2
Liite 2.6	Mittaus 7	Testi 2.3
Liite 2.7	Mittaus 8	Testi 2.4
Liite 2.8	Mittaus 3	Valmistava 1
Liite 2.9	Mittaus 4	Testi 3
Liite 2.10	Mittaus 10	Testi 4
Liite 2.11	Mittaus 9	Testi 5
Liite 2.12	Mittaus 12	Referenssi 2
Liite 2.13	Mittaus 13	Referenssi 3

Liite 3 Opinnäytetyön salassa pidettävä materiaali (TLIV KÄYTTÖ RAJOITETTU)

## Lyhenneluettelo

BWBandwidth

CENELEC European Committee For Electrotechnical Standardization

Euroopan sähköalan standardisoimisjärjestö

CEN Comite European de Normalisation

Yksityinen voittoa tavoittelematon standardiointia edistävä järjestö

COTS Commercial-Off-The-Shelf

Kaupallinen tuote

CISPR Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques

Radiohäiriöihin keskittynyt IEC:n komitea

EMC Electro Magnetic Compatibility

Sähkömagneettinen yhteensopivuus

EMI Electro Magnetic Interference

Sähkömagneettinen häiriö

ETSI European Telecommunications Standards Institute

Riippumaton voittoa tavoittelematon telealan standardisoimisjärjestö

EUT Equipment under test

Testattava laite

FAR Fully anechoic room

Kaiuton huone

IEC International Electrotechnical Commission



Kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio

ITE Information technology equipment (CISPR 22)

Tietoliikennelaite

IP Internet Protocol

IP-rotokolla

MANET Mobile Ad Hoc Network

Liikkuva verkko, jossa ei ole tukiasemia

RF Radio Frequency

Radiotaajuus

SFS Suomen Standardisoimisliitto

## 1 Johdanto

*” If you want to find the secrets of the universe, think in terms of energy, frequency and vibration”  
Nikola Tesla*

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää huomioonotettavia asioita käytettäessä samassa toimintaympäristössä sotilaskäyttöön suunniteltuja laajakaistaisia radiolaitteita sekä kaupallisia COTS (Commercial Off-The-Shelf) -tuotteita. COTS-tuotteilla tarkoitetaan kuluttajakaupasta hankittavaa tiettyyn tarkoitukseen valmiiksi kehitettyä tuotetta, jonka fyysistä konfiguraatiota tai ominaisuuksia ei muokata asennuskohteen asettamien vaatimusten mukaisesti. Käytännössä asennuskohde mukautuu COTS-tuotteen ominaisuuksien mukaisesti. Huolimatta COTS-tuotteiden rajoitetusta käyttömahdollisuudesta, niiden käyttöä kuitenkin puoltaa edullinen hintataso sekä saatavuus verrattuna vastaavaan erikseen tiettyyn toimintaympäristöön kehitettyyn tuotteeseen, esimerkiksi sotilaskäyttöön tarkoitettuun radioon.

Opinnäytetyön aihe liittyy kirjoittajan omaan työtehtävään Puolustusvoimissa, jossa hän toimii Puolustusvoimien ja suomalaisten yritysten kanssa yhteistyössä kehitettävän johtamisjärjestelmän kenttätestipäällikkönä. Tässä kehityshankkeessa Puolustusvoimien joukoille on kehitetty useita eri tyyppisillä ajoneuvoalustoilla olevia liikkuvia johtamisjärjestelmäsolmuja, joiden välinen tiedonsiirto on ratkaistu laajakaistaisella langattomalla tiedonsiirtojärjestelmällä. Näiden solmujen rakentamisessa käytetään puolustusteollisuuden tuotteiden lisäksi COTS-tuotteita, jotka saattavat joissain tapauksissa tuottaa EMC-häiriöitä (Electromagnetic compatibility) RF-signaaliin tai signaaleihin.

Kenttätestaamisen yhteydessä radiospektrissä ilmaantuneiden häiriöiden lähdettä on ollut erittäin haastavaa paikantaa. Joissain tapauksissa häiriösignaalin aiheuttaja on kyetty tunnistamaan vain kytkemällä manuaalisesti yksitellen viestiasemassa olevia laitteita pois päältä, mutta näissäkään tapauksissa havaintoa ei ole aukottomasti pystytty todistamaan. Tällöin häiriön voimakkuutta tai mahdollisia suojauskeinoja häiriösignaalilta ei ole kyetty määrittämään.

Tämä opinnäytetyö pyrkii löytämään konkreettisia huomioon otettavia asioita viestiasemien rakentajille ja kehittäjille tilanteeseen, jossa samassa toimintaympäristössä käytetään EMC-ominaisuuksiltaan vaihtelevia tuotteita. Lisäksi työn tavoitteena on osoittaa, että elektronisten laitteiden aiheuttamat häiriöt voivat vaikuttaa heikentävästi hyötysignaalin suorituskykyyn tai pahimmassa tapauksessa jopa estää radion käytön.

Opinnäytetyö toteutettiin laboratoriotutkimuksena. Työlle asetettu tutkimustehtävä oli vahvistaa epäilty COTS-materiaalin aiheuttama häiriösignaali. Hypoteesi antaa olettaa, että Suomessa käytössä olevat elektroniikkalaitteet täyttävät Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2014/30/EU:n asettamat vaatimukset elektromagneettisen yhteensopivuuden osalta [1] .

Huolimatta siitä, että määräysten mukaan Suomessa myynnissä olevien elektronisten laitteiden tulee täyttää edellä mainitun direktiivin vaatimukset, on mahdollista, että myös CE-hyväksymättömiä tuotteita on yleisessä käytössä yksityisten henkilöiden tilattua niitä esimerkiksi kiinalaisista verkkokaupoista. Lisäksi oletettavaa on, ettei CE-merkintä tuotteessa takaa täydellisiä EMC-ominaisuuksia, koska merkintä on vain tuotteen valmistajan tai sen valtuuttaman tahon vakuutus ominaisuuksista, eli käytännössä tuotteella ei ole viranomaisen tekemää hyväksyntää. [2.]

Opinnäytetyöllä pyritään vastaamaan tutkimuskysymykseen:

Aiheuttaako käytössä oleva COTS-tuote häiriösignaaleja NATO UHF B -taajuuskaistalle?

- Onko mahdollinen häiriösignaali niin voimakas, että se häiritsee hyötysignaalia taajuuskaistalla 240–360 MHz?
- Miten mahdollisilta häiriösignaaleilta voidaan suojautua?

Opinnäytetyötä voidaan laajentaa suuremmalla COTS-materiaalin otannalla sekä vertaamalla samassa tuoteryhmässä olevia eri valmistajien tuotteita keskenään. Lisäksi opinnäytetyötä voidaan laajentaa tutkimalla eri standardien eroavaisuuksia ja keskinäisiä suhteita.

Opinnäytetyöhön liittyvä laajakaistainen radio toimii pääasiassa NATO UHF B –taajuusalueella, joka käsittää taajuuskaistan 250–500 MHz. Tutkimuksessa viitattu radio kykenee operoimaan myös edellä mainitun taajuusalueen ulkopuolella, joten tämä tutkimus rajataan mahdollisten häiriösignaalien osalta taajuusalueelle 240–360 MHz. Työssä ei huomioida johtamisjärjestelmäsolmujen mahdollisia EMC-suojauksia, vaan tulokset tulkitaan siitä lähtökohdasta, että radiolaitte antenneineen ja häiriötä antava COTS-tuote olisivat samassa tilassa. Työn perusteella on kuitenkin mahdollista tehdä johtopäätöksiä siitä, onko COTS-tuotteen aiheuttama häiriö niin voimakas, että se on huomioitava johtamisjärjestelmän suorituskyvyssä. Toteutettavat EMC-mittaukset suoritetaan vain häiriönpäästömittausten osalta.

Opinnäytetyön sisältö on julkista, joten Puolustusvoimien johtamisjärjestelmien suorituskykyä, toimintaperiaatteita tai johtamisjärjestelmien yksityiskohtaisia ominaisuuksia ei tässä opinnäytetyössä käsitellä. Opinnäytetyön yhteydessä kuitenkin on käsitelty salassa pidettävää materiaalia,

joka on luovutettu Puolustusvoimien käyttöön eikä kyseistä materiaalia julkaista opinnäytetyön yhteydessä. Kaikki tietosuojattu materiaali on koottu opinnäytetyön erilliseen liitteeseen.

## 2 Sähkömagneettinen yhteensopivuus EMC

Sähkömagneettisella yhteensopivuudella (electromagnetic compatibility, EMC) tarkoitetaan sähkölaitteiden keskinäistä yhteensopivuutta niin, ettei laite aiheuta ympäristöönsä toisia laitteita häiritseviä signaaleja sekä sitä, että laite kykenee toimimaan sellaisessakin toimintaympäristössä, jossa on raja-arvot alittavia häiriöitä. Sähkömagneettinen häiriö (electromagnetic interference, EMI), voidaan sen sijaan käsittää sähköiseksi ympäristösaasteeksi, joka elektronisten laitteiden määrän kasvaessa voi aiheuttaa joissain tapauksessa jopa kriittisiä ongelmia tosille laitteille. [3.]

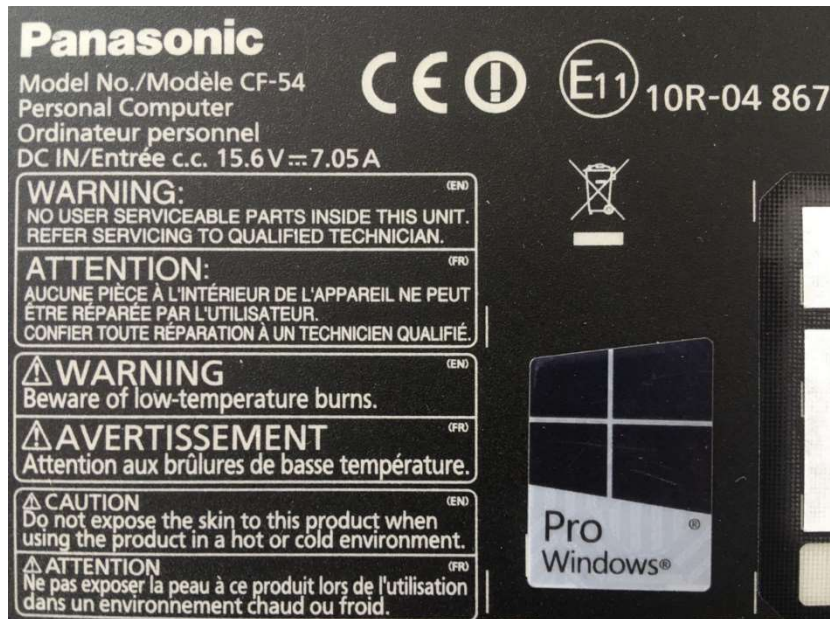
International Electrotechnical Commission - IEC:n standardin 161-01-07 mukaisesti EMC määritellään seuraavalla tavalla:

*”Laitteiden tai järjestelmän kyky toimia tyydyttävästi sen sähkömagneettisessa ympäristössä aiheuttamatta sietämättömiä sähkömagneettisia häiriöitä mille tahansa kyseisessä ympäristössä “ [4]*

Oletusarvoisesti Suomessa myytävien laitteiden on täytettävä elektronisten ominaisuuksiensa osalta Euroopan parlamentin ja neuvoston asettaman direktiivin 2014/30/EU vaatimukset. Lisäksi Suomen valtioneuvoston asetus 21.12.2016/1436 sähkölaitteiden ja -laitteistojen sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta määrää, että sähköiset laitteet eivät saa häiritä muita sähköisiä laitteita niiden toimintaa estävällä tavalla sekä laitteiden oma häiriönsieto-ominaisuudet ovat toiminnan kannalta riittävät. [5.]

### 2.1 CE-merkintä

Myynnissä olevat tuotteet on merkittävä tuotteen valmistajan tai sen valtuuttaman toimijan toimesta CE-merkinnällä niissä tapauksissa, joissa lainsäädäntö sitä edellyttää. CE-merkinnällä (Kuva 1) valmistaja osoittaa tuotteen ostajalle, että tuote täyttää sille annetut vaatimukset esimerkiksi sähkömagneettisen yhteensopivuuden osalta. Käytännössä Suomen markkinoille tulevien laitteiden CE-merkinnästä ja CE-merkinnän vaatimusten täyttymisestä vastaa tuotteen maahantuojaja [1]. CE-merkintä ei kuitenkaan ole tae tuotteen turvallisuudesta, vaan se on vain valmistajan vakuutus tuotteen riittävästä ominaisuuksista. Lisäksi nykyisin suosittu kiinalaisten verkkokauppojen hyödyntäminen voi aikaansaada sen, että kuluttajille päätyy CE-merkitsemättömiä tai huonoin tutkimusmetodein arvioituja tuotteita. [2.]



Kuva 1. Tuotteen CE-merkintä

Tuotteessa oleva CE-merkintä ei myöskään ilmaise esimerkiksi sähkömagneettisen yhteensopivuuden osalta sitä, minkä standardin mukaisesti kyseinen tuote on testattu. Näin ollen tuotteen käyttäjän on vain luotettava CE-merkinnällä ilmaistaviin ominaisuuksiin.

## 2.2 Sähköisten häiriöiden kytkeytyminen

Sähkömagneettisen yhteensopivuuden luokittelu on haastavaa ja määrittäviä antavia standardeja on useita. Karkealla tasolla jako voidaan kuitenkin tehdä jakamalla sähköisen laitteen osalta yhteensopivuus kahteen näkökantaan. Siihen, ettei laite häiritse muita sekä siihen, ettei laite häiriinny muiden laitteiden aiheuttamista häiriöistä. Tässä opinnäytetyössä ei käsitellä kykyä sietää muiden laitteiden tuottamia häiriöitä eli sietokykyä häiriöiden osalta, vaan opinnäytetyössä keskitytään laitteen itsensä muille laitteille aiheuttamiin häiriöihin. Tästä käytetään termiä häiriönpäästö.

Sähköiset häiriötyypit voidaan jakaa esimerkiksi Yhdysvaltain puolustusministeriön standardin MIL-STD-461 mukaan johtuviin (conducted) säteilyhäiriöihin sekä säteileviin (radiated) häiriöihin [6]. Tämä jako kahteen eri tyyppiseen häiriötyyppiin on kuitenkin varsin karkea, koska häiriöt eivät aina ole vain yhden häiriön ilmentymä. Sen sijaan häiriöt yleisimmin ovat eri tyyppisten häiriöiden kokoelmia esimerkiksi niissä tapauksissa, joissa laite säteilee häiriötä, joka vuorostaan kytkeytyy toisen laitteen johtimeen. [7.]

Häiriöiden jakaminen voidaan esittää myös Ronn Schmittin (Electromagnetic explained) mukaan kolmijakoisesti. Häiriöt voivat siirtyä toiseen laitteeseen induoitumalla, säteilemällä tai galvaanisesti kytkeytymällä. Indusoituvalla häiriöllä tarkoitetaan häiriötä, jossa laitteen tuottama häiriö kytkeytyy induktio- tai magneettikentän avulla toiseen laitteeseen. Tässä tapauksessa häiriöetäisyys on pieni. Toisena mahdollisuutena on häiriön kytkeytyminen RF-signaalin kautta pidemmän matkan päästä toiseen laitteeseen. Kolmas vaihtoehto on galvaaninen kytkeytyminen esimerkiksi kaapeleiden välityksellä. [8].

### 2.3 Säteileviin häiriöihin liittyviä standardeja

Lähtökohtaisesti tuotteiden kehitykseen ja käyttöönottoon liittyen standardien käyttö tuotteen sähköisen hyvyyden määrittämiseksi on Euroopassa pääsääntöisesti vapaaehtoista, joskin niiden käyttö tuotteiden yhteydessä antaa vakuutuksen tuotteen laadusta, turvallisuudesta ja luotettavuudesta. Joissain tapauksissa tuotteen ominaisuuksien on kuitenkin täytettävä määrätty standardit esimerkiksi laissa tai asetuksissa määritettyjen vaatimusten perusteella. Tällaisia tapauksia ovat esimerkiksi yhteensopivuuteen sekä turvallisuuteen liittyvät asiakokonaisuudet. Eurooppalaisista standarditoimijoista oleellimmat ovat GENELEC – Euroopan sähkötekniikan standardointikomitea, CEN – Euroopan standardikomitea sekä ETSI – Euroopan telealan standardikomitea. [9.]

Eurooppalaisten standardien lisäksi Suomessa noudatetaan Suomen Standardisoimisliiton SFS:n standardeja. SFS on myös Suomen edustaja kansainvälisessä standardisoimisliitossa ISO:ssa (International Organization of Standardization). [10.]

CISPR (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques) on IEC:n (International Electrotechnical Commission) alainen komitea, jonka tehtävänä on luoda standardeja 9 kHz – 400 GHz:n taajuuksille tavoitteenaan suojata radiosignaalien vastaanottoa ulkoisilta häiriöiltä [11]. CISPR:n laatimat standardit on jaettu kolmeen luokkaan. Ensimmäiseen luokkaan kuuluvat perustandardit (Basic standards), joissa on määritetty pohjasäännöt EMC-yhteensopivuuden määrittämiseksi. Lisäksi kyseiset perustandardit toimivat referenssinä sekä yleisille että tuotekohtaisille standardeille. Yleisissä standardeissa (Generic standards) määritetään tiettyyn toimintaympäristöön liittyvät standardit sekä annetaan vaatimukset ja menettelytavat EMC-testien toteuttamiselle kyseisen toimintaympäristön tuotteille. Yleiset standardit myös määrittävät raja-arvot mitauksille. Tuotestandardeilla (Product standards) määritetään sähkömagneettiset vaatimukset

tietylle tuotteelle, systeemille tai kokoonpanolle niissä tapauksissa, joissa yksilöllinen määrittely on tarpeen. [12.]

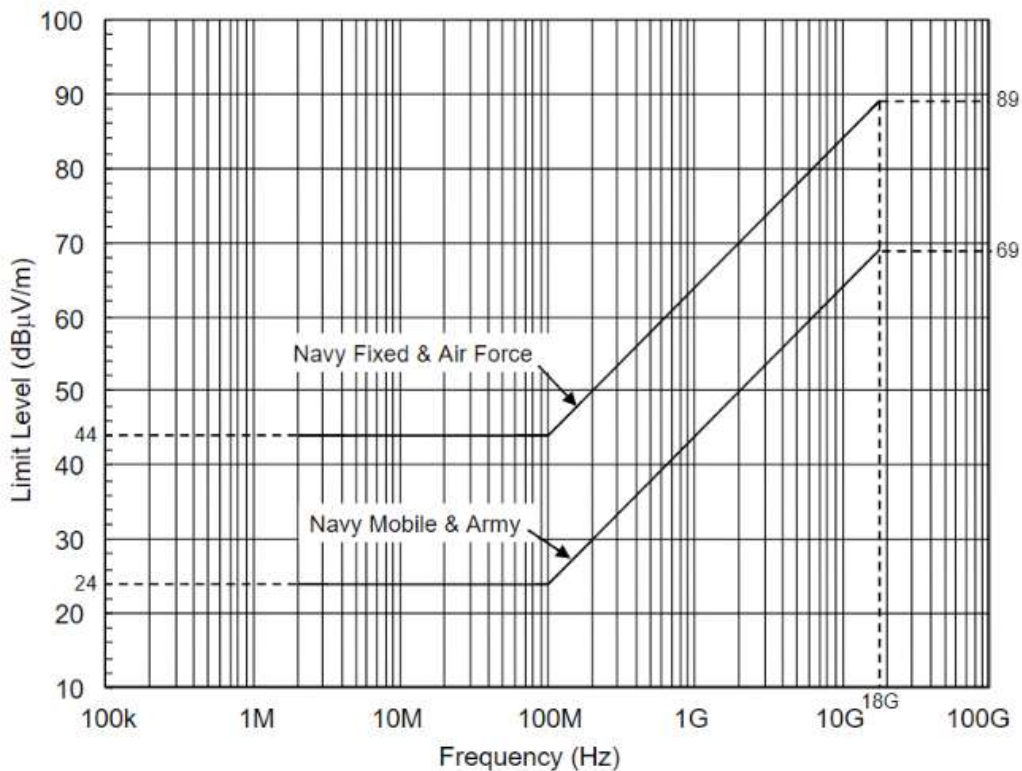
Kansainvälisten ja eurooppalaisten standardien lisäksi tuotteiden ominaisuuksia määrittelevät puolustusteollisuudessa yhteensopivuutta tavoittelevat standardit. Yleisesti käytetty termi NATO-yhteensopivuus kuitenkin pääasiassa tarkoittaa sitä, että tuote täyttää Yhdysvaltain puolustusministeriön (Department of Defence, DoD) määrittämien MIL-STD-standardien vaatimukset. Näin ollen puolustusteollisuuden tuotteet, kuten opinnäytetyön käsittelemä laajakaistainen radio, on kehitetty vastaamaan DoD MIL-STD-461- ja MIL-STD-840- standardien vaatimuksia. Näistä ensimmäinen standardi määrittelee laitteen EMC-ominaisuudet ja jälkimmäinen sen fyysiset ominaisuudet. Varsinaista kansainvälistä sopimusta MIL-standardien käytölle ei ole, vaan tilanteeseen on ajautettu pääasiassa MIL-standardien helpon saatavuuden ja Yhdysvaltain suuren markkinaosuuden takia. MIL-STD-461 – standardia ovat käyttäneet sotilaskäyttöön tarkoitettujen laajakaistaisten radioiden mittaamiseen EMC:n osalta esimerkiksi israelilainen Elbit systems [13], yhdysvaltalainen L3Harris Technologies [14] sekä suomalainen Bittium Oy [15].

Seuraavissa kappaleissa esitellään viisi erillistä, mutta samaa toimintaympäristöä käsittelevää standardia. Näistä on havaittavissa, että tuotteen sähkömagneettisen hyvyyden määrittämiseen on tuotteen valmistajalla mahdollisuus valita sopivin standardi huolimatta siitä, onko kyseinen käytetty standardi juuri oikea kaikkiin niihin toimintaympäristöihin, joissa tuotetta mahdollisesti käytettäisiin. Tämä näkökulma tulee ottaa huomioon käytettäessä COTS-tuotteita sellaisessa toimintaympäristössä, joihin niitä ei alun perin ole tarkoitettu.

#### MIL-STD-461

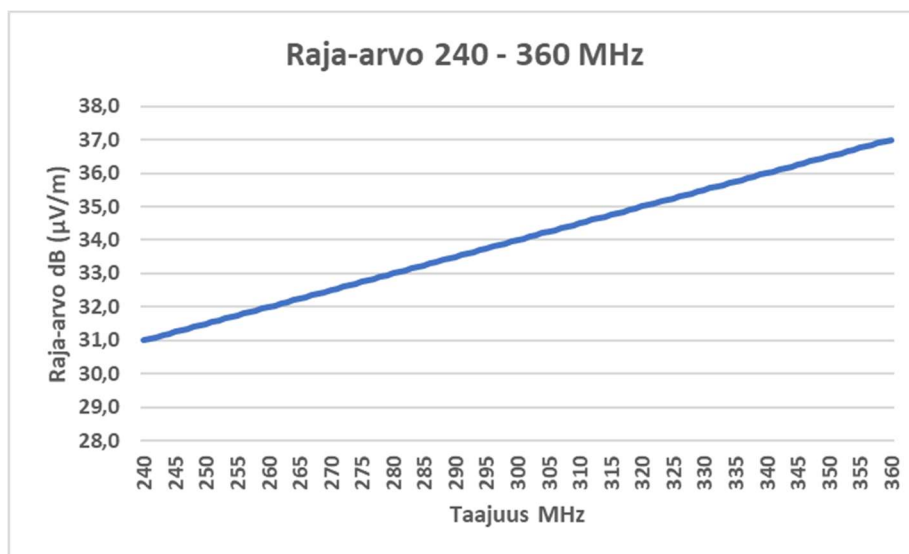
Lähes kaikki länsimaisen puolustusteollisuuden tuotteet valmistetaan vastaamaan Yhdysvaltain puolustusministeriön laatiman standardin MIL-STD-461 vaatimukset. Kyseinen standardi asettaa laitteistoille vaatimukset sähkömagneettisten häiriöiden osalta sekä määrittelee testit, joilla vaatimustason täytyminen voidaan mitata. Standardin viimeisin 461G -versio on vahvistettu vuonna 2015 [6]. Standardin häiriönpäästömittaus RE102 määrittää metodit ja raja-arvot häiriönpäästömittauksille taajuusalueella 100 kHz – 100 GHz. Kaiuttoman huoneen (FAR) mittauksen raja-arvot (Kuva 2) osoittavat, että raja-arvo tarkasteltavalla taajuusalueella on lineaarinen välillä 24–44 dB( $\mu$ V/m) mittausetäisyyden ollessa 1 m.





Kuva 2. MIL-STD-461G raja-arvot

Työssä tarkasteltava alue rajattiin 240–360 MHz:n taajuusalueelle, jossa standardin mukaan raja-arvo on lineaarisesti nouseva suora (Kuva 3). Suoran yhtälö voidaan laskea 100 MHz:n ja 1000 MHz:n arvojen perusteella, jolloin suoran yhtälöksi saadaan  $y = 0,05x + 19$ , jossa  $x =$  taajuus (MHz) ja  $y =$  raja – arvo dB ( $\frac{\mu V}{m}$ ).



Kuva 3. MIL-STD-461G RE102 raja-arvot taajuusalueella 240 – 360 MHz

### CISPR 16-2-3

CISPR 16-2-3 on CISPR:n laatima perusstandardi, jossa määritetään häiriöpäästö- ja häiriönsietomittauksen metodit sekä mittauksissa käytettävät laitteet ja laitejärjestelyt itse mittaustapahtumassa. Standardin mukaiset testaustapahtumat voidaan toteuttaa 9 kHz – 18 GHz taajuusalueella. Standardin viimeisin varsinainen versio on julkaistu 15.9.2019 joskin standardiin on tehty kaksi lisäystä julkaisun jälkeen. Opinnäytetyössä käytetty versio vuodelta 2016 kuitenkin on edelleen voimassa ja näin ollen sen määräykset ovat edelleen käyttökelpoisia. [16.]

Opinnäytetyössä sovelletaan standardin kappaletta 7.4, jossa määritetään täysin kaiuttomassa mittaushuoneessa (FAR) tapahtuvat mittaukset.

### IEC 61000-6-3

IEC 61000-6-3 – standardi määrittelee kotitalouksien sekä kaupallisten tuotteiden säteilypäästötestauksen ja antaa raja-arvot testeissä saataville tuloksille. Standardi on kuitenkin varsin laava verrattuna esimerkiksi MIL-STD-461 –standardiin, mutta tässä opinnäytetyössä noudatettiin tämän standardin raja-arvoja (Taulukko 1).

Taajuusalue (MHz)	Raja-arvo dB( $\mu$ V/m) mittausetäisyys 10 m	Raja-arvo dB( $\mu$ V/m) mittausetäisyys 3 m
30 ... 230	30	40
230 ... 1000	37	47
Huomio 1 10 m raja-arvo voidaan muuttaa 3 m raja-arvoksi lisäämällä 10 dB		

Taulukko 1. IEC 61000-6-3 raja-arvot

Mittausetäisyyden raja-arvojen muuttaminen voidaan standardin perusteella muuttaa 10 m mittaustuloksesta 3 m mittaustulokseksi lisäämällä raja-arvoon noin 10 dB [17].

### CISPR 11

CISPR 11 on standardi, jossa määritellään RF-häiriöiden mittaaminen sekä raja-arvot teollisuuden, tieteen ja lääketieteen laitteille. Standardin kohteena olevat laitteet jaetaan kahteen ryhmään. Ryhmään 1 kuuluvat kaikki ne laitteet, jotka eivät kuulu ryhmään 2. Ryhmään 2 kuuluvat kaikki ne

laitteet, joiden RF-säteily taajuusalueella 9 kHz – 400 MHz on tarkoituksella tuotettua ja paikallisesti käytettyä. Tällaisia laitteita on esimerkiksi mikroaaltouunit sekä langattomat latauslaitteet. [18.]

Standardin mukaan käsiteltävät laitteet jaetaan luokkiin A ja B laitteen tarkoitetun käyttöympäristön perusteella. Luokkaan A kuuluvat ne laitteet, joita käytetään kaikissa muissa paikoissa kuin asuinympäristöissä ja paikoissa, jotka on kytketty suoraan kotitalouksissa olevaan pienjänniteverkkoon. Luokkaan B kuuluvat ne laitteet, joita käytetään kotitalouskäytössä sekä tilanteissa, joissa laite on kytketty kotitalouskäytössä olevaan pienjänniteverkkoon. CISPR11 –standardin RF-häiriöpäästöjen raja-arvoista (Taulukko 2) voidaan todeta varsin suuret eroavaisuudet eri luokkiin kuuluvien tuotteiden osalta. [18.]

Taajuusalue (MHz)	Raja-arvo dB( $\mu$ V/m) Luokka A ryhmä 1	Raja-arvo dB( $\mu$ V/m) Luokka A ryhmä 2	Raja-arvo dB( $\mu$ V/m) Luokka B ryhmä 1	Raja-arvo dB( $\mu$ V/m) Luokka B ryhmä 2
230 ... 1000	52		42	42
230 ... 400		65		

Taulukko 2. CISPR 11 raja-arvot säteileville häiriöille 3 m mittausmatkalta [19.]

## CISPR 22

CISPR 22 oli standardi (korvattu CISPR 32:lla), jossa määritellään informaatioteknologian laitteiden säteilypäästötestien menet, raja-arvot sekä mittaustavat. Standardissa laitteet jaetaan kahteen luokkaan. Luokan ITE B (Information technology item) sisältää ne laitteet, joilla ei ole kiinteää sijoituspaikkaa tai niitä käytetään enintään 10 m etäisyydellä televisioista tai ULA-radioista. Tämä etäisyys määrittää niin sanotun ”domestic environment”-alueen ja siihen kuuluvia laitteita ovat mm. kannettavat tietokoneet tai muut ladattavat sähkölaitteet. Luokkaan ITE A kuuluvat kaikki ne laitteet, jotka eivät kuulu luokkaan ITE B mutta täyttävät luokan ITE A raja-arvot. Luokan ITE A tuotteiden käyttöohjeisiin tulee merkitä varoitus, jossa ilmoitetaan laitteen mahdollisesti aiheuttavan häiriöitä joissain tapauksissa edellä mainitulla domestic environment-alueella. [20.]

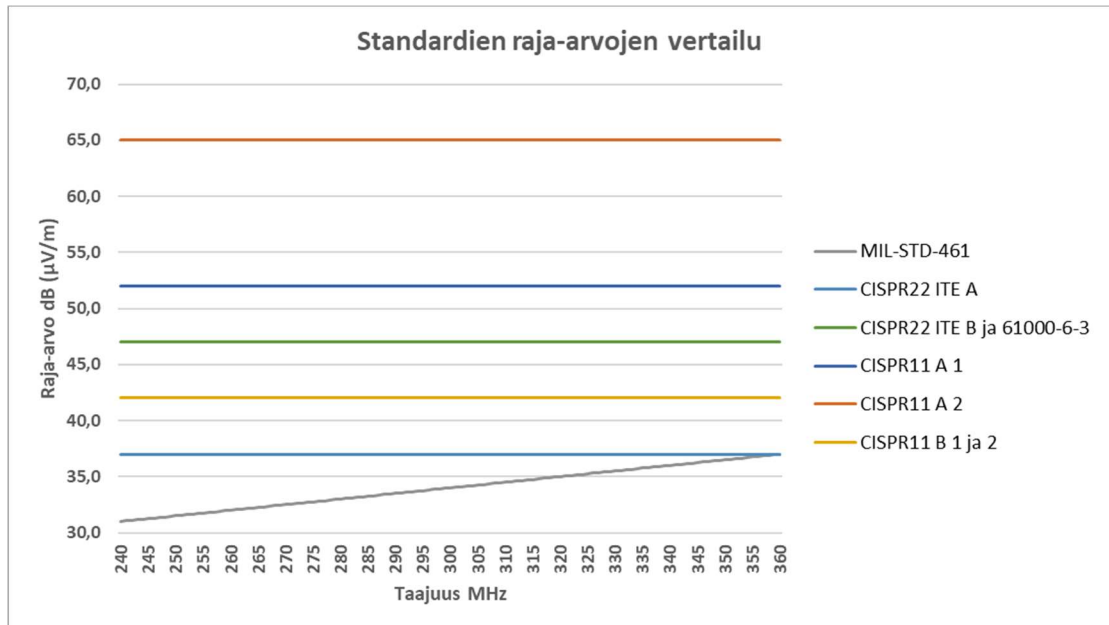
Sillä, kumpaan luokkaan tuote kuuluu, on suuri merkitys. Standardin määrittämistä raja-arvoista (Taulukko 3) voidaan todeta raja-arvot säteileville emissioille luokissa ITE A ja B. Raja-arvot mitataan 10 metrin etäisyydeltä. Raja-arvoista on havaittavissa varsin suuri, 10 dB:n eroavaisuus luokkien välillä.

Taajuusalue (MHz)	Raja-arvo dB( $\mu$ V/m) ITE A	Raja-arvo dB( $\mu$ V/m) ITE B
30 ... 230	40	30
230 ... 1000	47	37
Huomio 1 Alarajaa sovelletaan siirtymätaajuudella		
Huomio 2 Lisäsäännöksiä voidaan tarvita niissä tapauksissa, joissa häiriöitä esiintyy		

Taulukko 3. CISPR 22 raja-arvot säteileville häiriöille [20]

#### Standardien vertailu

Vertailtaessa siviili- ja sotilasympäristön standardeja keskenään voidaan havaita, että säteilypäästön raja-arvot (Kuva 4) ovat sotilasstandardissa huomattavasti tiukemmat erityisesti tarkasteltavan taajuusalueen alaosassa. Häiriöpäästön tiukempaa rajaa korostaa myös standardeissa oleellisesti poikkeava mittausetäisyys sen ollessa CISPR 22 - standardissa 10 m, CISPR 16-2-3 – sekä IEC 61000-6-3 - standardeissa 3 m ja MIL-standardissa vain 1 m. Toisaalta lähempää mitattu häiriöpäästömittaus huomioi testituloksiin myös lyhyen kantaman (near field) säteilypäästöt, joilla ei muiden järjestelmien toimintaan ole oletettavasti merkittävää vaikutusta.



Kuva 4. Eri standardien raja-arvot tarkasteltavalla taajuusalueella

Standardien välillä on merkittäviä eroavaisuuksia (Taulukko 4), mutta standardien täydellinen keskinäinen vertailu on varsin haastavaa erityyppisten mittausmäärittysten takia. MIL-standardissa mittausantenniksi on määritetty varsin iso torviantenni, jollaista ei Kajaanin ammattikorkeakoulun EMC-laboratoriosta löydy. Sen sijaan CISPR 22 -standardin 10 metrin mittausetäisyys oli mahdotonta toteuttaa mittauslaboratoriossa, jossa pisin mittausetäisyys on 3 m. Raja-arvot on kuitenkin mahdollista muuttaa 3 m etäisyydellä tapahtuviin mittauksiin lisäämällä raja-arvoon noin 10 dB [17]. Opinnäytetyötä laatiessa todettiin, että CISPR 22 – standardi on korvattu 2018 CISPR 32 – standardilla, eikä kyseistä standardia ollut käytettävissä mittauksia tehdessä. CISPR 11 – standardi käsittää teollisuuden, tieteen ja lääketieteen laitteet, jotka eivät suoraan kuvaa COTS-tuotteita, joten opinnäytetyön häiriönpäästömittaukset toteutettiin CISPR 16-2-3 - ja IEC 61000-6-3 – standardien mukaisesti.

	IEC61000-6-3 (CISPR16-2-3)	CISPR 11	CISPR 22	MIL-STD-416G RE102
<b>Raja-arvo 30 ... 230 MHz</b>	40	42/52/65 dB(μV/m)	30/40 dB(μV/m) 40/50 dB(μV/m)	24-44 dB(μV/m)  lineaarinen
<b>Raja-arvo 230 ... 1000 MHz</b>	47		37/47 dB(μV/m) 47/57 dB(μV/m)	
<b>Mittausetäisyys</b>	3 m	3 m	10 m  3 m	1 m
<b>Käytettävä antenni</b>		Tasapaino- tettu dipoli	Tasapainotettu dipoli <sup>1</sup>	Double ridge horn 69,0/94,5 cm <sup>2</sup>
<sup>1</sup> muita antenneja voidaan käyttää, jos tulokset on vertailukelpoisia tasapainotetun dipolin kanssa saatavalla tarkkuudella <sup>2</sup> 200 MHz – 1 GHz <sup>3</sup> Muita antenneja voi käyttää, jos tulokset voidaan esittää ±2dB tuloksista, jotka olisi saatu tasapainotetulla dipolilla				

Taulukko 4. Tarkasteltavien standardien eräiden ominaisuuksien vertailu

Puolustusvoimat käyttää toimintaansa liittyen COTS-tuotteita, joiden käyttötilanteet poikkeavat kyseisen tuotteen suunnitellusta toimintaympäristöstä. Esimerkkinä voidaan mainita matkapuhelimen langaton latauslaite, joka CISPR 11 -standardin mukaan kuuluu luokkaan 2 B. Kyseisen luokan laitteiden häiriönpäästön yläraja on 42 dBμV/m kolmen metrin etäisyydeltä mitattuna koko mitattavalla taajuusalueella. MIL-STD-standardin vastaava arvo noin 260 MHz:n taajuudella yhden metrin mittausetäisyydellä on 32 dBμV/m. Näin ollen on mahdollista, että laite täyttää sille tarkoitetun standardin, mutta laitteen suunnitellusta toimintaympäristöstä poikkeavassa toimintaympäristössä laite voi aiheuttaa häiriötä muille lähellä oleville laitteille.

### 3 EMC-mittauksiin liittyvän toimintaympäristön kuvaus

Tämän opinnäytetyön tutkimuksen kohteena on Puolustusvoimien johtamisjärjestelmäkokonaisuuteen liittyvät ajoneuvoihin rakennetut viestiasemat. Viestiasemalla tarkoitetaan tässä tapauksessa tela-alustaista maastoajoneuvoa, jonka kori on valmistettu lasikuidusta. Lasikuituinen korirakenne ei itsessään anna suojaa sähkömagneettiselta säteilyltä ajoneuvon katolla sijaitseville antennille sisältä tulevilta sähköisiltä häiriöiltä. Niissä tapauksissa, joissa viestiasema on rakennettu panssaroiuihin tai muuten metallirakenteisiin kohteisiin, esimerkiksi laitesuojiiin, ei tässä opinnäytetyössä käsiteltäviin ongelmiin ole törmätty merkittävässä määrin.

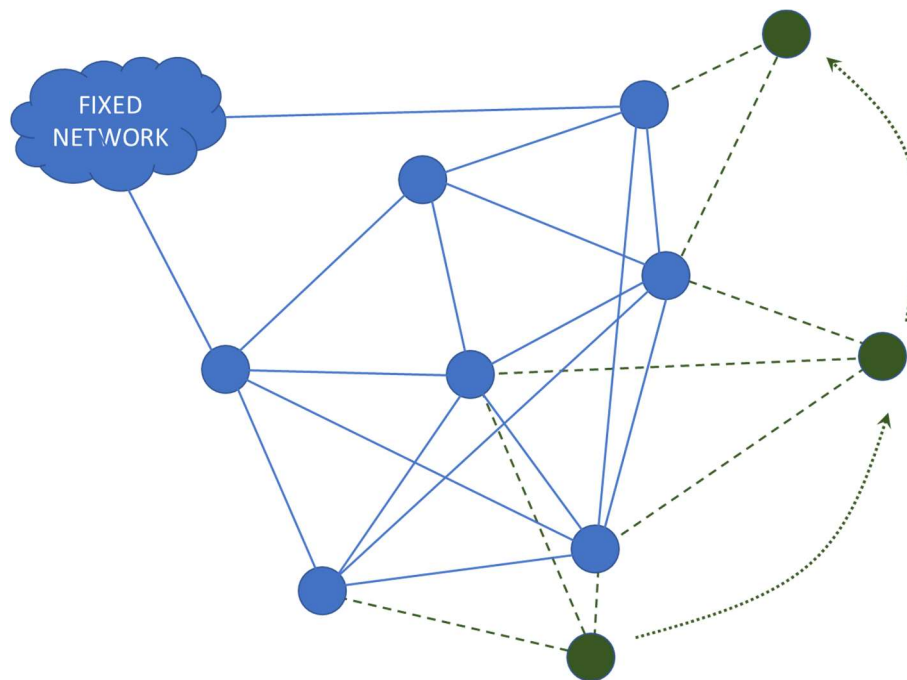
Viestiasema-ajoneuvo sisältää useita laajakaistaisia radioita, joista osaa käytetään vain ajoneuvon pysähdyttyä. Nämä vain pysähdyksissä käytettävät radiolaitteet ja antennit sijoitetaan ajoneuvon ulkopuolelle useiden metrien etäisyydelle eikä niihin näin ollen kohdistu häiriöitä ajoneuvossa olevista sähköisistä laitteista. Opinnäytetyössä keskitytään ajoneuvoon sisätiloihin kiinteästi asennettuun radioon tai radioihin, jonka antenni tai antennit sijaitsevat ajoneuvon lasikuituisen rakenteen päällä kaapelilla yhdistettynä radioon.

Ajoneuvo ja sen tarvitsemat sähköiset laitteistot saavat tarvittavan sähkönsäilytykseksi ajoneuvon omasta moottorista tai ulkoisen sähkönsäilytyksen kautta. Ulkoinen sähkönsäilytys voidaan tuottaa joko kiinteästä sähköverkosta tai erillisellä viestiasemaan kytkettävällä sähkövoimakoneella. Käytettäessä voimakonetta on sen sijainti riittävän etäällä ajoneuvosta, joten se ei lähtökohtaisesti aiheuta EMC-ongelmia. Ajoneuvon sähkölaitteet käyttävät pääsääntöisesti tasajännitettä, mikä tuotetaan ajoneuvossa kiinteästi sijaitsevan tasajännitelähteen kautta. Tasajännitelähteen tiedetään aiheuttavan häiriöitä RF-spektriin, mutta kyseinen kokonaisuus rajataan tämän opinnäytetyön ulkopuolelle. Ajoneuvossa käytetään siihen kiinteästi asennettujen laitteiden lisäksi aseman henkilöstön sisälle tuomia sähköisiä laitteita. Tällaisia ovat esimerkiksi kannettavat tietokoneet virtalähteineen sekä Puolustusvoimien henkilöstölleen antamista kielloista huolimatta myös matkapuhelimet latauslaitteineen.

#### 3.1 Taktisen tason johtamisjärjestelmä

IP-pohjainen (Internet Protocol) taktisen tason johtamisjärjestelmä mahdollistaa tiedonsiirtokapasiteetiltaan nykyaikaisen ja riittävän suorituskykyisen johtamisjärjestelmän maapuolustusjouk-

kojen käyttöön. Järjestelmän tiedonsiirtoyhteydet on toteutettu sekä langallisesti käyttäen mo-  
deemi- tai valokuituyhteyksiä että ennen kaikkea langattomasti laajakaistaisilla UHF-alueen radi-  
oilla. Langattomuudella pyritään mahdollistamaan järjestelmän mahdollisimman suuri suoritus-  
kyky muuttuvassa toimintaympäristössä, erityisesti liikkuvissa operaatioissa. Opinnäytetyössä kä-  
siteltävällä taajuusalueella operoidaan laajakaistaisilla radiolaitteilla (BW 5 MHz), joilla muodos-  
tetaan koko toiminta-alueen kattava MANET-verkko (Mobile Ad Hoc Network). MANET-verkolla  
tarkoitetaan radioverkkoa, jossa jokainen solmu on keskenään samanarvoinen ja jokainen solmu  
tarjoaa muille solmuille liittynään verkkoon. Näin ollen verkon hierarkialla ei ole merkitystä ja käyt-  
täjän näkökulmasta oleellisinta on vain löytää yhteys toiseen solmuun. Kun toiminta-alueella on  
riittävän monta solmua, muodostavat nämä solmut kokonaisuuden, josta käytetään nimitystä  
MANET-verkko. MANET-verkon periaatepiirroksesta (Kuva 5) ilmenee tapaus, jossa vihreällä mer-  
kitty solmu liikkueessaan muodostaa yhteyden sinisellä merkittyihin muihin solmuihin laajakaistai-  
sella radiolla. Radioyhteyden muodostuminen riippuu monista tekijöistä, kuten käytettävästä lä-  
hetystehosta, antenneista tai ympäristötekijöistä.



Kuva 5. MANET-verkon periaate

Yleensä MANET-verkosta tarjotaan tiedonsiirtoyhteys asiakassolmuille muihin olemassa oleviin  
verkkoihin. MANET-verkon eduksi voidaan lukea se, että laajakaistainen tiedonsiirto mahdollistaa  
muiden verkkojen liittämisen kyseiseen MANET-verkkoon mistä tahansa verkon osasta kuitenkin  
niin, että asiakassolmulla on riittävä tiedonsiirtokapasiteetti sekä oman MANET-verkon sisäisiin



että myös MANET-verkkoon liitettyjen ulkopuolisten verkkojen palveluihin. MANET-verkon itse muodostuminen mahdollistaa verkon omatoimisen rakentumisen, eikä sen suunnitteluun tai ylläpitoon tarvitse kiinnittää erityistä huomiota.

### 3.2 Kaupallinen materiaali - COTS

COTS-materiaalilla tarkoitetaan yleiseen kuluttajakauppaan myytävää, vuokrattavaa tai lisensoitavaa tuotetta. Tuotteesta on yleensä saatavilla useita eri tuottajien valmistamia vaihtoehtoja, joiden suorituskyky toisiinsa verrattuna on lähestulkoon sama. COTS-tuotteiden käyttöä sotilasjärjestelmien yhteydessä puoltaa niiden kustannustehokas hinta sekä saatavuus. [21.]

Puolustusvoimien järjestelmiä rakennettaessa COTS-tuotteiden hankinta perustuu järjestelmän tai sen osan hankintaan liittyvän vaatimusmäärittelyn antamiin rajoituksiin. Niissä tapauksissa, joissa COTS-materiaalin todetaan tuovan riittävän suorituskyvyn verrattaessa vastaavaan vain sotilaskäyttöön tarkoitettuun tuotteeseen, yleensä päädytään COTS-tuotteeseen. Usein kuitenkin ajaututaan tahtomattaankin tilanteeseen, jossa hankintojen ensimmäisessä vaiheessa hankitaan erä COTS-tuotteita toimittajalta X, mutta hankinnan seuraavassa vaiheessa tuotteita hankitaan toimittajalta Y. Tällöin luodaan tilanne, jossa samaa tehtävää toteuttava tuote on periaatteellisesti tasolla sama tuote, mutta ominaisuuksiltaan ne voivat poiketa toisistaan merkittävästi. Kyseessä voi olla saman valmistajan eri toimituserä tai jopa kokonaan eri valmistajan tuote. Näissä tapauksissa tuotteiden ominaisuuksia ei tarkastella juuri muilta osin kuin valmistajan antamien teknisten tietojen kautta.

### 3.3 UHF-alueen spektri

Koska toimintaympäristön radiot ovat laajakaistaisia, ovat ne myös alttiita ulkopuolisille häiriöille kapeakaistaista vastaanotinta herkemmin. Käytettävän radion normaalista spektristä (liite 3, kuva 1, TLIV KÄYTTÖ RAJOITETTU) on nähtävissä, että tarkasteltavalla taajuusalueella hyötysignaali erottuu selkeästi varsin tasaisesta ja matalasta taustakohinasta.

Niissä tapauksissa, joissa vastaanotin vastaanottaa häiriösignaaleja joko viestiaseman ulkopuolelta tai sen sisäpuolelta (liite 3, kuva 2, TLIV KÄYTTÖ RAJOITETTU), on selkeästi havaittavissa taustakohinan nousu tai vaihtoehtoisesti hyvin erottuva häiriösignaali.

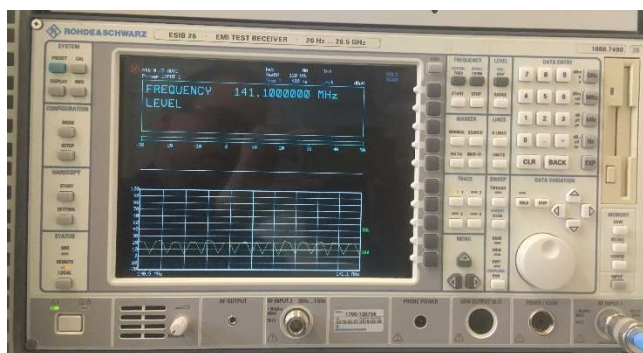
Häiriösignaalin vaikutus voi signaalin laadusta riippuen näyttäytyä spektrissä joko yksittäisellä taajuudella (liite 3, kuva 3, TLIV KÄYTTÖ RAJOITETTU) tai häiriösignaali voi myös olla laajakaistainen (liite 3, kuva 4, TLIV KÄYTTÖ RAJOITETTU), jolloin sen vaikutus hyötysignaaliin voi olla merkittävästi heikentävä. Vaimeakin häiriösignaali ilmaantuessaan riittävän lähellä hyötysignaalin vastaanotinta voi heikentää vastaanottimen kykyä vastaanottaa hyötysignaalia.

#### 4 EMC-mittausten toteutus

Opinnäytetyön EMC-mittaukset rajattiin koskemaan vain säteileviä RF-häiriönpäästötestejä. Testaus suoritettiin Kajaanin ammattikorkeakoulun EMC-testilaboratoriossa Kajaanin kampuksella. Mittausympäristö mahdollistaa EN 55022 - sekä EN 55011 – standardien mukaiset häiriönpäästömittaukset, joskin FAC-huone ei mittojensa perusteella kaikilta osin täytä mittauksissa vaadittavia vaatimuksia (22) . Edellä mainitut standardit on kuitenkin korvattu CISPR 22 ja CISPR 11 –standardeilla [23], joten opinnäytetyön häiriönpäästömittaukset perustuivat mittauksia käsittelevässä luvussa ilmoitettuihin standardeihin. Standardien tutkimisen yhteydessä todettiin, että CISPR 22 -standardi on korvattu vuonna 2018 CISPR 32 -standardilla, eikä kyseistä standardia ollut saatavilla opinnäytetyön laatimisen yhteydessä. Oletus kuitenkin on, ettei kyseisen standardin muutoksessa ole tapahtunut merkittäviä muutoksia, joten opinnäytetyössä käytettiin CISPR 22 raja-arvoja vertailuarvoina. Mittauksiin oleellisesti liittyvät standardit on kuvattu luvussa 2.3. Mittausympäristö on tarkastettu TDK Electronics Europe GmpH:n toimesta 20.9.2002 [24] .

Häiriönpäästömittauksiin käytettiin seuraavaa laitteistoa:

- Mittausvastaanotin Rohde&Schwarz ESIB26 20 kHz – 26,5 GHz (Kuva 6)
- Antenni Rohde&Schwarz HL562 30 MHz – 3 GHz (Kuva 7)
- Ohjelmisto Rohde&Schwarz ES-K1



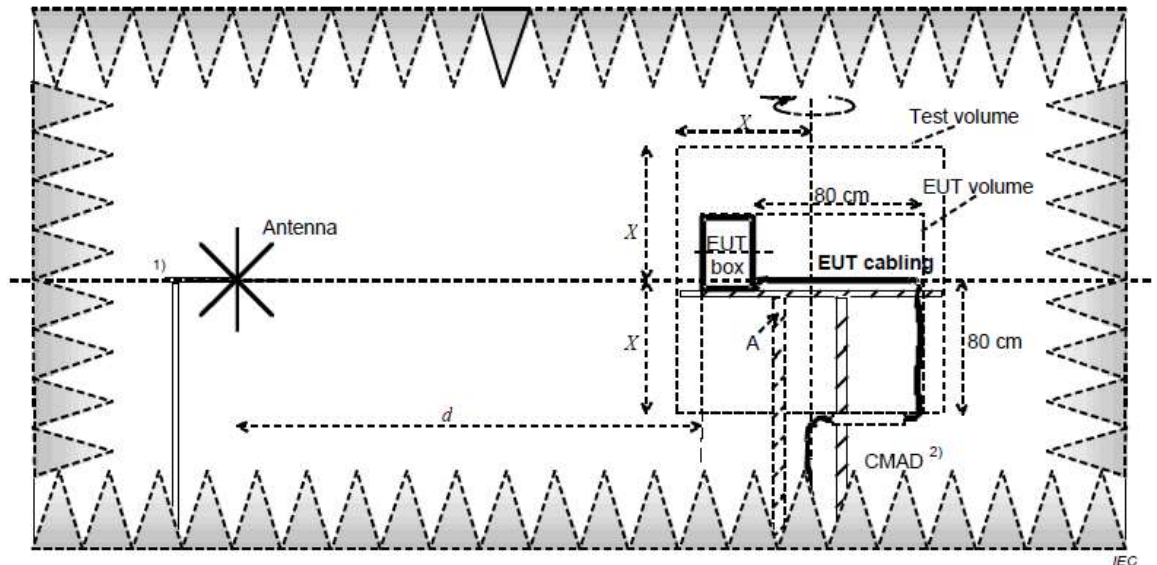
Kuva 6. Mittausvastaanotin Rohde&Schwarz ESIB26



Kuva 7. Mittausantenni Rohde&Schwarz HL562

#### 4.1 Mittausten yleisjärjestelyt

Mitattavista laitteista laadittiin mittaussuunnitelma (liite 1), jossa määritettiin mittauksen yleisjärjestelyt jokaiselle mittauskohteelle yksilöllisesti. Mittausjärjestelyt (Kuva 8) toteutettiin CISPR 16-2-3 – standardin määrittämällä tavalla. Mittausetäisyys (d) oli kolme metriä, pl. referenssimittaukset 2 ja 3, joissa mittausetäisyyttä pienennettiin vastaamaan MIL-STD-461 – vaatimuksia.



Kuva 8. Mittausjärjestelyt [16]

Standardin mukaisesti EUT (Equipment Under Test) oli toimintakuntoinen ja asennettu pöydälle normaalin käyttötapansa mukaisesti. Laitteisiin oleellisesti kuuluvat kaapelit ja muut oheislaitteet asetettiin standardin määrittämällä tavalla mittauspöydälle.

#### 4.2 Mittaustulokset

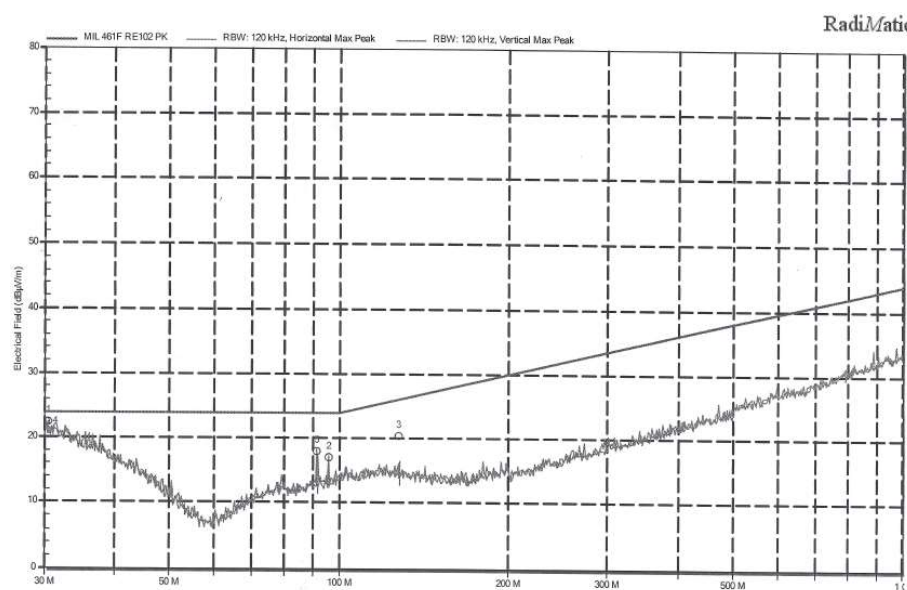
Testit suoritettiin testisuunnitelman mukaisesti 17.4.2020. Johtuen mittauslaitteiden vaatimuksista saavuttaa täydellisen toimintatilansa noin tunnin kuluessa käynnistyksestä, ne käynnistettiin noin 7.30 aamulla. Ensimmäinen testi toteutettiin noin klo 9.10, joten laitteiden käynnistymiselle oli varattu riittävästi aikaa.

Mittausjärjestelyt toteutettiin CISPR 16-3-2 –standardin mukaisesti (Kuva 8), mutta testiraportteihin lisättiin viitearvoksi MIL-STD-461-mukainen raja-arvo vertailuraja-arvoksi. Testien tulokset eivät suoraan mahdollista mittaustulosten vertaamista kyseiseen standardiin, vaan tulokset analysoitiin pääasiassa referenssimittauksiin peilaten. Merkittävimmät poikkeamat toteutettujen mittausten sekä MIL-STD- standardin välillä olivat mittausetäisyys, joka MIL-STD-461-standardin mukaan tulisi olla 1 m sekä MIL-STD-461 - standardista poikkeava mittausantenni. Mittausten yhteydessä kuitenkin toteutettiin kaksi referenssimittausta, joilla pyrittiin havainnoimaan mittausetäisyyden muuttuminen vastaamaan paremmin MIL-standardia. Näiden referenssimittausten havainnot on esitetty seuraavissa kappaleissa.

Mittaukset suoritettiin vaiheittain (liite 1, vaiheistus) mittaamalla ensimmäisessä vaiheessa verkkovirralla sähköistetyt laitteet ja toisessa vaiheessa tasajännitelähteellä sähköistetyt laitteet.

### Referenssimittaus 1

Ennen varsinaisten mittausten toteuttamista suoritettiin referenssimittaus (Referenssi 1), jonka tarkoituksena oli varmistaa kaiuttoman huoneen (FAR) taustakohinan taso. Mittauksen perusteella (Kuva 9) huone todettiin taustakohinaltaan sopivaksi mittausten toteuttamiselle. Mittauksesta tallennettiin raportti (liite 2.1) opinnäytetyön liitteeksi.



Kuva 9. Mittaustulos referenssimittaus 1

### Testi 1 Kannettava tietokone

Viestiasemissa ja johtamispaikoilla käytetään päätelaitteina sekä yleisesti käytössä olevia kannettavia tietokoneita että maastokäyttöön tarkoitettuja fyysisiltä ominaisuuksiltaan vahvennettuja Panasonic-merkkisiä kannettavia tietokoneita. EMC-testeihin valittiin Puolustusvoimien taktisissa ympäristöissä yleisesti käytössä oleva osittain vahvennettu (ruggeroitu) Panasonic CF54 – kannettava tietokone virtalähteineen. Kannettavat tietokoneet pääsääntöisesti sähköistetään verkkovirralla, mutta joissain tapauksissa sähköistäminen toteutetaan tasajännitevirtalähteellä. Yleisimmin tällöin on käytössä Lind-ajoneuvoadapteri, jonka vaikutus häiriönpäästöihin testattiin kannettavan tietokoneen häiriönpäästötestin yhteydessä.

Kannettavan tietokoneen mittaukset toteutettiin kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa (TESTI 1.1) toteutettiin verkkovirtalähteellä sähköistetyn tietokoneen mittaukset. Mitattavana kohteena oleva tietokone asetettiin mittauspöydälle (Kuva 10) standardin määrittämällä tavalla.



Kuva 10. Testi 1.1 järjestelyt

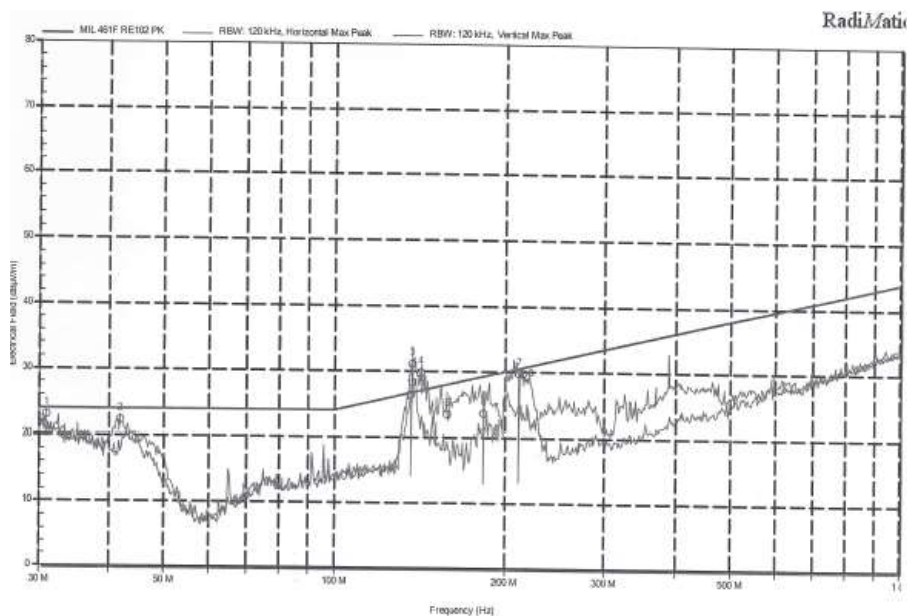
Mittauksen perusteella oli selkeästi havaittavissa selkeä kentänvoimakkuuden nousu noin 150 – 220 MHz:n alueella, mutta sillä ei oletettavasti ole vaikutusta opinnäytetyössä tarkasteltavana olevalla taajuusalueella. Oletuksen perusteella kentänvoimakkuuden nousun aiheuttaa tietokoneen näyttö. Tätä ei kuitenkaan varmistettu erillisellä mittauksella. Mittauksesta tallennettiin raportti (liite 2.2) opinnäytetyön liitteeksi.

Toisessa vaiheessa samalle tietokoneelle toteutettiin mittaus (TESTI 1.2) , jossa tietokone on sähköistetty 12 V jännitelähteen sekä ajoneuvoadapterin kautta. Mittausjärjestelyt (Kuva 11) toteutettiin standardin määrittämällä tavalla.



Kuva 11. Mittaus 1.2 järjestelyt

Mittauksen perusteella (Kuva 12) voidaan todeta, että häiriöpäästösignaali laajeni myös opinäytetyössä tarkasteltavalle taajuuskaistalle, mutta sen voimakkuuden ei kuitenkaan oleteta aiheuttavan ainakaan merkittävää häiriötä käytettäville radioille. Huomioitavaa kuitenkin on, että kyseinen Panasonic-tietokoneille tarkoitettu Lind-tasajännitelähde nostaa kentänvoimakkuutta verrattuna verkkovirtalähteeseen. Mittauksesta tallennettiin raportti (liite 2.3) opinäytetyön liitteeksi.



Kuva 12. Testi 1.2 mittaustulos



## Testi 2 Varavirtalähde

Nykyaikaisen sodankäynnin tukena käytettävä laitteisto perustuu sähköisten laitteiden käytölle. Tällöin virtalähdehuolto nousee merkittävään rooliin ja virtalähteisiin liittyvää ongelmaa on Puolustusvoimissa pyritty ratkaisemaan markkinoilla olevilla USB-varavirtalähteillä. Tähän tuoteryhmään kuuluvien tuotteiden kirjo on varsin laaja sekä itse varavirtalähteiden että erityisesti niiden latauslaitteiden osalta. Koska yksittäiset USB-latauslaitteet ovat epäkäytännöllisiä silloin kun ladattavia laitteita on useita, suositellaan käytettäväksi moniporttisia USB-latauslaitteita. Lähtökohteisesti tällaisten latauslaitteiden ei oleteta aiheuttavan häiriöitä muille laitteille. On kuitenkin olemassa varsin suuri riski siitä, että viestiaseman henkilöstö kielloista huolimatta tuo laitetilään Euroopan Unionin ulkopuolelta hankitun laitteen, joka ei pahimmassa tapauksessa täytä eurooppalaisia EMC-vaatimuksia.

Testiin valittiin Puolustusvoimien suomalaiselta yritykseltä hankkimia varavirtalähteitä sekä niiden lataamiseen tarkoitettu viisiporttinen USB-latauslaite. Porteista yksi on USB-C -mallinen loppujen ollessa perinteisiä USB-liittimiä. Suoritetuissa testeissä mitattiin ennen kaikkea latauslaitteen aiheuttama häiriö ladattaessa yhtä tai useampaa akkua samanaikaisesti sekä niin, että ladattavien akkujen varaustila vaihteli. Lisäksi testeissä huomioitiin latauslaitteen eri porttien ominaisuudet.

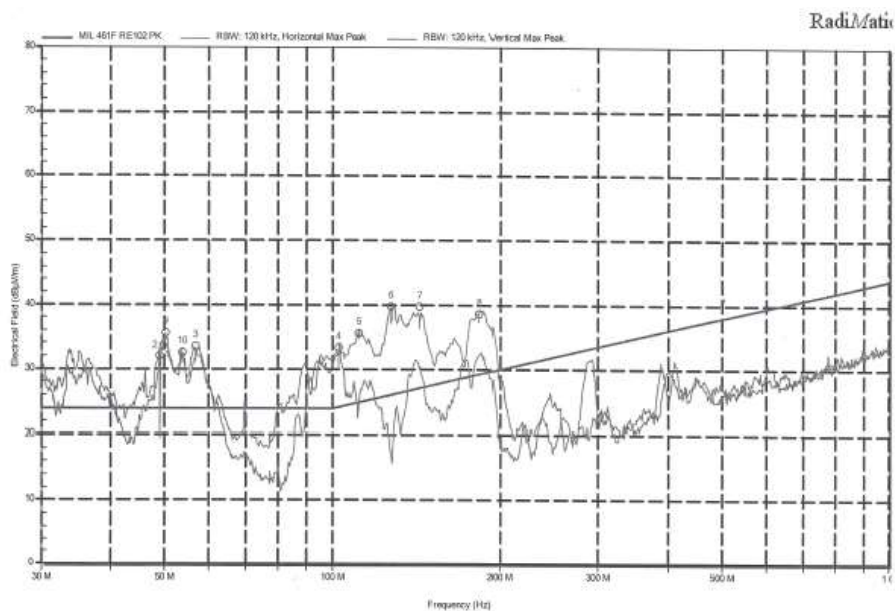
Varavirtalähteen osalta mittaukset toteutettiin neljässä vaiheessa. Vaiheiden tavoitteena oli selvittää, onko eri varaustilassa olevilla varavirtalähteillä merkitystä häiriönpäästöihin tai onko eri tyyppisillä liityntärajapinnoilla (USB, USB-C) käytettävässä latauslaitteessa merkitystä.

Testaaminen aloitettiin noin 100 % varaustilassa olevalla akulla toteuttamalla TESTI 2.1 (Kuva 13).



Kuva 13. Testi 2.1 järjestelyt

Mittauksen perusteella (Kuva 14) havaittiin, että oletuksesta poiketen USB-kaapelilla ladattava moniporttinen latauslaite tuottaa varsin korkean häiriöpäästön erityisesti alle 200 MHz:n alueella. Sen sijaan opinnäytetyössä tarkasteltavalla taajuusalueella kentänvoimakkuus on koholla, mutta sen voimakkuus ei todennäköisesti aiheuta häiriötä tarkastelun kohteena oleville radio-laitteille. Mittauksesta tallennettiin raportti (liite 2.4) opinnäytetyön liitteeksi.



Kuva 14. Testi 2.1 mittaustulos

Testin 2 toisessa vaiheessa toteutettiin TESTI 2.2, jossa mitattiin varaustilaltaan noin puolillaan olevan varavirtalähteen ja latauslaitteen häiriönpäästö. Mittausjärjestelyt (Kuva 15) toteutettiin testin 2.1 mukaisesti vaihtamalla varattava akku.



Kuva 15. Testi 2.2 järjestelyt

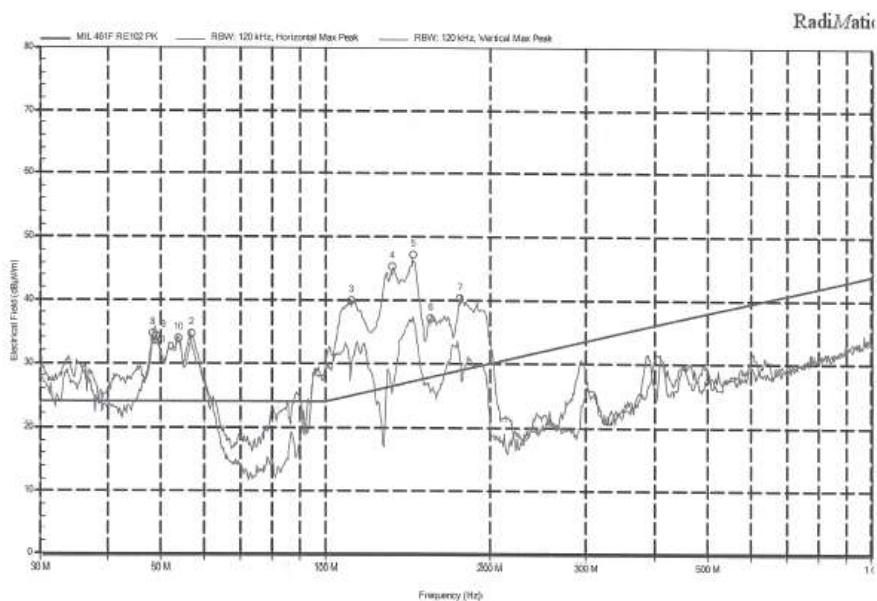
Mittauksen perusteella on havaittavissa noin 1-2 dB $\mu$ V/m nousu kentänvoimakkuudessa verrattuna lähes täyden varavirtalähteen mittaustulokseen, mutta muutoin mittaustulos oli lähes kauttaaltaan identtinen testin 2.1 kanssa. Mittauksesta tallennettiin raportti (liite 2.5) opinnäytetyön liitteeksi.

Testin 2 kolmannessa vaiheessa toteutettiin TESTI 2.3, jossa mitattiin kahden varavirtalähteen yhtäaikaisen lataamisen aiheuttama säteilynpäästö. Mittausjärjestelyt toteutettiin testin 2.1 mukaisesti (Kuva 16) lisäämällä toinen akku varauslaitteeseen.



Kuva 16. Testi 2.3 järjestelyt

Testin perusteella havaittiin varsin huomattavaa kentänvoimakkuuden nousua (Kuva 17) 100 – 200 MHz:n taajuuksilla. Kentänvoimakkuuden nousu oli pahimmissa tapauksissa jopa + 8 dB $\mu$ V/m. Latauslaitteen ja varattavien akkujen aiheuttama säteilynpäästö kuitenkin kohdistui nimenoamaan edellä mainitulle taajuuskaistalle, joten sen vaikutus opinnäytetyössä tarkasteltavalle taajuuskaistalle jää vähäiseksi tai olemattomaksi. Merkille pantavaa on kuitenkin korkein tulos mittaustaajuudella 144,75 MHz, jossa häiriösignaalin voimakkuudeksi mitattiin 47,2 dB $\mu$ V/m. Tämä tulos ylittää useimpien opinnäytetyössä käsiteltyjen standardien raja-arvot. Mittauksesta tallennettiin raportti (liite 2.6) opinnäytetyön liitteeksi.



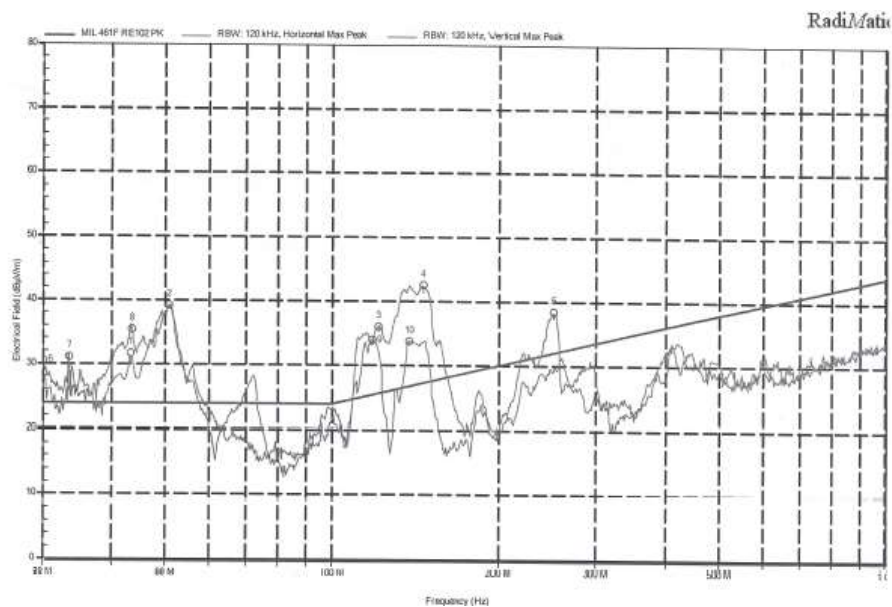
Kuva 17. Testi 2.3 mittaustulos

Testin viimeisessä vaiheessa toteutettiin TESTI 2.4, jolla pyrittiin selvittämään USB-C -rajapinnan tehokkaamman latauksen aiheuttama häiriöpäästö. Mittaus toteutettiin lähes tyhjällä akulla. Mittausjärjestelyt (Kuva 18) toteutettiin testin 2.1 mukaisesti vaihtamalla perinteinen USB-kaapeli USB-C-kaapelin sekä kytkemällä lähes tyhjä akku varaajaan.



Kuva 18. Testi 2.4 järjestelyt

Tulosten perusteella (Kuva 19) voidaan todeta, että USB-C latauksen käyttäminen nostaa tutkitavan laitteen häiriöpäästöjä myös opinnäytetyössä tarkasteltavalle taajuuskaistalle.



Kuva 19. Testi 2.4 mittaustulos

Huomioitavaa on myös, että perinteisellä USB-latauksella todettu 100-200 MHz:n kaistalla ilmennyt häiriöpäästö on kaventunut noin 30 – 40 MHz. Toisaalta häiriöpäästön voimakkuus on noussut noin 2 – 3 dB $\mu$ V/m.

Opinnäytetyössä tarkasteltavalla taajuuskaistalla häiriöpäästö on varsin voimakas erityisesti mitattaessa häiriöpäästöä vaakapolarisaatiolla, joten oletettavasti häiriönlähteenä on käytetty USB-C -kaapeli. Mitattu kaapeli on Puolustusvoimien kyseisiin latauslaitteisiin hankkima kaapeli, joten oletettavaa on, että käytettäessä laitetta mitatun USB- -kaapelin kanssa viestiasemissa tai komentopaikoissa, on häiriösignaalin kytkeytyminen radioon mahdollista. Mittauksesta tallennettiin raportti (liite 2.7) opinnäytetyön liitteeksi.

### Testi 3 Videokuvan muunnin

Kenttätestien yhteydessä havaittiin, että joissain viestiasemissa kannettavan tietokoneen sekä ajoneuvossa kiinteästi asennetun näytön liittämiseen tarkoitettu VGA-HDMI sovitin aiheuttaa häiriöitä. Tätä ei kuitenkaan missään vaiheessa ole mitaamalla todennettu, mutta häiriönlähde kyettiin paikallistamaan ja häiriö poistamaan kytkemällä muunnin virrattomaksi.

Videokuvan muuntimen testit aloitettiin VALMISTAVA 1 – testillä (Kuva 20), jossa todennettiin referenssiksi kokonaisuuteen kuuluvien muiden laitteiden, kuten näyttö, tietokone sekä virtalähde, aiheuttama häiriöpäästö. Testissä kannettava tietokone sekä ulkoinen näyttö yhdistettiin toisiinsa VGA-kaapelilla. Mittauksesta tallennettiin raportti (liite 2.8) opinnäytetyön liitteeksi.



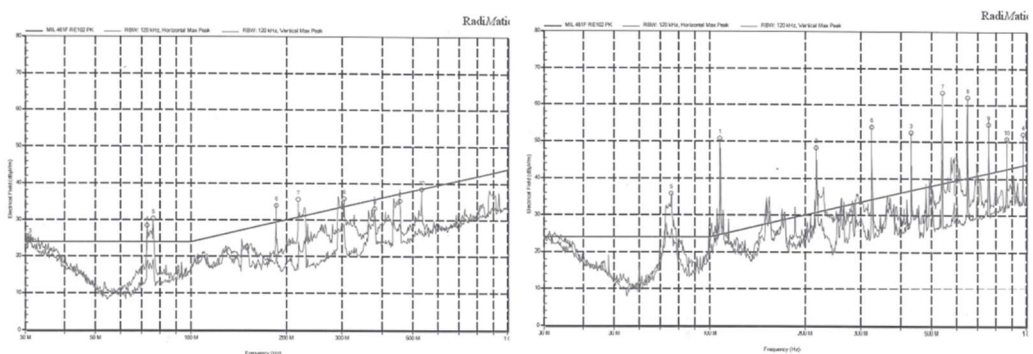
Kuva 20. Valmistava 1 järjestelyt

Valmistavan testin jälkeen samoilla järjestelyillä toteutettiin TESTI 3 (Kuva 21), jossa kannettava tietokone yhdistettiin ulkoiseen näyttöön käyttäen HDMI/VGA-adapteria. Adapteri sähköistettiin tietokoneen USB-portista.



Kuva 21. Testi 3 järjestelyt

Sekä valmistavan testin että testin 3 tuloksista (Kuva 22) voidaan todeta, että valmistava testi, jossa mittauskohteena oli ulkoinen näyttö sekä perinteinen kannettava tietokone, aiheuttaa varsin laajalla taajuusalueella häiriöpiikkejä, jotka joissain tapauksissa voivat aiheuttaa käytössä oleville radioille häiriöitä. Merkittävää kuitenkin on, että otettaessa HDMI/VGA-adapteri- sekä HDMI-kaapeli käyttöön häiriöpiikkien taso nousee pahimmillaan yli  $10 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$  aikaisempaan tulokseen verrattuna. Lisäksi huomionarvoista on, että muunnin selkeästi aiheuttaa häiriösignaaleja myös opinnäytetyössä tarkasteltavana olevalla taajuuskaistalla ja näin ollen on todennäköinen häiriön aiheuttaja laajakaistaiselle radiolle. Mittauksesta tallennettiin raportti (liite 2.9) opinnäytetyön liitteeksi.



Kuva 22. Valmistava 1 sekä testi 3 mittaustulos

#### Testi 4 Led-valaisin

Viestiasema-ajoneuvojen sisävalaistukseen käytetään hankinta-ajankohdan mukaisesti saatavilla olleita LED-valaisimia. Käytössä olevia valaisimia on lukuisa määrä, joista häiriönpäästömittauksiin valittiin viimeisin hankittu malli, Hella Led-diodi-Duraled 50 valk/pun – valaisin. Valaisimen sähkökytkentöjen mukaan on valittavissa, tuottaako valaisin punaista, valkoista vai molempia.

Led-valaisimen oletettiin aiheuttavan häiriötä, mutta suoritetun TESTI 4:n (Kuva 23) perusteella todettiin, ettei mittauksissa ollut valaisin tuottanut spektriin lainkaan häiriötä. Käytännössä mitaustulos vastasi referenssimittausta 1. Mittauksesta tallennettiin raportti (liite 2.10) opinnäytetyön liitteeksi.



Kuva 23. Testi 4 järjestelyt

#### Testi 5 Defa-lämmityslaite

Kylmissä olosuhteissa johtamisjärjestelmäsolmujen operaattoritilan lämmöntuotto toteutetaan pääasiassa polttoainekäyttöisillä lisälämmittimillä. Näiden lämmittimien vikaantumisherkkyys on kuitenkin suuri, joten on varsin todennäköistä, että viestiaseman henkilöstö käyttää sisätilojen lämmittämiseen ajoneuvossa olevaa lisälämmittintä. Lisälämmitin on verkkovirralla toimiva, joten sitä voidaan käyttää vain ajoneuvon pysähdyksissä silloin, kun ajoneuvo on liitetty ulkoiseen sähköntuottojärjestelmään. Häiriönpäästömittauksiin valittiin Defa 1400 W lisälämmitin.

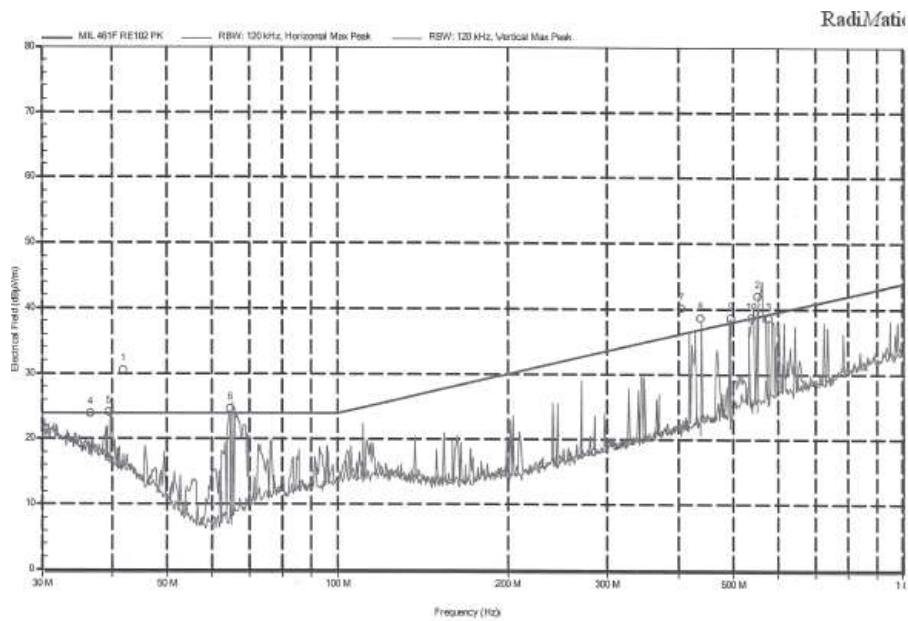


Sisätilanlämmittimen mittauksissa (Kuva 24) oletuksena oli, ettei häiriöpäästöjä ilmene. Mittausten (TESTI 5) perusteella kuitenkin todettiin, että lämmityslaitte tuottaa varsin useita selkeitä piikkejä koko mitatun taajuuskaistan alueella. Toisaalta piikit ovat verrattain matalia, joten ne eivät todennäköisesti aiheuta häiriötä tarkasteltavalle taajuusalueelle.



Kuva 24. Testi 5 järjestelyt

Mielenkiintoisin havainto (Kuva 25) kohdistuu opinnäytetyössä tarkasteltavan radion taajuusalueen yläpäässä olevaan häiriöpäästöön, joka tietyissä tilanteissa voi aiheuttaa häiriötä radiolle. Lämmityslaitte itsessään ei sisällä elektroniikkaa, joten oletuksena on, että häiriösignaalit aiheuttaa lämmittimen pyörimisliike. Mittauksesta tallennettiin raportti (liite 2.11) opinnäytetyön liitteeksi.



Kuva 25. Testi 5 mittaustulos

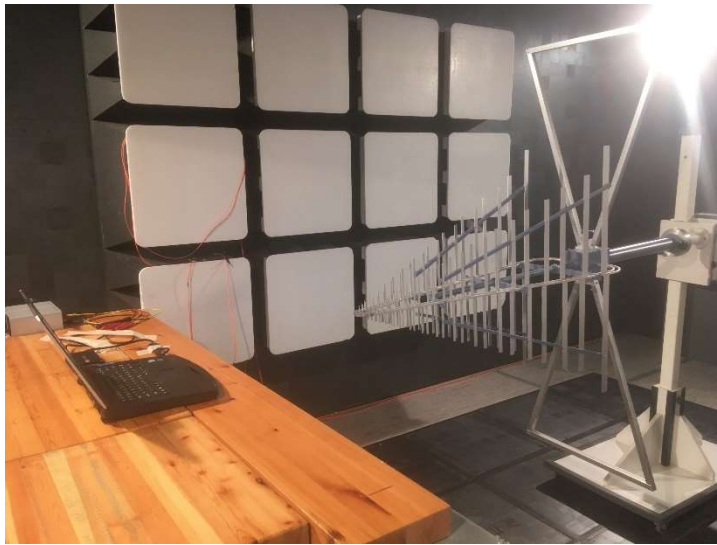
#### Referenssimittaukset 2 ja 3

Mittausten lopuksi toteutettiin kaksi referenssimittausta, joilla pyrittiin selvittämään mittausetäisyyden vaikutus mittaustuloksiin. Referenssimittaukset suoritettiin samoilla järjestelyillä kuin testi 1.2 (Kuva 11) kuitenkin mittausetäisyyttä muuttaen. Referenssimittaus 2:ssa mittausantenni siirrettiin 1,5 m etäisyydelle mitattavasta kohteesta (Kuva 26).



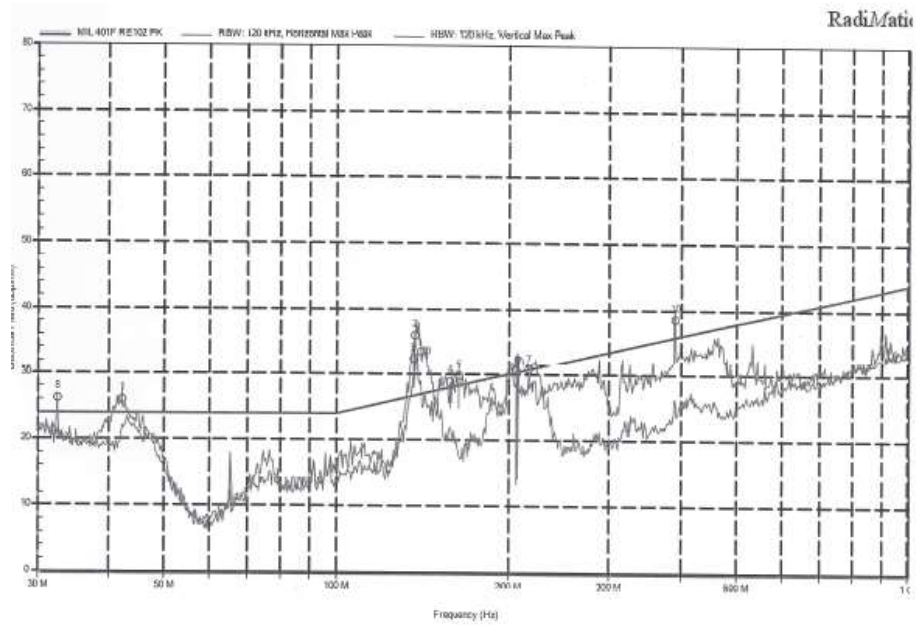
Kuva 26. Referenssi 2 järjestelyt

Referenssi 3 – mittaus toteutettiin samoilla järjestelyillä mittausetäisyyden muuttuessa yhteen metriin (Kuva 27).

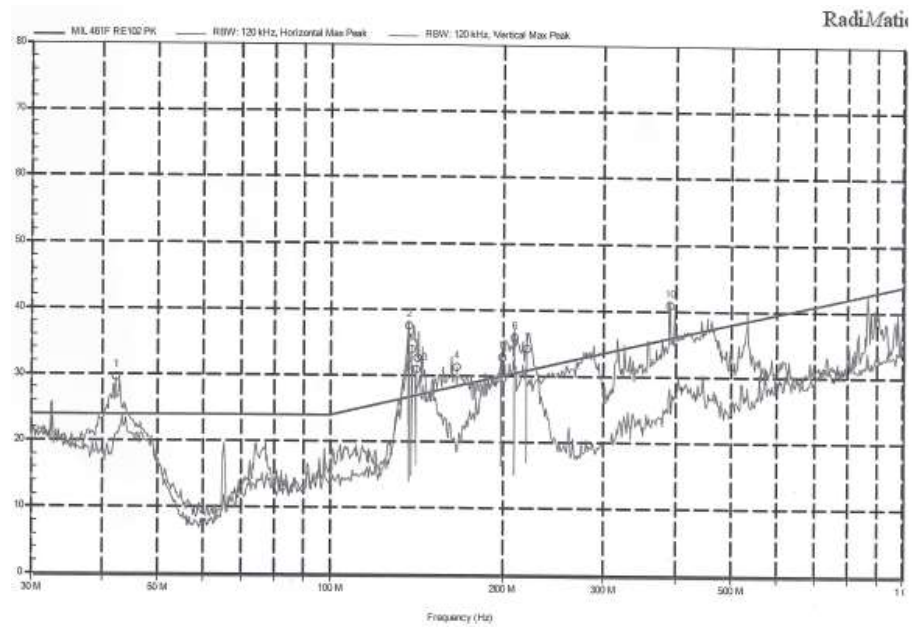


Kuva 27. Referenssi 3 järjestelyt

Referenssimittausten 2 ja 3 tulosten perusteella (Kuva 28 ja Kuva 29) voidaan todeta, että mittausetäisyyden pienentäminen testiin 1.2 (Kuva 12 ) verrattuna nostaa saadun häiriösignaalin tasoa kolmen metrin etäisyydeltä mittausetäisyyden tippuessa yhteen metriin noin 5–8 dB $\mu$ V/m. Mittausetäisyyden puolittaminen 1,5 metriin nostaa häiriösignaalin voimakkuutta vastaavasti noin 3–6 dB $\mu$ V/m. Referenssimittauksista tallennettiin raportit (liite 2.12 ja liite 2.13) opinnäytetyön liitteeksi.



Kuva 28. Referenssi 2 mittaustulos



Kuva 29. Referenssi 3 mittaustulos

## 5 Yhteenveto

*” Before anything else, preparation is the key to success” Alexander Graham Bell.*

Mittaustulosten perusteella voidaan todeta, että opinnäytetyössä häiriönpäästömitatut laitteet voivat mittaustapauksen kaltaisissa käyttötilanteissa joidenkin laitteiden osalta tuottaa sellaisia häiriösignaaleja, jotka voivat aiheuttaa joissain tilanteissa häiriöitä opinnäytetyön kohteena oleville laajakaistaisille radioille. Mittaukset kuitenkin osoittivat, että tarkasteltavalla taajuusalueella 240–360 MHz häiriöiden voimakkuus tai laajuus ei ollut niin merkittävä kuin esimerkiksi taajuusalueella 100–200 MHz. Merkille pantavaa joissain mittaustuloksissa on se, että tuotteen aiheuttama häiriösignaali ylittää jopa kyseiselle tuotteelle tarkoitetun standardin rajan.

Mittaustuloksissa huomiota herätti mittausvastaanottimen antennin polarisaation vaihdon vaikutus mittaustuloksiin. Joissain tapauksissa häiriösignaali oli voimakkaampi vain toisessa polarisaatiossa, mikä indikoisi kaapeleista aiheutuvaa häiriötä.

MIL-standardin lyhyempi mittausetäisyys todennäköisesti heikentäisi referenssimittausten perusteella mittauksista saatavia tuloksia. Eli oletettavasti häiriöpäästöt kasvaisivat mittausetäisyyttä pienennettäessä tapauksen mukaan 3–8 dB $\mu$ V/m. Tämä tulkinta on kuitenkin arvio, koska MIL-standardin antenni tarkasteltavalla taajuusalueella tulisi olla torviantenni, jollaista ei Kajaa-nin ammattikorkeakoulun EMC-laboratoriossa ole saatavilla.

Mitattujen COTS-tuotteiden valmistajan toteuttamien EMC-mittausten tuloksia ei ollut saatavilla. Ainoastaan Lind-ajoneuvoadapterin osalta tiedossa oli, että se on testattu MIL-STD-461-standardin mukaisesti, mutta varsinaista mittausraporttia ei ollut saatavilla. Muiden tuotteiden osalta kuluttajan tai tässä tapauksessa Puolustusvoimien on luotettava kaikista tuotteista löytyneeseen CE-merkintään. Mittaustulosten sekä laitteen CE-hyväksyntään käytetyn standardin puuttuminen esti mitattujen tuotteiden ominaisuuksien arvioimisen kuluttajakauppaan ylipäänsä. Mittaukset kuitenkin antoivat viitteitä siitä, että CE-merkintä ei välttämättä takaa kaikissa tapauksissa edes laveimman EMC-standardin vaatimuksia.

Opinnäytetyössä toteutetut EMC-mittaukset vahvistavat epäilyt siitä, että COTS-materiaali voi tietyissä tapauksissa aiheuttaa häiriöitä opinnäytetyössä käsitellyille radiolaitteille. Yllättävin häiriön tuottaja oli HDMI/VGA-adapteri, joka tuotti varsin voimakkaan häiriösignaalin juuri tarkasteltavalle taajuusalueelle. Toinen huomiota herättävä häiriöntuottaja oli varavirtalähde ladattaessa sitä USB-C-liittimistä. Ennako-oletus varavirtalähteen osalta oli se, ettei häiriöitä ilmenisi.

Videokuvan muuntimen osalta sen sijaan oli odotettavissa häiriösignaaleja, jotka tällä tutkimuksella saatiin todennettua.

Saadut mittaustulokset ovat kuitenkin mittaustilanteen muuttujista (käytetty antenni, mittausetäisyys) johtuen vain suuntaa antavia, joten niitä ei sellaisenaan voi soveltaa käytäntöön. Tuloksia verrattaessa referenssimittaus 1:een voidaan kuitenkin tehdä johtopäätöksiä siitä, että laitteiden tuottamat häiriöt ovat joissain tapauksissa varsin merkittäviä.

Opinnäytetyön hypoteesina oli se, että kaikki Suomessa käytössä olevat elektroniikkalaitteet täyttävät Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2014/30/EU:n asettamat vaatimukset elektromagneettisen yhteensopivuuden osalta. Tämän vaatimuksen täyttymisen merkiksi tuotteen valmistaja merkitsee tuotteen CE-merkinnällä, jonka perusteella tuotteen käyttäjä voi varmistua tuotteen riittävästä sähkömagneettisista ominaisuuksista perehtymättä mahdollisiin mittaustuloksiin. Opinnäytetyöllä kuitenkin osoitettiin, että on olemassa mahdollisuus sille, ettei tuote kaikissa tapauksissa täytä edes kyseiselle tuotteelle normaalikäytössä asetettuja raja-arvoja säteilevien häiriöiden osalta.

Puolustusteollisuuden käyttämät standardit asettavat tuotteille tiukemmat vaatimukset sähkömagneettisen yhteensopivuuden osalta kuin siviiliteknologian saman kaltaiseen toimintaympäristöön tarkoitetut standardit. Opinnäytetyön tulosten perusteella voidaan tehdä oletus siitä, ettei EMC-ominaisuuksiltaan alhaisemmat vaatimukset täyttävä COTS-materiaali voi kaikissa tapauksissa täyttää samoja vaatimuksia kuin korkeammilla vaatimuksilla sotilaskäyttöön valmistettu tuote. Tämän perusteella COTS-tuotteiden käyttöä suunniteltaessa ei pidä luottaa tuotteessa olevaan CE-merkintään, vaan tuotteen ominaisuuksiin tulee perehtyä vähintään sen mittaustulosten tarkastamisella.

Koska EMC-mittauksiin käytettävien standardien vertailu ei ole keskenään mahdollista tai se on vähintään haastavaa, tulee sotilasteknologian kanssa samassa toimintaympäristössä käytettävät siviiliteknologiset tuotteet testata sotilasstandardien mukaisesti. Vain tällä menettelyllä voidaan taata kaikkien laitteiden keskinäinen sähkömagneettinen yhteensopivuus. Lisäksi kokonaisuuden testaamisen osalta tulisi toteuttaa EMC-mittaukset, joissa viestiasemissa olevat laitteet ovat kaikki siinä toimintatilassa, jossa ne normaalissa toimintatilassa ovat. Tällä mittauksella voidaan varmistaa mahdollisten eri tyyppisten kytkeytymisien ilmaantuminen ja tarvittaessa määrittää suojautumistoimenpiteet niitä vastaan.

Opinnäytetyön tutkimuskysymyksenä oli

Aiheuttaako käytössä oleva COTS-tuote häiriösignaaleja NATO UHF B -taajuuskaistalle?

- Onko mahdollinen häiriösignaali niin voimakas, että se häiritsee hyötysignaalia taajuuskaistalla 240–360MHz?
- Miten mahdollisilta häiriösignaaleilta voidaan suojautua?

Mittausten perusteella tutkimuskysymykseen vastaus on; kyllä aiheuttaa. Tutkimuskysymyksen tarkentaviin kysymyksiin sen sijaan ei voida antaa luotettavaa vastausta. Vaikka mittaukset osoittivat, että häiriösignaaleja esiintyy myös opinnäytetyössä tarkastelun kohteena olleella taajuuskaistalla, ei opinnäytetyön mittausten perusteella voida tehdä luotettavaa johtopäätöstä siitä, että häiriösignaalit olisivat riittävän voimakkaita häiritsemään laajakaistaisen radion vastaanotinta. Mahdollisuus tälle kuitenkin on kuitenkin kiistatta olemassa, joten ilmiö on huomioitava käytettäessä yleisillä markkinoilla olevia COTS-tuotteita samassa yhteydessä herkkien sotilasradioiden kanssa.

Tutkimuskysymyksen toiseen tarkentavaan kohtaan opinnäytetyöllä ei sen sijaan saatu vastausta. Opinnäytetyö tällaisenaan kasvoi laajaksi kokonaisuudeksi ja suojautumismenetelmien määrittäminen edellyttäisi tarkempaa perehtyneisyyttä esimerkiksi tarkasteltavien radioiden häiriönsieto-ominaisuuksiin. Suojautumiskeinot edellyttäisivät myös radioille toteutettavia häiriönsietomittauksia, mitä ei tälle tutkimustyölle myönnetty Puolustusvoimien tutkimuslupa mahdollistanut. Mittauksissa saadut tulokset kuitenkin antavat viitteitä siitä, että erityisesti laitteiden kaapelit säteilevät suurimman osan laitteen tuottamista häiriösignaaleista. Näin ollen mahdollisten häiriösignaalien voimakkuutta voitaneen pienentää käyttämällä häiriösuojattuja kaapeleita sekä suojaamalla käytössä olevat kaapelit paremmin.

Opinnäytetyö jätti jälkeensä useita kysymyksiä, joiden pohjalta tutkimusta on mahdollista jatkaa. Myöhemmin tutkittavia asiakokonaisuuksia ovat esimerkiksi standardien vertailu sekä mittausten laajentaminen koskemaan säteilevien mittausten osalta myös muita häiriömittauksia. Myös tuotekehitykseen liittyvien prosessien laatiminen ja kehittäminen EMC:n osalta mahdollistaa jatko-tutkimuksen toteuttamisen.

## 6 Pohdinta

Opinnäytetyön toteuttaminen onnistui pääosiltaan hyvin. Suurimmat haasteet työn laatimisessa ilmentyivät käytettävien standardien määrittämisessä sekä niiden vaikeaselkiseen sisältöön perehtymisessä. EMC-standardeja määrittäviä organisaatioita on useita, eikä niiden tuottamien standardien keskinäinen vertailu onnistu ilman erityistä asiantuntemusta. Standardien saatavuus on varsin haastavaa niiden maksullisuuden takia. Poikkeuksen tästä tekee MIL-STD-standardit, jotka ovat vapaasti internetistä ladattavissa. Standardien versiohistorian seuraaminen on haastavaa ja viimeisimmän voimassa olevan version löytäminen osoittautui joidenkin standardien osalta mahdottomaksi.

EMC-teorian osalta oli havaittavissa, että aihealue on laaja ja vaarana oli, että teorian kuvaaminen olisi kasvanut liian suureksi kokonaisuudeksi. Opinnäytetyön pääasiallisena tavoitteena oli toteuttaa EMC-mittaukset eikä niinkään perehdyttää lukijaa EMC:n teoriaan. Tästä syystä EMC kuvattiin varsin lyhyesti keskittyen pääasiassa toteutettaviin mittauksiin.

Opinnäytetyön ulkopuolelle rajattiin kaikki Puolustusvoimien toimintaan tai järjestelmien tekniikkaan liittyvät salassa pidettävä tieto. Tällä mahdollistettiin opinnäytetyön helpompi toteuttaminen ja kokonaisuuden hallinta. Kuitenkin Puolustusvoimien sisäiseen käyttöön koettiin tarpeelliseksi laatia salassa pidettävä liite, jossa tuotiin esille vain Puolustusvoimia koskevia asioita. Opinnäytetyön laatiminen julkiseksi oli oikea ratkaisu, mikä mahdollistaa saadun tiedon hyödyntämisen myös Puolustusvoimien ulkopuolisissa tilanteissa, joissa laitteiden EMC-ongelmat voivat aiheuttaa haasteita.

EMC-mittausten toteuttamista häiritsivät ympäröivässä yhteiskunnassa poikkeustilanteen takia olevat liikkumisrajoitukset. Pääsy koulun tiloihin oli rajoitettu minimiin, minkä takia mittausten valmistelut ja itse mittaukset jouduttiin toteuttamaan saman päivän aikana. Mittaukset kuitenkin saatiin suoritettua lähes suunnitellulla tavalla, joskin laadittua testisuunnitelmaa jouduttiin päivittämään testitoiminnan yhteydessä. Poikkeustilanteen takia opinnäytetyön yhteydessä toteutetut mittaukset ajoittuivat huomattavan myöhäiseen ajankohtaan ajatellen opinnäytetyön palautusajankohtaa. Käytännössä mittausten toteutuspäivän ja työn palautuspäivän väliin jäi ainoastaan yksi viikko.

Alkuperäinen suunnitelma mittausten osalta oli toteuttaa ne täysin MIL-STD-standardin mukaisesti, mutta ammattikorkeakoulun EMC-laboratorion materiaali ei mahdollistanut täysin kyseisen



standardin mukaisten mittausten toteuttamista. Näin ollen alkuperäiseen mittaussuunnitelmaan lisättiin referenssimittauksia, joilla pyrittiin demonstroimaan siviili- ja sotilasstandardien eroja. Vaikka näiden testien tulokset eivät kaikilta osa-alueiltaan täytä standardien mukaisia vaatimuksia, ne kuitenkin antoivat viitteitä standardien välisistä eroista. Opinnäytetyön alkuperäinen idea olikin vahvistaa kirjoittajan kokema epäily eri toimintaympäristöihin tarkoitettujen laitteiden yhteensopimattomuudesta. Tähän opinnäytetyö antoi vahvistuksen, vaikkakaan saatuja tuloksia ei voida käyttää sellaisenaan. Opinnäytetyön tulokset kuitenkin antavat ohjausta jatkotutkimuksille esimerkiksi Puolustusvoimissa toteutettaville mittauksille.

Opinnäytetyön laatiminen kehitti merkittävästi standardeihin liittyvää osaamista, mistä on hyötyä tulevaisuudessa työtehtävissä. Myös EMC-mittauksiin liittyvät vaatimukset ja testitapahtumien toteutukseen liittyvät asiakokonaisuudet konkretisoituivat mielikuvista todellisiksi asioiksi. Sen sijaan opinnäytetyön teoreettinen viitekehys jäi vähäiselle huomiolle. Opinnäytetyön laatiminen toteutettiin käytännössä ammattikorkeakoulun internet-sivuilta ladattujen ohjeiden perusteella eikä itse kirjoittamiseen annettu erikseen opetusta. Työn laatiminen kuitenkin sitoi hyvin yhteen usean vuoden opiskelun aikana saadun opin niin ammattiaiaineiden kuin yleisten lukuaineiden osalta.

## Lähteet

- (1) Euroopan parlamentti ja neuvosto. Direktiivi 2014/30/EU. 2014 26.2.
- (2) TUKES. CE-merkintä. Saatavilla: <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/ce-merkinta>. Noudettu: Maaliskuu 2., 2020.
- (3) Williams T editor. EMC for Product Designers. 4th ed.; 2007.
- (4) IEC - International Electrotechnical Commission. Electromagnetic compability. Saatavilla: <http://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=161-01-07>. Noudettu: Helmikuu 20., 2020.
- (5) Valtioneuvoston asetus 1436/2016 sähkölaitteiden ja -laitteistojen sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta . 21.12.2016.
- (6) Department Of Defence. MIL-STD-461G. Marraskuu 12., 2015.
- (7) Korhonen E. EMC-suunnittelu ja -testaus. Saatavilla: <https://docplayer.fi/7019958-Emc-suunnittelu-ja-testaus.html>. Noudettu: Maaliskuu 15., 2020.
- (8) Schmitt R. Electromagnetics explained : a handbook for wireless/RF, EMC, and high-speed electronics. Amsterdam ; Boston: Newnes; 2002.
- (9) European Union. Standards in Europe. Saatavilla: [https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/standards/standards-in-europe/index\\_en.htm#shortcut-1](https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/standards/standards-in-europe/index_en.htm#shortcut-1). Noudettu 13.4.2020.
- (10) SFS. Suomen Standardisoimisliitto. Saatavilla: [https://www.sfs.fi/sfs\\_ry](https://www.sfs.fi/sfs_ry). Noudettu 13.4.2020.
- (11) International Electrotechnical Commission, - IEC. CISPR: International Special Committee on Radio Interference. Saatavilla: [https://www.iec.ch/emc/iec\\_emc/iec\\_emc\\_players\\_cispr.htm](https://www.iec.ch/emc/iec_emc/iec_emc_players_cispr.htm). Noudettu 13.4.2020.
- (12) International Electrotechnical Commission, - IEC. CISPR: Guidance for users of the CISPR Standards. IEC 16.9.2019.
- (13) Elbit Systems. E-LynX Manpack datasheet. Saatavilla: [https://elbitsystems.com/media/7200MP\\_21.2.pdf](https://elbitsystems.com/media/7200MP_21.2.pdf). Noudettu: 19.4.2020.
- (14) Harris Technologies. RF-330E-HH datasheet. Saatavilla: <https://www.harris.com/sites/default/files/rf-330e-hh-wideband-networking-handheld-radio-specifications.pdf>. Noudettu 19.4.2020.
- (15) Bittium Oy. Radio Head I Technical Specification. Saatavilla: <https://www.bittium.com/tactical-communications/bittium-tactical-wireless-ip-network#radio-head-i>. Noudettu: 19.4.2020.

- (16) International Electrotechnical Commission, - IEC. CISPR 16-2-3:2016 RLV Redline version. Saatavilla: <https://webstore.iec.ch/publication/25875>.
- (17) Compliance engineering. Radiated Power Calculator. Saatavilla: <https://www.com-peng.com.au/radiated-power-calculator/>. Noudettu 19.4.2020.
- (18) International Electrotechnical Commission, - IEC. CISPR 11. 2015 Kesäkuu.
- (19) International Electrotechnical Commission, - IEC. CISPR 11 Amendment 1. 2016 Kesäkuu.
- (20) International Electrotechnical Commission, - IEC. CISPR 22. 2005 Huhtikuu.
- (21) Commercial off-the-Shelf (COTS). Saatavilla: <http://acqnotes.com/acqnote/career-fields/commercial-off-the-shelf-cots>. Noudettu: 3.3.2020.
- (22) KAMK. Kajaanin ammattikorkeakoulun EMC-laboratorion kuvaus - moniste.
- (23) EN 55022 Information technology equipment - Radio disturbance characteristics - Limits and methods of measurement (CISPR 22:2005, modified). Syyskuu 2006.
- (24) TDK Electronics Europe GmpH. Test report - KAMK EMC-laboratorio. 20.9.2002.

**TESTISUUNNITELMA**

Toteutettavien EMC-testien tarkoituksena on mitata kaupallisten tuotteiden aiheuttama säteilevä häiriöpäästö 30 – 1000 MHz alueella.

Testipaikka	Kajaanin ammattikorkeakoulun EMC-laboratorio
Ajankohta	17.4.2020 klo 08.00 – 11.00
Testihenkilöstö	Kalle Hyvönen Markku Karppinen
Testijärjestelyt	EN 61000-6-3 (FAR)
Testausmateriaali	Mittausvastaanotin Rohde&Schwarz ESIB26 20 kHz – 26.5GHz Antenni Rohde&Schwarz HL562 30 MHz – 3 GHz Testausohjelmisto Rohde&Schwarz ES-K1
Mittausalue	30 – 1000 MHz
Mittausepävarmuus	<i>Ei huomioitu</i>
Mittausetäisyys	3 m (testit 1-11) 1.5 m (testi 12) 1 m (testi 13)
Antennikorkeus	1.5 m
Mittausalusta	Johtamaton pöytätas
Mitattavan laitteen tulee olla käynnissä koko mittausjakson ajan. Mittaukset toteutetaan huippuarvoilmaisimella ja raja-arvojen ylittämät piikit tai riittävän lähelle raja-arvoa tulevat piikit mitataan näennäishuippuarvoilmaisimella.	

## Testien vaiheistus

Mittaus	Sisältö	Testinumero
1	Tyhjän huoneen mittaus	REFERENSSI 1
2	Kannettava tietokone Panasonic CF54 AC-virtalähde	TESTI 1.1
3	Kannettava tietokone Fujitsu Lifebook U Series, näyttö, VGA-johdin	VALMISTAVA 1
4	VGA/HDMI-adapteri	TESTI 3
5	USB-latauslaite + varavirtalähde 100 %	TESTI 2.1
6	USB-latauslaite + varavirtalähde 50 %	TESTI 2.2
7	USB-latauslaite + 2 x varavirtalähde 100 % + 50 %	TESTI 2.3
8	USB-latauslaite + varavirtalähde 50 % + USB-C	TESTI 2.4
9	Sisätilanlämmitin	TESTI 5
10	LED-valaisin	TESTI 4
11	Kannettava tietokone Panasonic CF54 DC-virtalähde 12 V	TESTI 1.2
12	Kannettava tietokone Panasonic CF54 DC-virtalähde 12 V (1.5 m)	REFERENSSI 2
13	Kannettava tietokone Panasonic CF54 DC-virtalähde 12 V (1 m)	REFERENSSI 3

## REFERENSSI 1 REFERENSSIMITTAUS

### 1. Testattava kokonaisuus

Testin tarkoituksena on mitata kaiuttoman huoneen taustakohina referenssiksi muille mittauksille.

### 2. Testikohteen tarkennus

Testissä ei ole materiaalia.

### 3. Laitejärjestelypiirros

Ei laitteita

### 4. Testin valmistelutyöt

Testihuoneen valmistelu standardin määrittämään mittauskuuntoon.

### 5. Testin toteuttamista edeltävät valmistelevat tai aiemmin suoritettut testit

Mittauslaitteet käynnistettävä noin 1h ennen mittausten aloittamista.

### 6. Testin hyväksymisen kriteeri

Testi on hyväksytty, jos

- Mittaustulos tuottaa oletetun taustakohinan

### 7. Testitulokset

Testitulokset esitetään liitteessä 2

## **REFERENSSI 2 (TESTI 1.2, etäisyys 1.5 m)**

### **1. Testattava kokonaisuus**

Testin tarkoituksena on toteuttaa TESTI 1.2 mittausetäisyyden muuttuessa 1.5 m.

### **2. Testikohteen tarkennus**

Kts. TESTI 1.2

### **3. Laitejärjestelypiirros**

Kts. TESTI 1.2

### **4. Testin valmistelutyöt**

Kts. TESTI 1.2

### **5. Testin toteuttamista edeltävät valmistelevat tai aiemmin suoritettut testit**

Toteutetaan TEST 1.2

### **6. Testin hyväksymisen kriteeri**

Kts. TESTI 2.1

### **7. Testitulokset**

Testitulokset esitetään liitteessä 2

## **REFERENSSI 2 (TESTI 1.2, etäisyys 1 m)**

### **8. Testattava kokonaisuus**

Testin tarkoituksena on toteuttaa TESTI 1.2 mittausetäisyyden muuttuessa 1 m.

### **9. Testikohteen tarkennus**

Kts. TESTI 1.2

### **10. Laitajärjestelypiirros**

Kts. TESTI 1.2

### **11. Testin valmistelutyöt**

Kts. TESTI 1.2

### **12. Testin toteuttamista edeltävät valmistelevat tai aiemmin suoritettut testit**

Toteutetaan TEST 1.2

### **13. Testin hyväksymisen kriteeri**

Kts. TESTI 2.1

### **14. Testitulokset**

Testitulokset esitetään liitteessä 2



## TESTI 1 PANASONIC CF54

### 1. Testattava kokonaisuus

Testin tarkoituksena on mitata kevyesti vahvennetun Panasonic – merkkisen kannettavan tietokoneen aiheuttama sähkömagneettinen säteily. Testi suoritetaan kahdessa vaiheessa.

#### TESTI 1.1

Testin ensimmäisessä vaiheessa mitataan Panasonic CF54 tietokoneen aiheuttama sähkömagneettinen säteily siinä tapauksessa, kun laite on liitetty verkkovirtaan sen omalla virtalähteellään.

#### TESTI 1.2

Testin toisessa vaiheessa mitataan saman tietokoneen aiheuttama sähkömagneettinen säteily siinä tapauksessa, kun laite on liitetty 12V LIND-tasajännitelähteeseen.



Kuva 1 Kannettava tietokone Panasonic



Kuva 2 Ajoneuvoadapteri

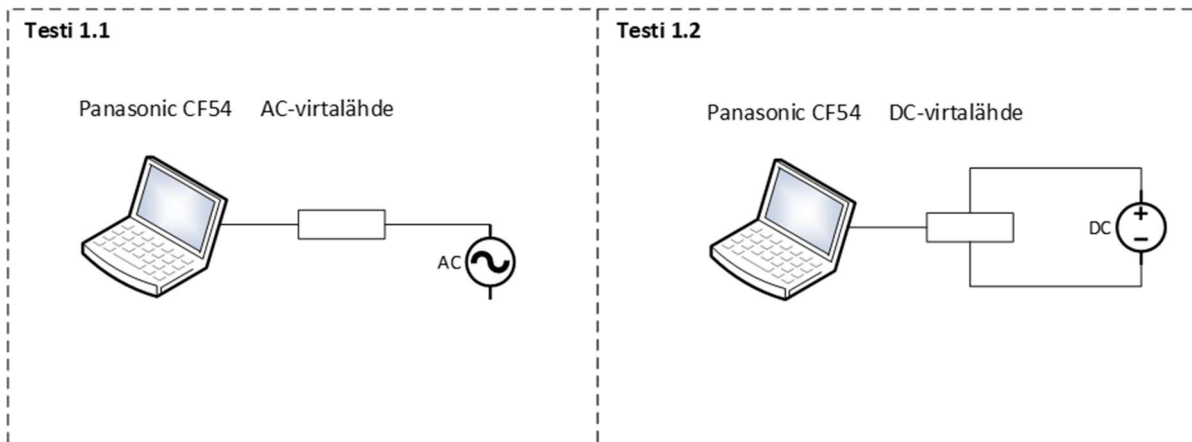
## 2. Testikohteen tarkennus

Testattava materiaali ja vaiheistus on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1 Testien 1.1 sekä 1.2 materiaali

Laite	Merkki	Malli	Sarjanumero	Osallisuus testeihin		Huom
				1.1	1.2	
Kannettava tietokone	Panasonic	CF-54F9864TN	7ETCA29712	1.1	1.2	
Virtalähde	Panasonic	CF-AA5713A	11519D	1.1		15.6V/7.05A
Ajoneuvoadapteri	Lind	PA1580-1642	1627		1.2	12-32V 15 A max Output 15V/8A

### 3. Laitejärjestelypiirros



Kuva 3 Testien 1.1 ja 1.2 laitejärjestelyt

### 4. Testin valmistelutyöt

Kannettavan tietokoneen oma akku tulee kuluttaa mittaushetkeen mennessä tyhjäksi tai lähes tyhjäksi.

### 5. Testin toteuttamista edeltävät valmistelevat tai aiemmin suoritettut testit

Referenssi 1 – mittaus.

### 6. Testin hyväksymisen kriteeri

Testi on hyväksytty, jos

- Tietokone saadaan sähköistettyä
- Spektrissä on havaittavissa tietokoneen käynnistyminen
- Kyetään määrittämään tarkasti mahdollinen häiriönlähde

### 7. Testitulokset

Testitulokset esitetään liitteessä 2

## **TESTI 2 VARAVIRTUALÄHDE**

### **1. Testattava kokonaisuus**

Testin tarkoituksena on mitata USB-varavirtalähteen latauksen aiheuttama häiriöpäästö. Testikohteena on Puolustusvoimille suomalaiselta yritykseltä hankittu USB-varavirtalähde sekä kaupallinen moniporttinen USB-latauslaite. Testi toteutetaan neljässä vaiheessa:

#### **TESTI 2.1**

Mitataan yhden ladattavan akun (varaustila 100%) ja latauslaitteen aiheuttama säteilyhäiriö

#### **TESTI 2.2**

Mitataan yhden ladattavan akun (varaustila 50%) ja latauslaitteen aiheuttama säteilyhäiriö

#### **TESTI 2.3**

Mitataan kahden ladattavan akun (varaustila 100% ja 50%) sekä latauslaitteen aiheuttama säteilyhäiriö

#### **TESTI 2.4**

Mitataan yhden ladattavan akun (varaustila 0%) ja latauslaitteen aiheuttama säteilyhäiriö, kun lataus toteutetaan USB-C – liittimen kautta



Kuva 4 Varavirtalähde sekä USB-latauslaite

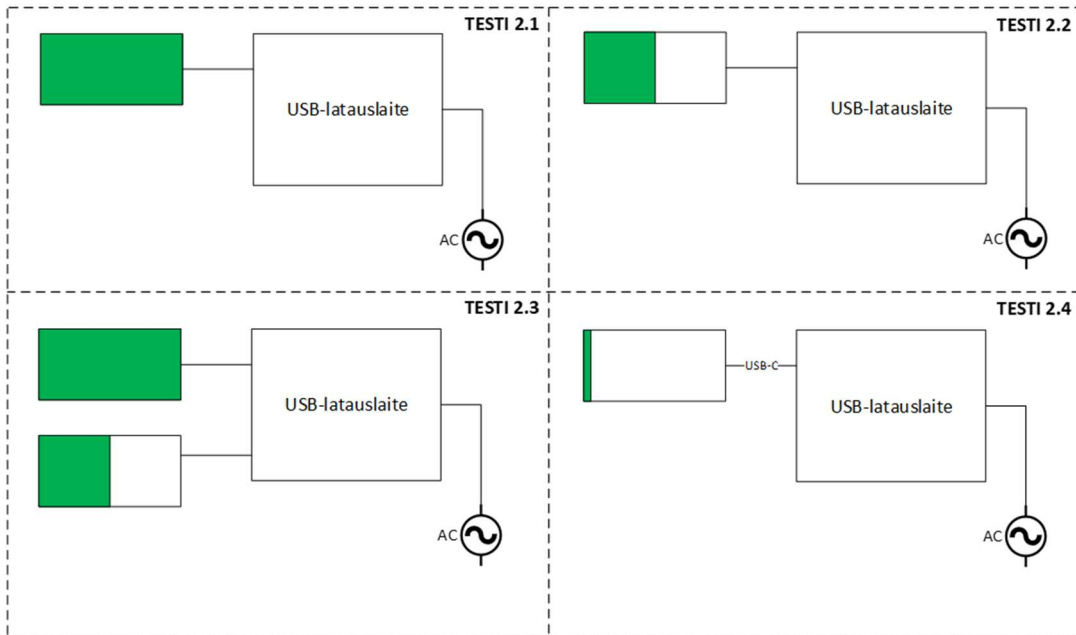
## 2. Testikohteen tarkennus

Testattava materiaali ja vaiheistus on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 2 Testien 2.x materiaali

Laite	Merkki	Malli	Sarjanumero	Huom
Varavirtalähde 1	-	-	sarjanroton	20100 mAh Varaustila TÄYSI/100%
Varavirtalähde 2	-	-	Sarjanroton	20100 mAh Varaustila PUOLITÄYSI/50%
Varavirtalähde 3	-	-	sarjanroton	20100 mAh Varaustila TYHJÄ/0%
Latauslaite	Wave	Wave-VLUSB-TYPE-C	sarjanroton	Output 5V/6A Output (C) 5V/3A, 12V/2A, 15V/2A

### 3. Laitejärjestelypiirros



Kuva 5 Testien 2.x laitejärjestelyt

### 4. Testin valmistelutyöt

Yksi akku kulutetaan lähes tyhjilleen ja yksi akku puolilleen alkuperäisestä varaustilasta.

### 5. Testin toteuttamista edeltävät valmistelevat tai aiemmin suoritettut testit

Ei tarvetta.

### 6. Testin hyväksymisen kriteeri

Testi on hyväksytty, jos

- Latauslaite saadaan sähköistettyä
- Spektrissä on havaittavissa latauslaitteen käynnistyminen
- Kyetään määrittämään tarkasti mahdollinen häiriönlähde

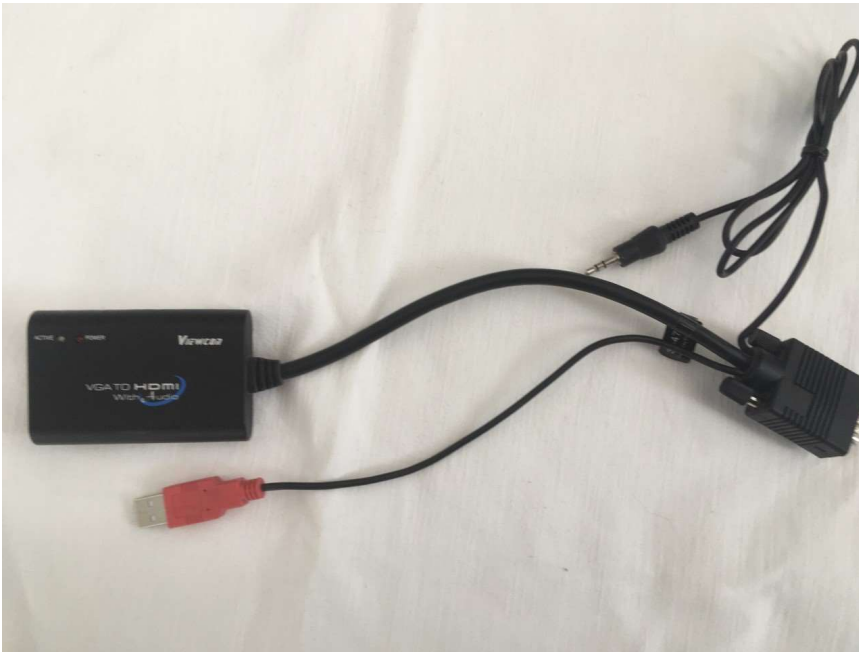
### 7. Testitulokset

Testitulokset esitetään liitteessä 2

## TESTI 3 VIDEOKUVAN MUUNNIN

### 1. Testattava kokonaisuus

Testin tarkoituksena on mitata viestiasemissa oleva VGA-HDMI adapterin aiheuttama häiriönpäästö. Testikohteena on Viewcon – merkinen videokuvan muunnin. Testissä mitataan VGA-signaalin muuttaminen HDMI-signaaliksi.



Kuva 6 Videokuvan muunnin

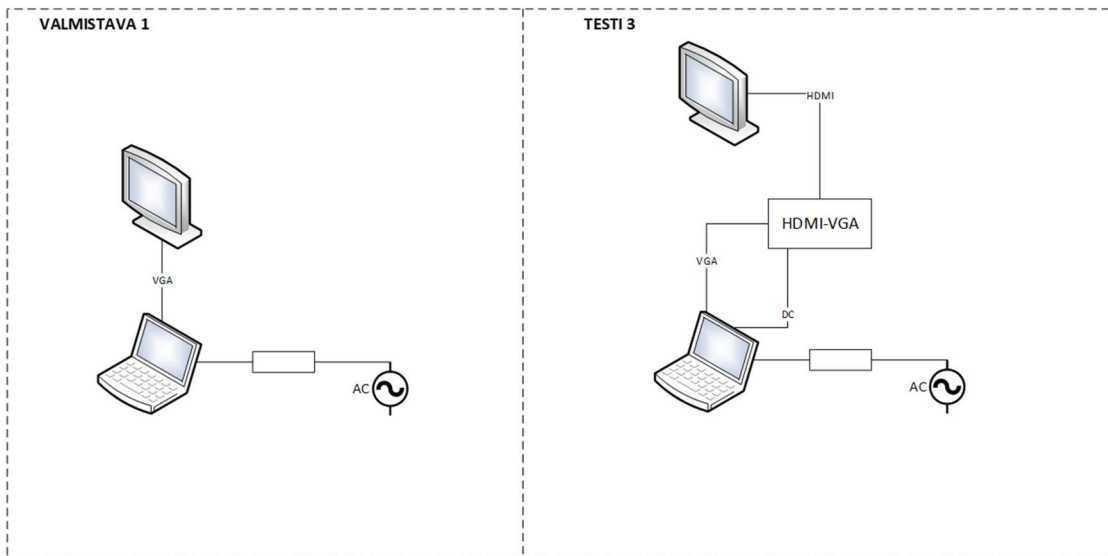
### 2. Testikohteen tarkennus

Testattava materiaali ja vaiheistus on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 3 Testin 2 materiaali

Laite	Merkki	Malli	Sarjanumero	Huom
Videokuvan muunnin	Viewcon	VGA to HDMI	Sarjanton	
HDMI-kaapeli				1 m
VGA-kaapeli				1 m
Näyttö	HP	EliteDisplay E233	3CQ7431VGX	
Kannettava tietokone	Fujitsu	Lifebook U Series	DS1W007263	

### 3. Laitejärjestelypiirros



Kuva 7 Valmistava 1 sekä testi 1 laitejärjestelypiirros

### 4. Testin valmistelutyöt

Ei mainittavaa

### 5. Testin toteuttamista edeltävät valmistelevat tai aiemmin suoritettut testit

Toteutetaan VALMISTAVA 1 – testi, jossa mitataan kannettavan tietokoneen, virtalähteen ja näytön aiheuttama häiriö

### 6. Testin hyväksymisen kriteeri

Testi on hyväksytty, jos

- VGA-HDMI-muuntimen ja muun mittausmateriaalin aiheuttamien häiriönpäästöjen ero voidaan määrittää.
- Muunnin saadaan sähköistettyä
- Spektrissä on havaittavissa muuntimen käynnistyminen
- Kytetään määrittämään tarkasti mahdollinen häiriönlähde

### 7. Testitulokset

Testitulokset esitetään liitteessä 2



## TESTI 4 LED-VALAISIN

### 1. Testattava kokonaisuus

Testin tarkoituksena on mitata viestiasemissa olevan LED-valaisimen aiheuttama häiriöpäästö. Testikohteena on HELLA – merkinen videokuvan tasajännite LED-valaisin.



Kuva 8 LED-valaisin

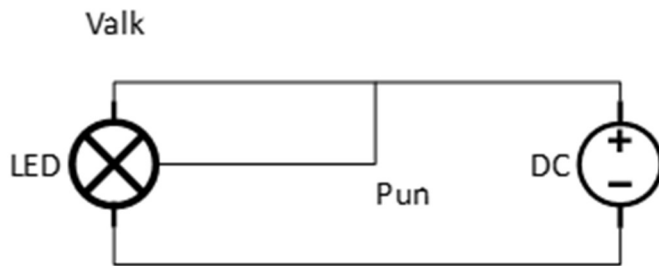
### 2. Testikohteen tarkennus

Testattava materiaali on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 4 Testin 4 materiaali

Laite	Merkki	Malli	Sarjanumero	Huom
Led-valaisin	Hella	LED-DIODI-DURALED 50 VALK/PUN	sarjanroton	9-33V

### 3. Laitejärjestelypiirros



Kuva 9 Testin 4 laitejärjestelypiirros

### 4. Testin valmistelutyöt

Sähköistetään LED-valaisin sekä valkoisten että punaisten LED:ien osalta 12V DC-jännitelähteellä.

### 5. Testin toteuttamista edeltävät valmistelevat tai aiemmin suoritettut testit

Ei tarvetta.

### 6. Testin hyväksymisen kriteeri

Testi on hyväksytty, jos

- Valaisin saadaan sähköistettyä
- Spektrissä on havaittavissa valaisimen käynnistyminen
- Kyetään määrittämään tarkasti mahdollinen häiriönlähde

### 7. Testitulokset

Testitulokset esitetään liitteessä 2

## TESTI 5 LISÄLÄMMITIN

### 1. Testattava kokonaisuus

Testin tarkoituksena on mitata viestiasemissa olevan lisälämmittimen aiheuttama häiriönpäästö. Testikohteena on Defa – merkinen lisälämmitin.



Kuva 10 Lisälämmitin

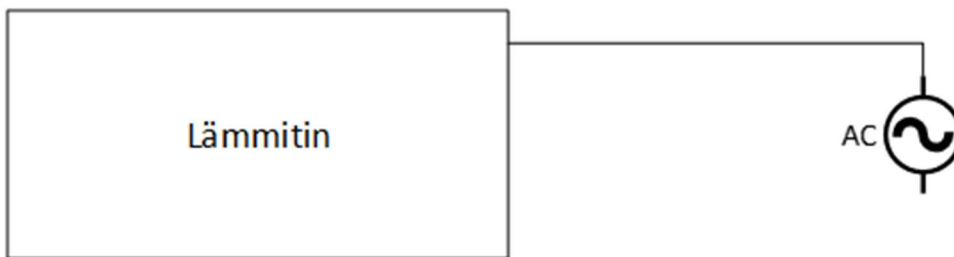
### 2. Testikohteen tarkennus

Testattava materiaali ja vaiheistus on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 5 Testin 5 materiaali

Laite	Merkki	Malli	Sarjanumero	Huom
Lisälämmitin	Defa	430014	H20361	1400W

### 3. Laitejärjestelypiirros



Kuva 11 Testin 5 laitejärjestelypiirros

### 4. Testin valmistelutyöt

Sähköistetään lisälämmitin AC-jännitelähteestä.

### 5. Testin toteuttamista edeltävät valmistelevat tai aiemmin suoritettut testit

Ei tarvetta.

### 6. Testin hyväksymisen kriteeri

Testi on hyväksytty, jos

- Lämmitin saadaan sähköistettyä
- Spektrissä on havaittavissa lämmittimen käynnistyminen
- Kyetään määrittämään tarkasti mahdollinen häiriönlähde

### 7. Testitulokset

Testitulokset esitetään liitteessä 2

EUT File: C:\Users\Public\Documents\RadiMation\EUT\_File\Emissio 30-1000MHz MIL-STD 461.EUT

**Order Number:**

EUT Name: Skyhigh  
Serial Number: -

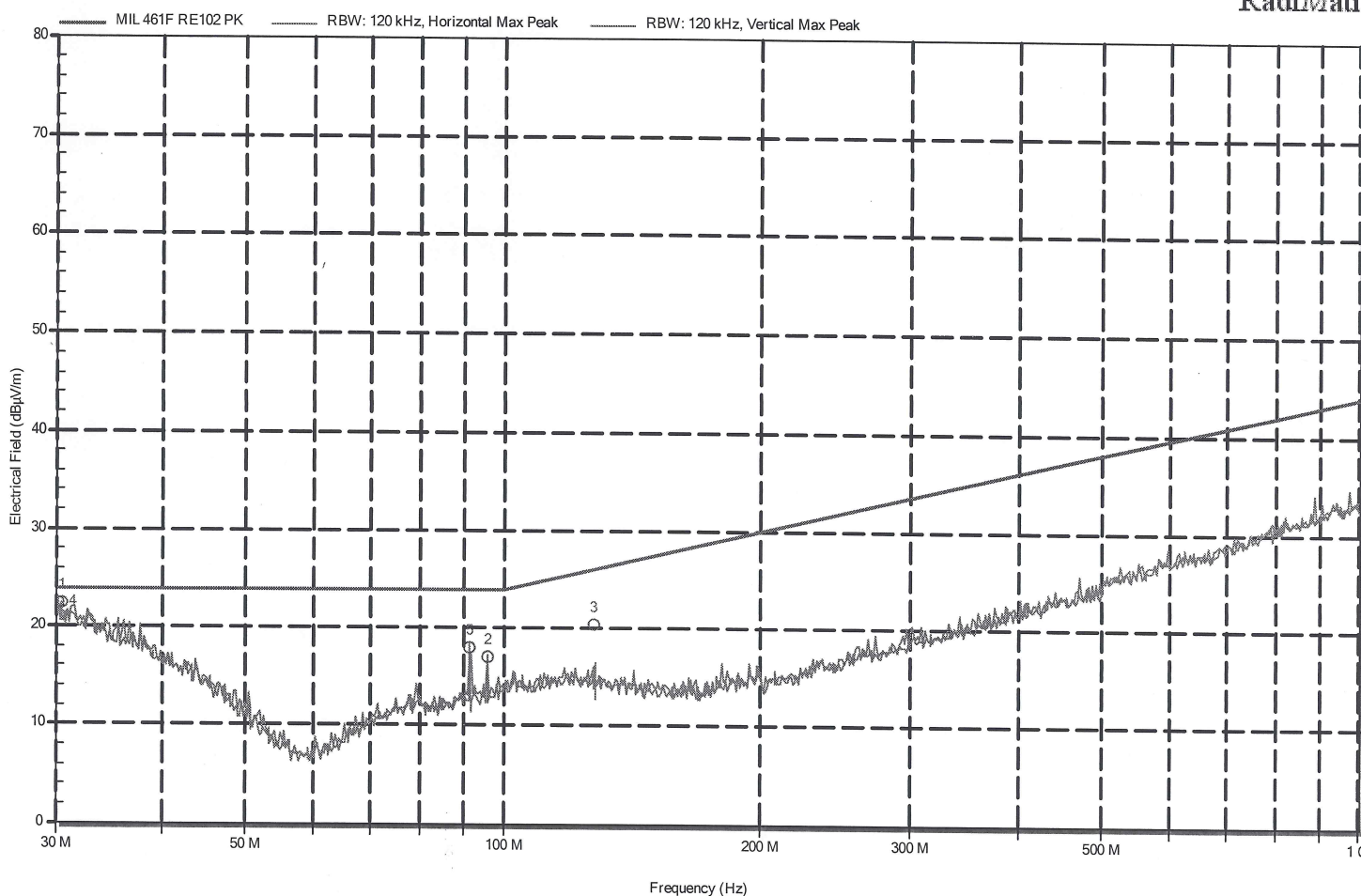
Client Name: Exens  
Contact Person: Jani Karppinen

*Työjälä HUONE*

**Radiated Emission**

Description: 79) MIL-STD 461 Field 30-1000MHz  
Time of Measurement: perjantai 17. huhtikuuta 2020, 9.10.34  
From 30 MHz to 1 GHz

RadiMation



**Detected Peaks:**

Peak Number	Frequency	Peak	Peak Limit	Status	Angle	Height	Polarization
1	30,45 MHz	22,4 dBµV/m	24 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Horizontal
2	95,715 MHz	17 dBµV/m	24 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Horizontal
3	127,85 MHz	20,3 dBµV/m	26,1 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Horizontal
4	30,15 MHz	22,4 dBµV/m	24 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Vertical
5	91,305 MHz	17,9 dBµV/m	24 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Vertical

**Settings:**

Ref. Level: 80 dBµV  
Attenuator: Auto [10,0 dB]  
RBW: 120 kHz  
Preamp: 20 dB  
VBW: Auto [120 kHz]  
Sweptime: Auto [120 ms]  
Step freq: Linear: 50 kHz steps  
Measure time: 5 ms

Antenna: Vertical at 1 m

**Note:** Tyhjähuone.

**Environment:**

Mode of operation: Manual

Temperature: 22 °Celsius

Humidity: 25 %

Pressure: 1015 mBar

EUT File: C:\Users\Public\Documents\RadiMation\EUT\_File\Emissio 30-1000MHz MIL-STD 461.EUT

**Order Number:**

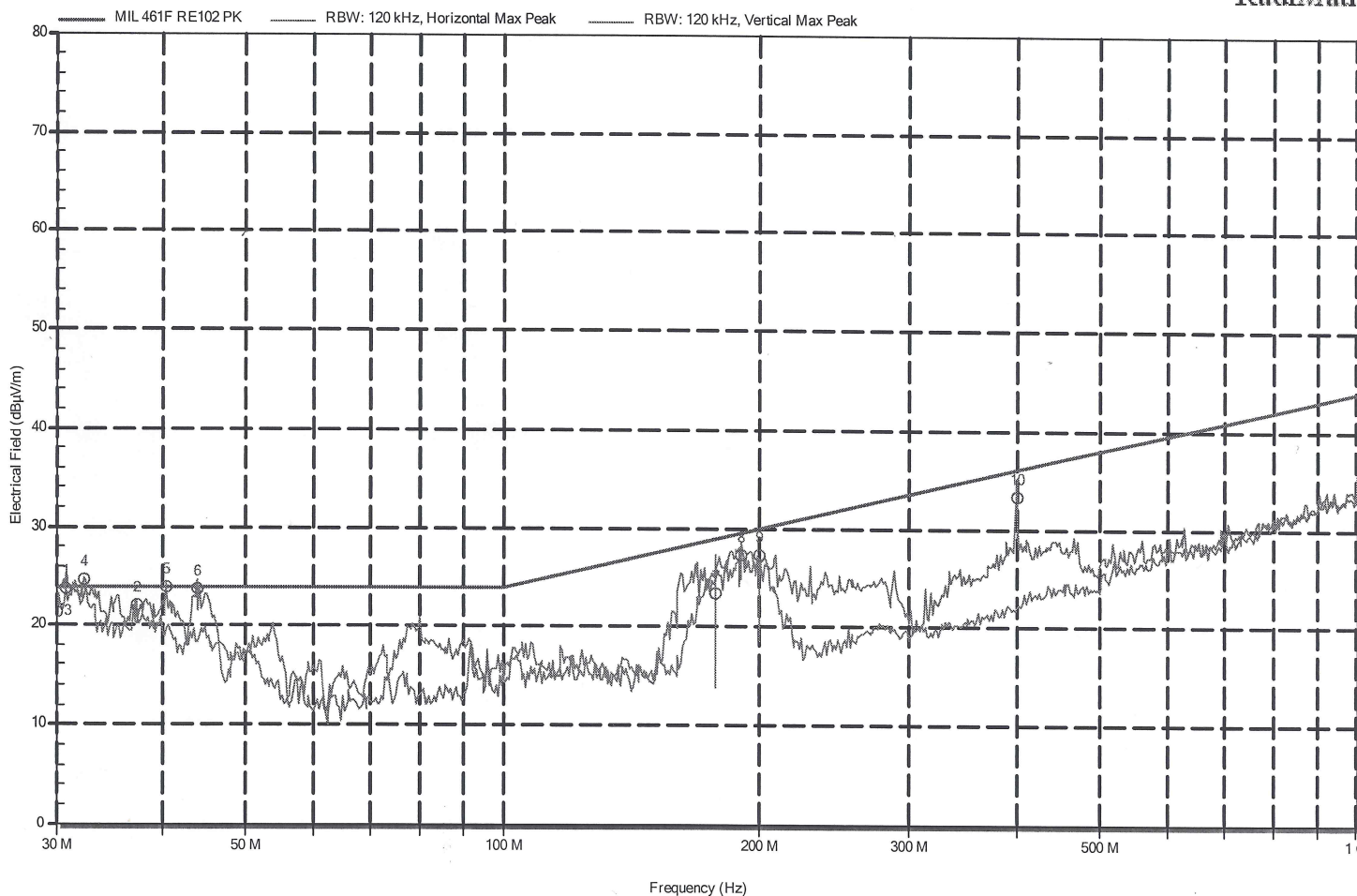
EUT Name: Skyhigh  
Serial Number: -

Client Name: Exens  
Contact Person: Jani Karppinen

**Radiated Emission**

Description: 80) MIL-STD 461 Field 30-1000MHz  
Time of Measurement: perjantai 17. huhtikuuta 2020, 9.30.46  
From 30 MHz to 1 GHz

RadiMation



**Detected Peaks:**

Peak Number	Frequency	Peak	Peak Limit	Status	Angle	Height	Polarization
1	30,85 MHz	23,8 dBµV/m	24 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Horizontal
2	37,3 MHz	22,1 dBµV/m	24 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Horizontal
3	30 MHz	21,3 dBµV/m	24 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Vertical
4	32,4 MHz	24,7 dBµV/m	24 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical
5	40,4 MHz	23,9 dBµV/m	24 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Vertical
6	43,9 MHz	23,7 dBµV/m	24 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Vertical
7	177,7 MHz	23,5 dBµV/m	29 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Vertical
8	189,79 MHz	27,3 dBµV/m	29,6 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Vertical
9	199,85 MHz	27,3 dBµV/m	30 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Vertical
10	399,945 MHz	33,3 dBµV/m	36 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Vertical

**Settings:**

Ref. Level: 80 dB $\mu$ V  
Attenuator: Auto [10,0 dB]  
RBW: 120 kHz  
Preamp: 20 dB  
Antenna: Vertical at 1 m

VBW: Auto [120 kHz]  
Sweeptime: Auto [120 ms]  
Step freq: Linear: 50 kHz steps  
Measure time: 5 ms

**Note:** Tietokone: AC-virtalähde

**Environment:**

Mode of operation: Manual  
Temperature: 22 °Celsius  
Humidity: 25 %  
Pressure: 1015 mBar



EUT File: C:\Users\Public\Documents\RadiMation\EUT\_File\Emissio 30-1000MHz  
MIL-STD 461.EUT

**Order Number:**

EUT Name: Skyhigh  
Serial Number: -

**Client Name:** Exens

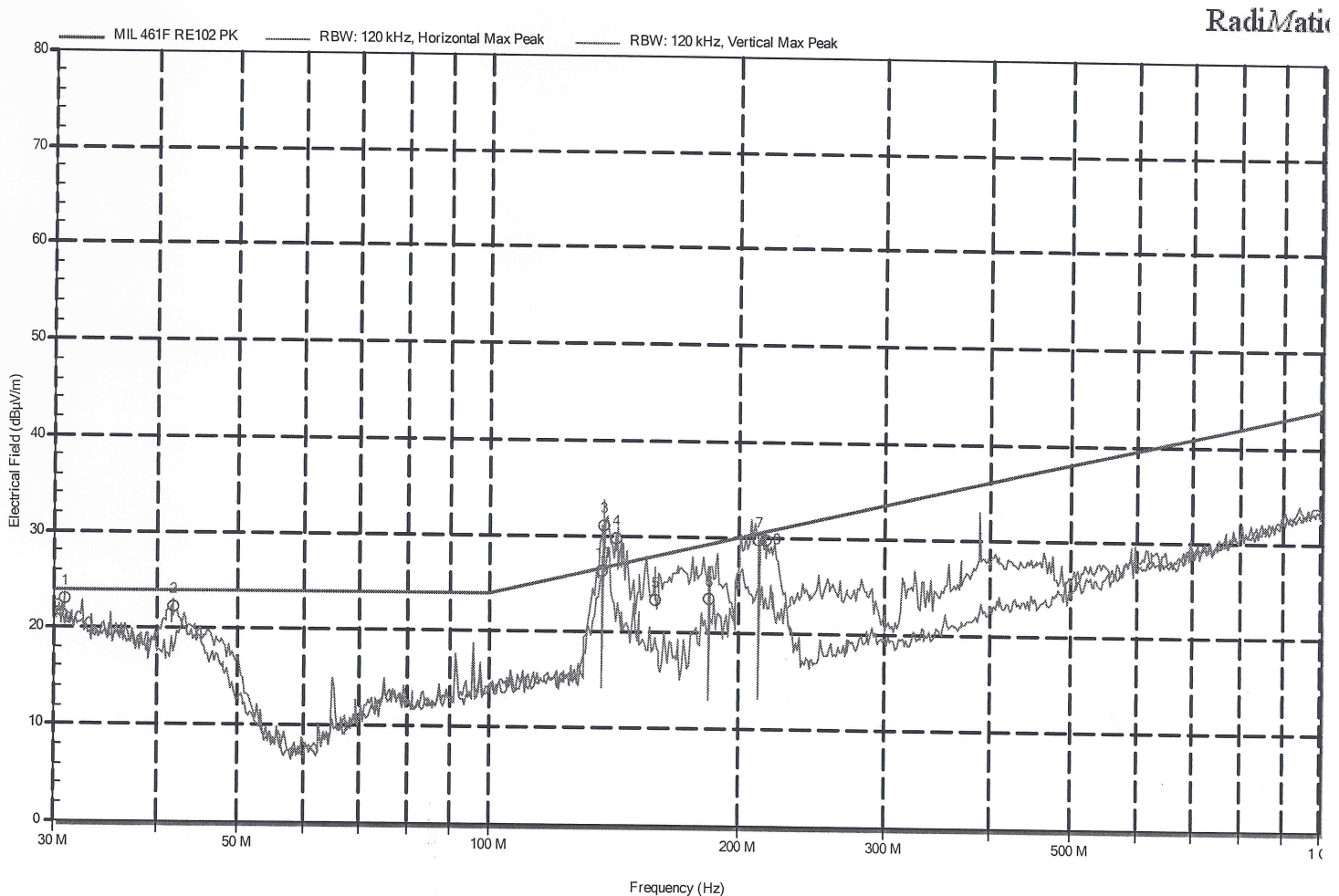
Contact Person: Jani Karppinen

**Radiated Emission**

Description: 89) MIL-STD 461 Field 30-1000MHz

Time of Measurement: perjantai 17. huhtikuuta 2020, 11.15.21

From 30 MHz to 1 GHz

**Detected Peaks:**

Peak Number	Frequency	Peak	Peak Limit	Status	Angle	Height	Polarization
1	30,95 MHz	23 dBµV/m	24 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Horizontal
2	41,8 MHz	22,2 dBµV/m	24 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Horizontal
3	137,16 MHz	31 dBµV/m	26,7 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
4	142,405 MHz	29,8 dBµV/m	27,1 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
5	158,55 MHz	23,4 dBµV/m	28 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Horizontal
6	183,845 MHz	23,6 dBµV/m	29,3 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Horizontal
7	210,85 MHz	29,8 dBµV/m	30,5 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Horizontal
8	214,71 MHz	29,8 dBµV/m	30,6 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Horizontal
9	30,4 MHz	22,3 dBµV/m	24 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Vertical
10	136,775 MHz	26,4 dBµV/m	26,7 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Vertical

**Settings:**

Ref. Level: 80 dB $\mu$ V  
Attenuator: Auto [10,0 dB]  
RBW: 120 kHz  
Preamp: 20 dB  
Antenna: Vertical at 1 m

VBW: Auto [120 kHz]  
Sweptime: Auto [120 ms]  
Step freq: Linear: 50 kHz steps  
Measure time: 5 ms

**Note:** kannettava tietokone, 12v laturi.

**Environment:**

Mode of operation: Manual  
Temperature: 22 °Celsius  
Humidity: 25 %  
Pressure: 1015 mBar

EUT File: C:\Users\Public\Documents\RadiMation\EUT\_File\Emissio 30-1000MHz MIL-STD 461.EUT

Order Number:

EUT Name: Skyhigh

Serial Number: -

Client Name: Exens

Contact Person: Jani Karppinen

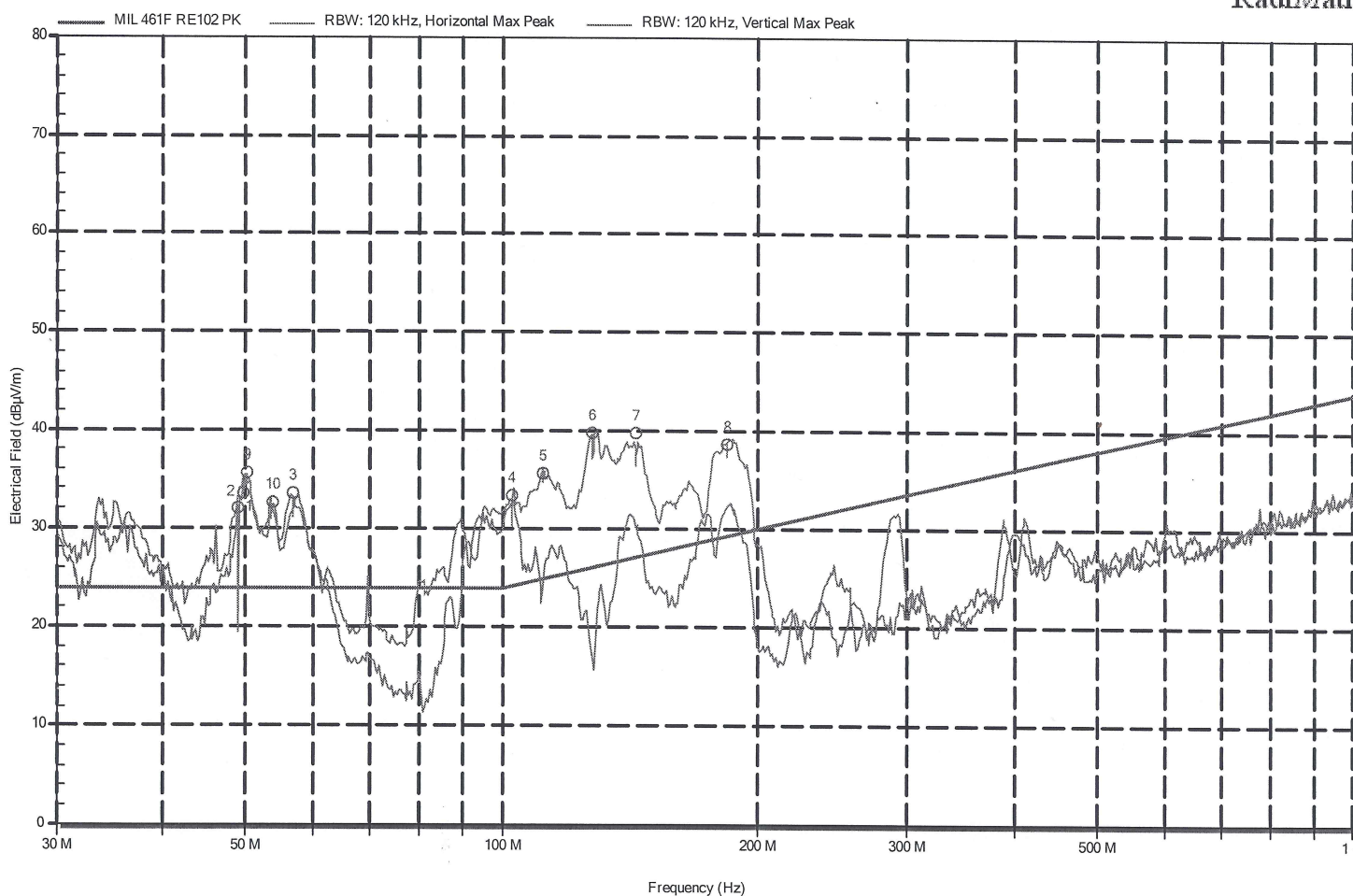
**Radiated Emission**

Description: 83) MIL-STD 461 Field 30-1000MHz

Time of Measurement: perjantai 17. huhtikuuta 2020, 10.18.18

From 30 MHz to 1 GHz

RadiMation



**Detected Peaks:**

Peak Number	Frequency	Peak	Peak Limit	Status	Angle	Height	Polarization
1	48,95 MHz	32 dBµV/m	24 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
2	49,8 MHz	33,5 dBµV/m	24 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
3	56,9 MHz	33,4 dBµV/m	24 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
4	102,6 MHz	33,3 dBµV/m	24,2 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
5	111,9 MHz	35,7 dBµV/m	25 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
6	127,85 MHz	39,7 dBµV/m	26,1 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
7	143,85 MHz	39,6 dBµV/m	27,2 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
8	183,85 MHz	38,6 dBµV/m	29,3 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
9	50,2 MHz	35,7 dBµV/m	24 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical
10	53,75 MHz	32,6 dBµV/m	24 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical

**Settings:**

Ref. Level: 80 dB $\mu$ V  
Attenuator: Auto [10,0 dB]  
RBW: 120 kHz  
Preamp: 20 dB  
Antenna: Vertical at 1 m

VBW: Auto [120 kHz]  
Sweeptime: Auto [120 ms]  
Step freq: Linear: 50 kHz steps  
Measure time: 5 ms

**Note:** USB-verkkolaite WAVE: Akku 100%

**Environment:**

Mode of operation: Manual  
Temperature: 22 °Celsius  
Humidity: 25 %  
Pressure: 1015 mBar

EUT File: C:\Users\Public\Documents\RadiMation\EUT\_File\Emissio 30-1000MHz MIL-STD 461.EUT

**Order Number:**

EUT Name: Skyhigh  
Serial Number: -

**Client Name:** Exens

Contact Person: Jani Karppinen

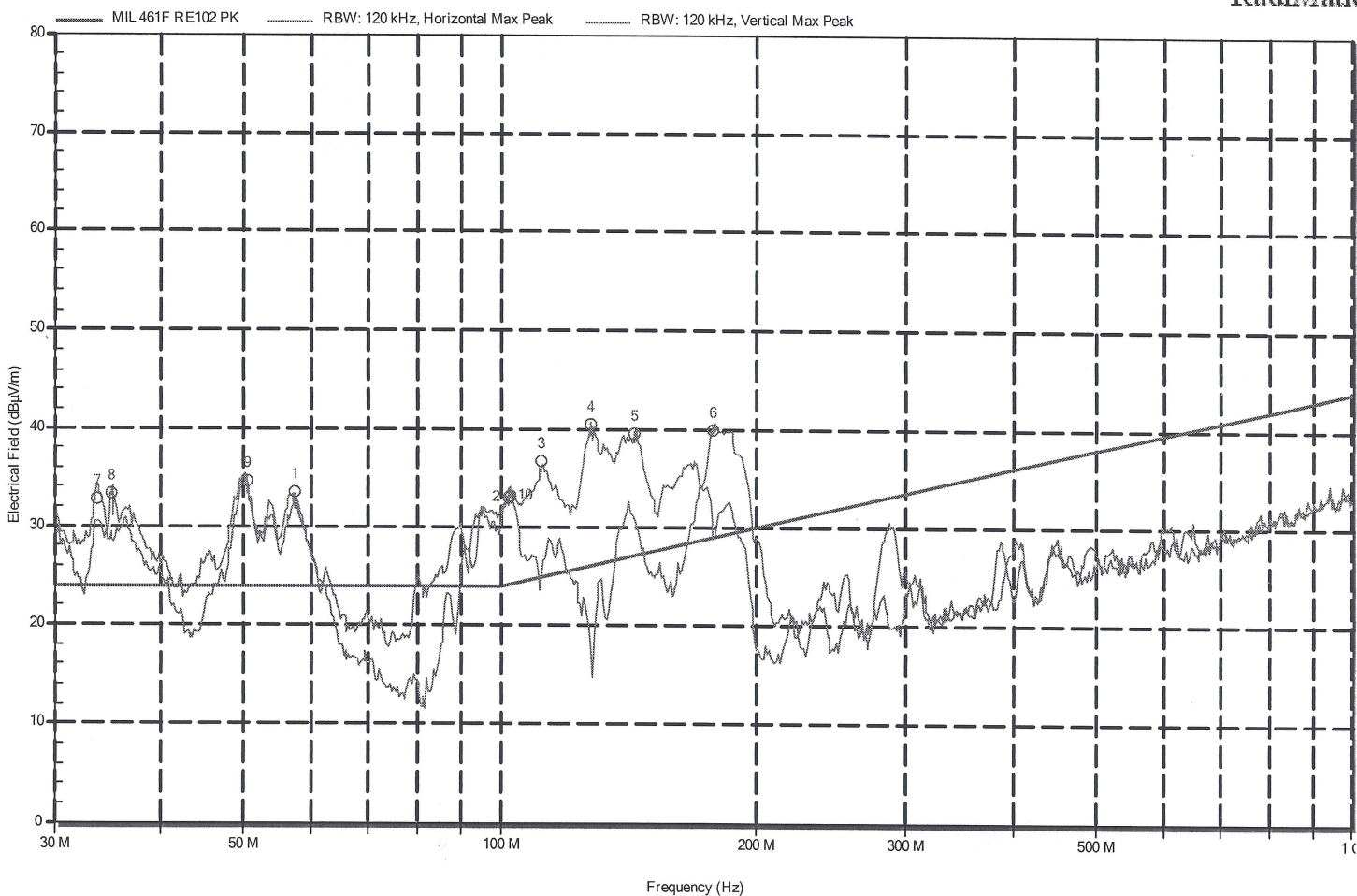
**Radiated Emission**

Description: 84) MIL-STD 461 Field 30-1000MHz

Time of Measurement: perjantai 17. huhtikuuta 2020, 10.27.15

From 30 MHz to 1 GHz

RadiMation



**Detected Peaks:**

Peak Number	Frequency	Peak	Peak Limit	Status	Angle	Height	Polarization
1	57,3 MHz	33,5 dBµV/m	24 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
2	102,2 MHz	32,9 dBµV/m	24,2 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
3	111,5 MHz	36,7 dBµV/m	24,9 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
4	127,85 MHz	40,4 dBµV/m	26,1 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
5	143,95 MHz	39,5 dBµV/m	27,2 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
6	177,65 MHz	39,9 dBµV/m	29 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
7	33,7 MHz	32,8 dBµV/m	24 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical
8	35,05 MHz	33,3 dBµV/m	24 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical
9	50,4 MHz	34,6 dBµV/m	24 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical
10	102,45 MHz	33,2 dBµV/m	24,2 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical

**Settings:**

Ref. Level: 80 dB $\mu$ V  
Attenuator: Auto [10,0 dB]  
RBW: 120 kHz  
Preamp: 20 dB  
Antenna: Vertical at 1 m

VBW: Auto [120 kHz]  
Sweep time: Auto [120 ms]  
Step freq: Linear: 50 kHz steps  
Measure time: 5 ms

**Note:** USB-verkkolaite WAVE: Akku 50%

**Environment:**

Mode of operation: Manual  
Temperature: 22 °Celsius  
Humidity: 25 %  
Pressure: 1015 mBar

EUT File: C:\Users\Public\Documents\RadiMation\EUT\_File\Emissio 30-1000MHz MIL-STD 461.EUT

**Order Number:**

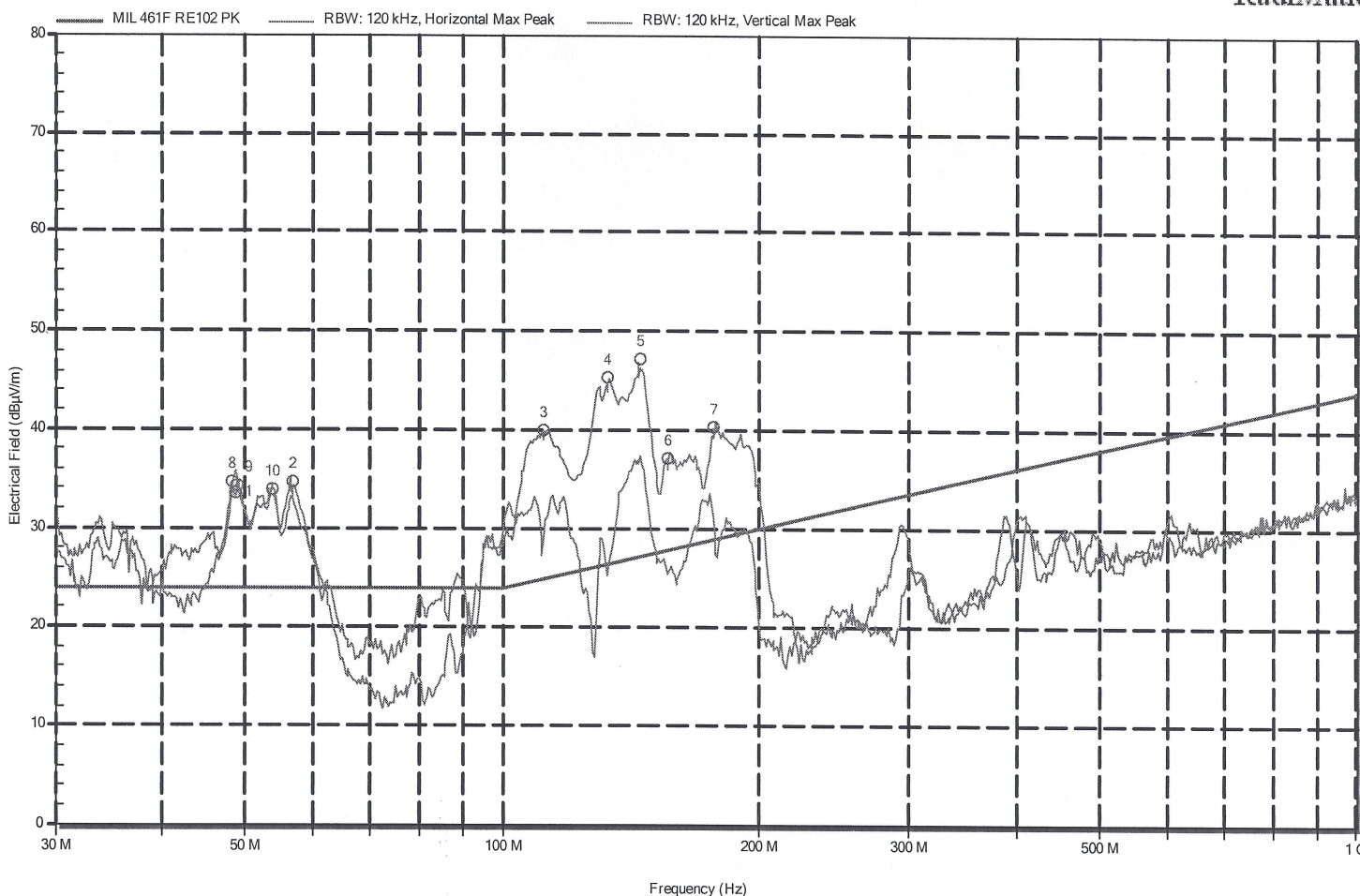
EUT Name: Skyhigh  
Serial Number: -

**Client Name:** Exens  
Contact Person: Jani Karppinen

**Radiated Emission**

Description: 85) MIL-STD 461 Field 30-1000MHz  
Time of Measurement: perjantai 17. huhtikuuta 2020, 10.36.21  
From 30 MHz to 1 GHz

RadiMation



**Detected Peaks:**

Peak Number	Frequency	Peak	Peak Limit	Status	Angle	Height	Polarization
1	48,65 MHz	33,4 dBµV/m	24 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
2	56,8 MHz	34,6 dBµV/m	24 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
3	111,85 MHz	40 dBµV/m	25 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
4	132,65 MHz	45,3 dBµV/m	26,4 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
5	144,75 MHz	47,2 dBµV/m	27,2 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
6	156 MHz	37 dBµV/m	27,9 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
7	176,75 MHz	40,4 dBµV/m	28,9 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
8	48,2 MHz	34,6 dBµV/m	24 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical
9	49,1 MHz	34,4 dBµV/m	24 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical
10	53,75 MHz	34 dBµV/m	24 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical

**Settings:**

Ref. Level: 80 dB $\mu$ V  
Attenuator: Auto [10,0 dB]  
RBW: 120 kHz  
Preamp: 20 dB  
Antenna: Vertical at 1 m

VBW: Auto [120 kHz]  
Sweptime: Auto [120 ms]  
Step freq: Linear: 50 kHz steps  
Measure time: 5 ms

**Note:** USB-verkkolaite WAVE: 2 x Akku

**Environment:**

Mode of operation: Manual  
Temperature: 22 °Celsius  
Humidity: 25 %  
Pressure: 1015 mBar



EUT File: C:\Users\Public\Documents\RadiMation\EUT\_File\Emissio 30-1000MHz  
MIL-STD 461.EUT

**Order Number:**

EUT Name: Skyhigh  
Serial Number: -

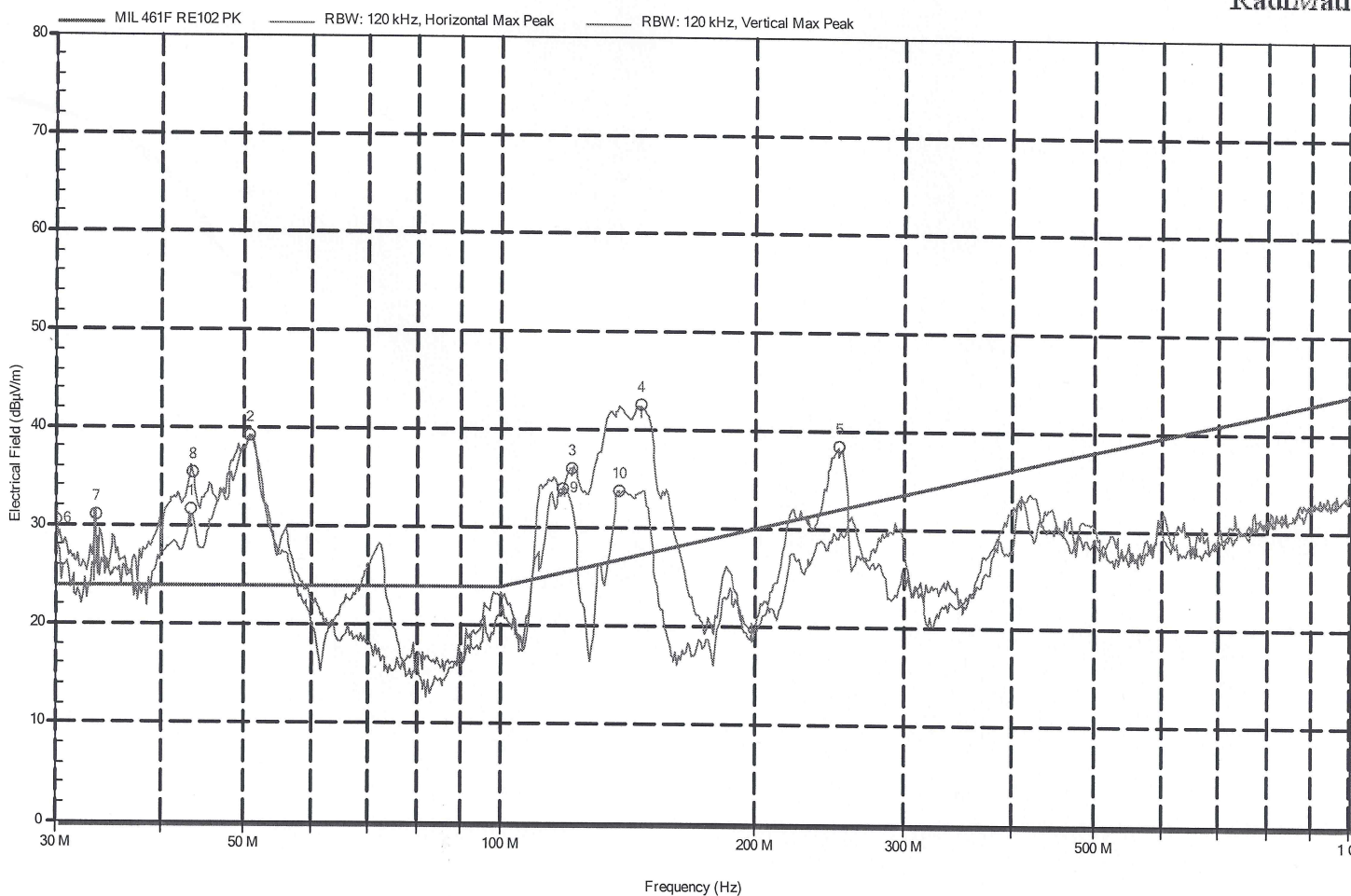
**Client Name:** Exens

Contact Person: Jani Karppinen

**Radiated Emission**

Description: 86) MIL-STD 461 Field 30-1000MHz  
Time of Measurement: perjantai 17. huhtikuuta 2020, 10.44.43  
From 30 MHz to 1 GHz

RadiMation



**Detected Peaks:**

Peak Number	Frequency	Peak	Peak Limit	Status	Angle	Height	Polarization
1	43,3 MHz	31,6 dBµV/m	24 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
2	50,7 MHz	39,1 dBµV/m	24 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
3	121,3 MHz	35,9 dBµV/m	25,7 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
4	146,4 MHz	42,5 dBµV/m	27,3 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
5	250,6 MHz	38,4 dBµV/m	32 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
6	30 MHz	30,6 dBµV/m	24 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical
7	33,55 MHz	31,1 dBµV/m	24 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical
8	43,55 MHz	35,4 dBµV/m	24 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical
9	118,7 MHz	33,9 dBµV/m	25,5 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical
10	138,15 MHz	33,7 dBµV/m	26,8 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical

**Settings:**

Ref. Level: 80 dB $\mu$ V  
Attenuator: Auto [10,0 dB]  
RBW: 120 kHz  
Preamp: 20 dB  
Antenna: Vertical at 1 m

VBW: Auto [120 kHz]  
Sweptime: Auto [120 ms]  
Step freq: Linear: 50 kHz steps  
Measure time: 5 ms

**Note:** USB-verkkolaite WAVE: Akku 0% (USB-C)

**Environment:**

Mode of operation: Manual  
Temperature: 22 °Celsius  
Humidity: 25 %  
Pressure: 1015 mBar

EUT File: C:\Users\Public\Documents\RadiMation\EUT\_File\Emissio 30-1000MHz MIL-STD 461.EUT

**Order Number:**

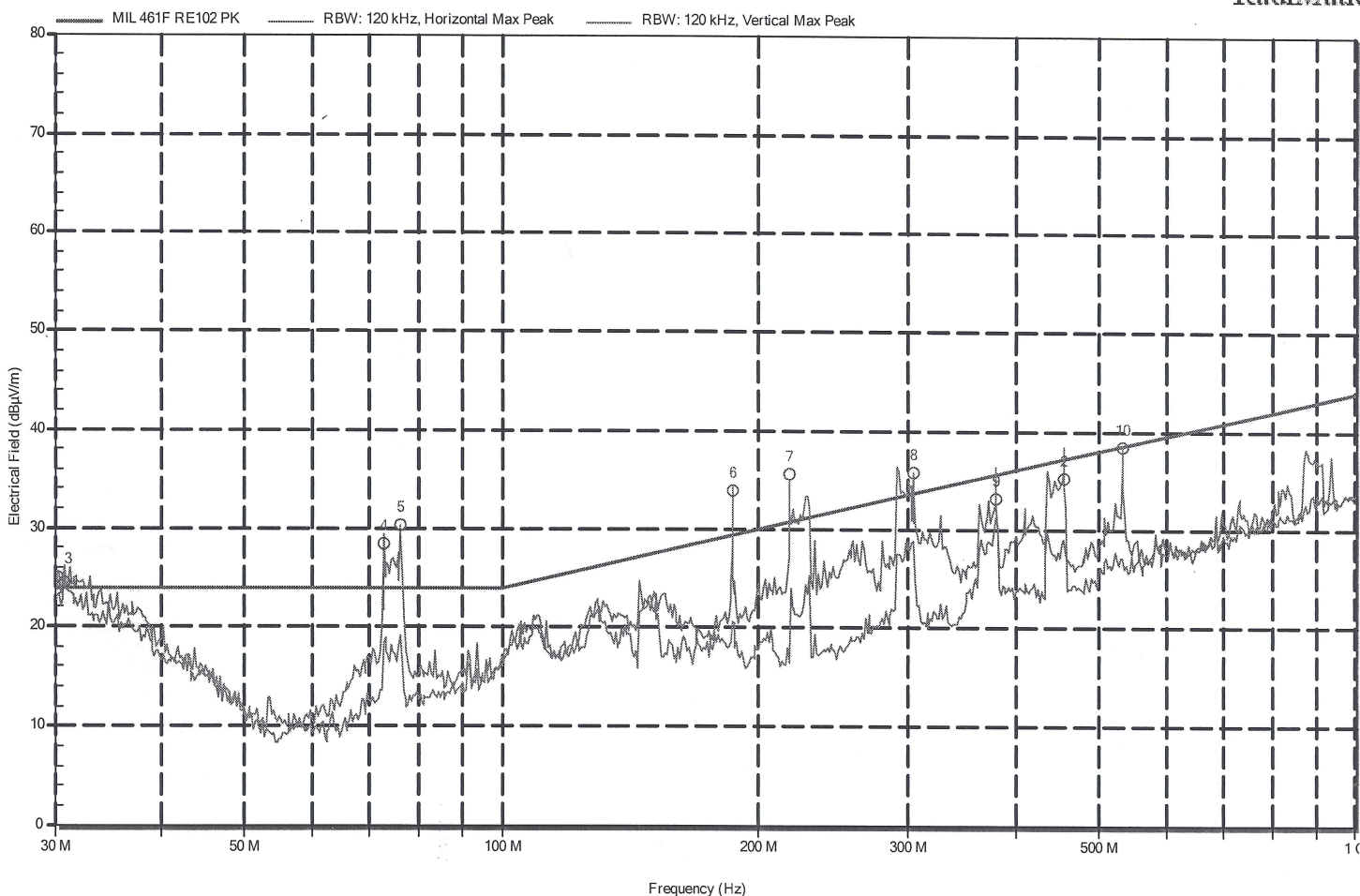
EUT Name: Skyhigh  
Serial Number: -

**Client Name:** Exens  
**Contact Person:** Jani Karppinen

**Radiated Emission**

Description: 81) MIL-STD 461 Field 30-1000MHz  
Time of Measurement: perjantai 17. huhtikuuta 2020, 9.48.58  
From 30 MHz to 1 GHz

RadiMation



**Detected Peaks:**

Peak Number	Frequency	Peak	Peak Limit	Status	Angle	Height	Polarization
1	30,8 MHz	24,5 dBµV/m	24 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
2	456,1 MHz	35,3 dBµV/m	37,2 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Horizontal
3	30,25 MHz	25 dBµV/m	24 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical
4	72,69 MHz	28,4 dBµV/m	24 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical
5	75,835 MHz	30,4 dBµV/m	24 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical
6	186,135 MHz	33,9 dBµV/m	29,4 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical
7	217,65 MHz	35,6 dBµV/m	30,7 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical
8	303,25 MHz	35,7 dBµV/m	33,6 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical
9	380 MHz	33,1 dBµV/m	35,6 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Vertical
10	533,155 MHz	38,5 dBµV/m	38,5 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Vertical

**Settings:**

Ref. Level: 80 dB $\mu$ V  
Attenuator: Auto [10,0 dB]  
RBW: 120 kHz  
Preamp: 20 dB  
Antenna: Vertical at 1 m

VBW: Auto [120 kHz]  
Sweeptime: Auto [120 ms]  
Step freq: Linear: 50 kHz steps  
Measure time: 5 ms

**Note:** Tietokone: AC-virtalähde vga ulkoinen näyttö

**Environment:**

Mode of operation: Manual  
Temperature: 22 °Celsius  
Humidity: 25 %  
Pressure: 1015 mBar

EUT File: C:\Users\Public\Documents\RadiMation\EUT\_File\Emissio 30-1000MHz  
MIL-STD 461.EUT

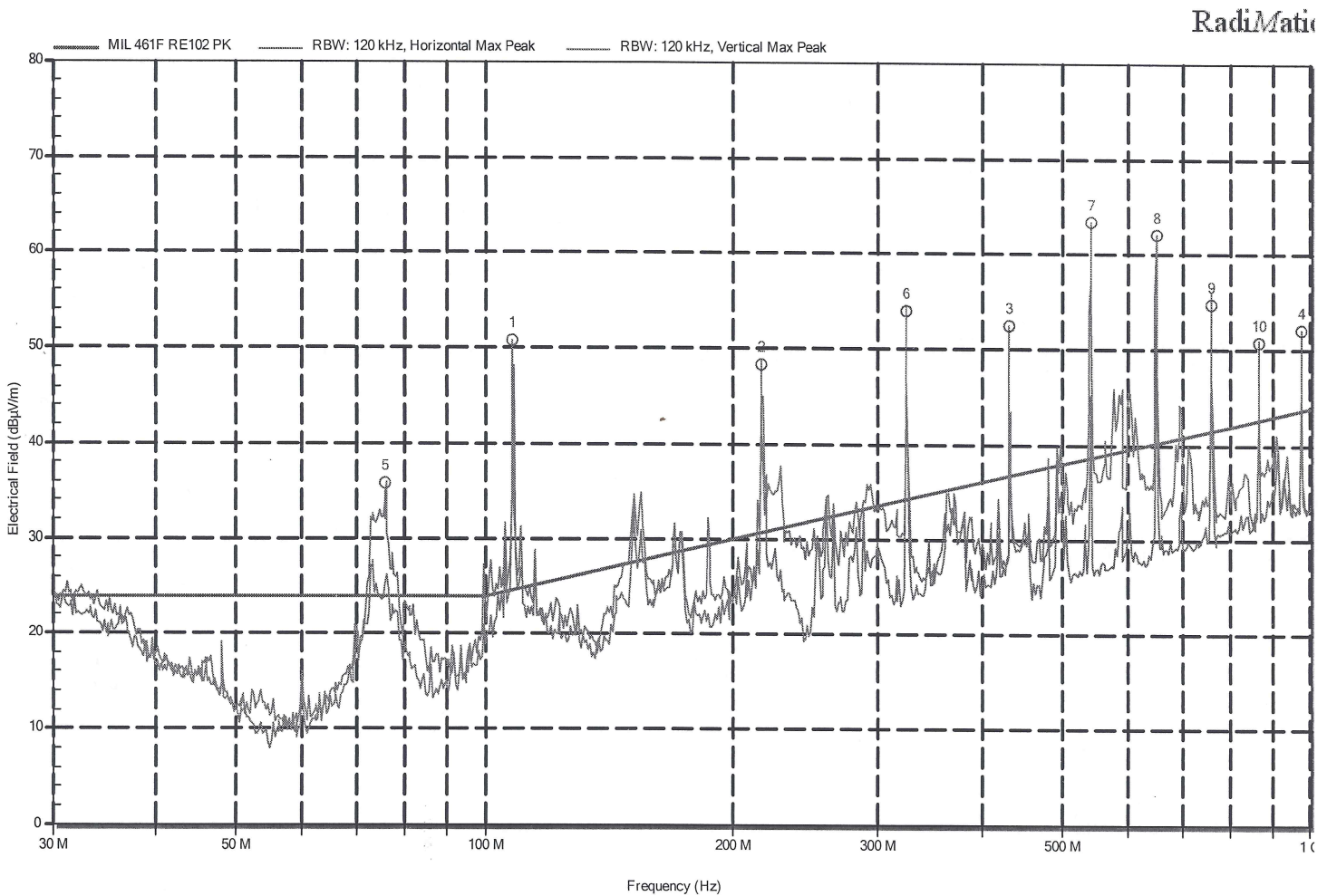
**Order Number:**

EUT Name: Skyhigh  
Serial Number: -

**Client** Name: Exens  
Contact Person: Jani Karppinen

**Radiated Emission**

Description: 82) MIL-STD 461 Field 30-1000MHz  
Time of Measurement: perjantai 17. huhtikuuta 2020, 10.02.45  
From 30 MHz to 1 GHz

**Detected Peaks:**

Peak Number	Frequency	Peak	Peak Limit	Status	Angle	Height	Polarization
1	108 MHz	50,7 dBµV/m	24,7 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
2	215,99 MHz	48,3 dBµV/m	30,7 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
3	432 MHz	52,5 dBµV/m	36,7 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
4	971,985 MHz	52,1 dBµV/m	43,7 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
5	75,82 MHz	35,7 dBµV/m	24 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical
6	323,99 MHz	54,1 dBµV/m	34,2 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical
7	539,975 MHz	63,3 dBµV/m	38,6 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical
8	647,975 MHz	62,1 dBµV/m	40,2 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical
9	756 MHz	54,7 dBµV/m	41,5 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical
10	863,98 MHz	50,8 dBµV/m	42,7 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical

**Settings:**

Ref. Level: 80 dB $\mu$ V  
Attenuator: Auto [10,0 dB]  
RBW: 120 kHz  
Preamp: 20 dB  
Antenna: Vertical at 1 m

VBW: Auto [120 kHz]  
Sweeptime: Auto [120 ms]  
Step freq: Linear: 50 kHz steps  
Measure time: 5 ms

**Note:** Tietokone: AC-virtalähde VGA/HDMI adapteri ulkoinen näyttö.

**Environment:**

Mode of operation: Manual  
Temperature: 22 °Celsius  
Humidity: 25 %  
Pressure: 1015 mBar

**EUT File:** C:\Users\Public\Documents\RadiMation\EUT\_File\Emissio 30-1000MHz MIL-STD 461.EUT

**Order Number:**

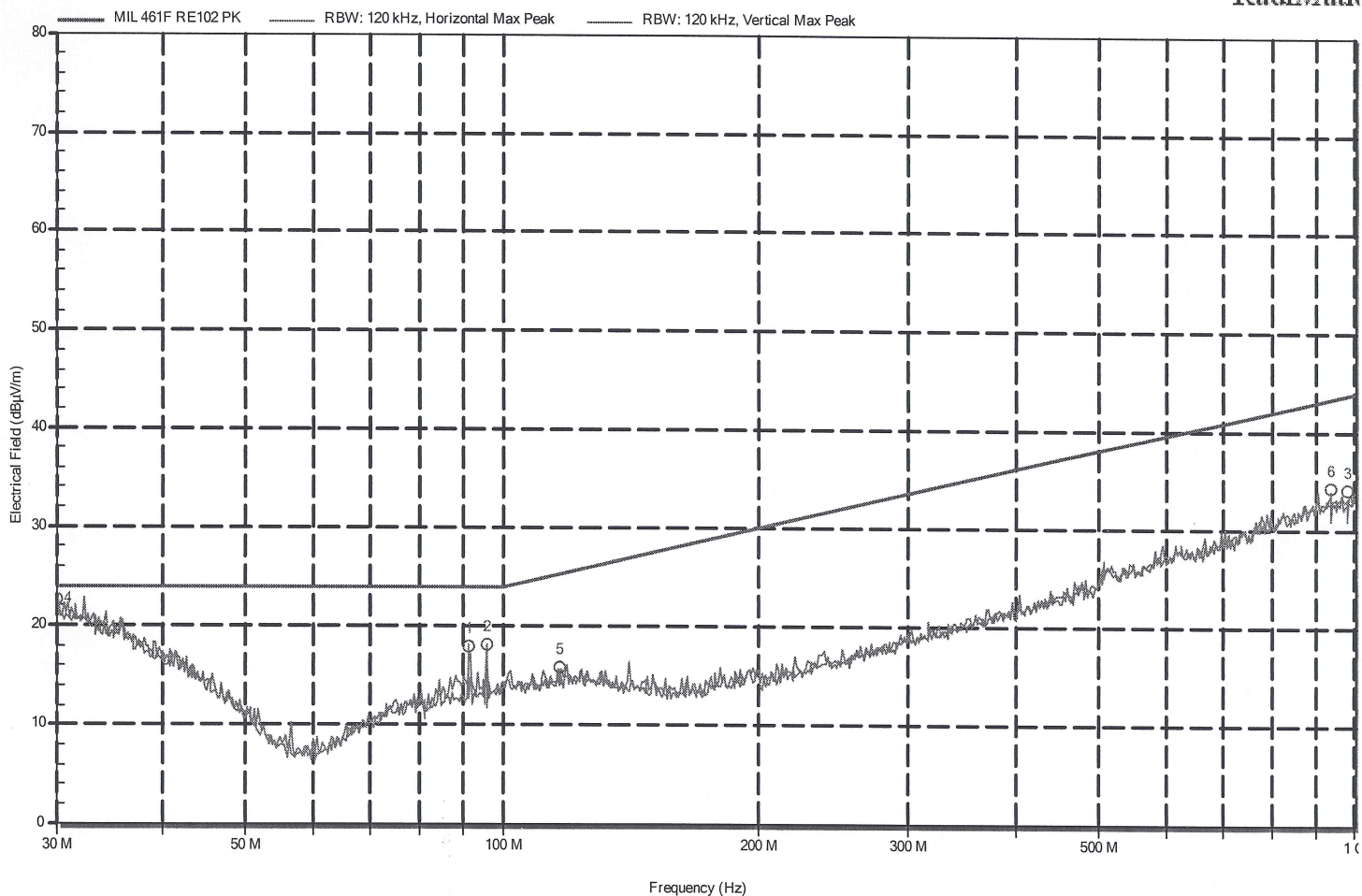
EUT Name: Skyhigh  
Serial Number: -

**Client Name:** Exens  
Contact Person: Jani Karppinen

**Radiated Emission**

Description: 88) MIL-STD 461 Field 30-1000MHz  
Time of Measurement: perjantai 17. huhtikuuta 2020, 11.06.07  
From 30 MHz to 1 GHz

RadiMation



**Detected Peaks:**

Peak Number	Frequency	Peak	Peak Limit	Status	Angle	Height	Polarization
1	91,28 MHz	17,9 dBµV/m	24 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Horizontal
2	95,685 MHz	18,1 dBµV/m	24 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Horizontal
3	979,65 MHz	34,1 dBµV/m	43,8 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Horizontal
4	30,05 MHz	22,6 dBµV/m	24 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Vertical
5	116,95 MHz	15,8 dBµV/m	25,4 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Vertical
6	935,8 MHz	34,2 dBµV/m	43,4 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Vertical

**Settings:**

Ref. Level: 80 dBµV  
Attenuator: Auto [10,0 dB]  
RBW: 120 kHz  
VBW: Auto [120 kHz]  
Sweep time: Auto [120 ms]  
Step freq: Linear: 50 kHz steps

Preamp: 20 dB  
Antenna: Vertical at 1 m

Measure time: 5 ms

**Note:** Hella marine valo, led pun+val.

**Environment:**

Mode of operation: Manual  
Temperature: 22 °Celsius  
Humidity: 25 %  
Pressure: 1015 mBar



**EUT File:** C:\Users\Public\Documents\RadiMation\EUT\_File\Emissio 30-1000MHz MIL-STD 461.EUT

**Order Number:**

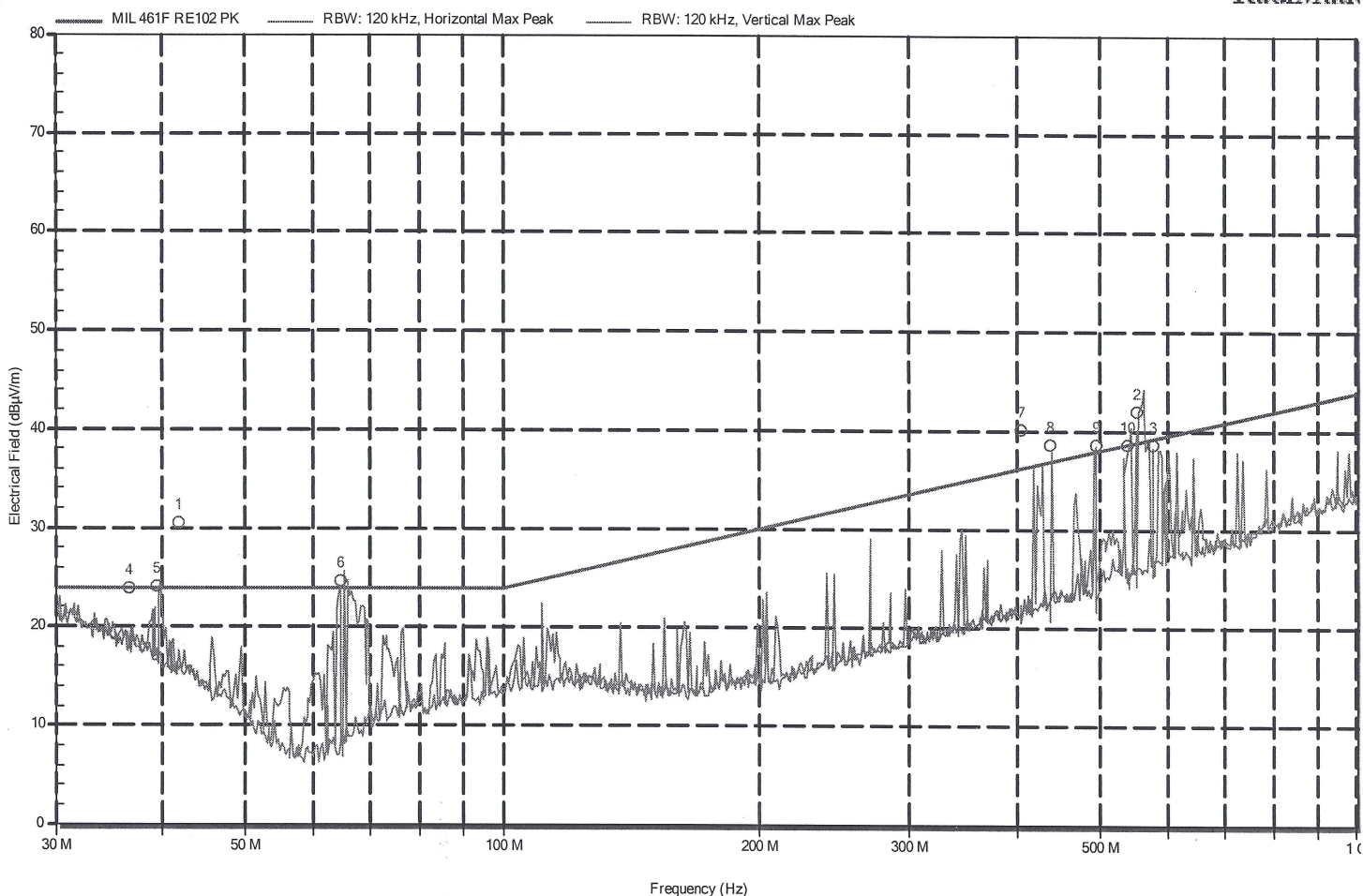
**EUT Name:** Skyhigh  
**Serial Number:** -

**Client Name:** Exens  
**Contact Person:** Jani Karppinen

**Radiated Emission**

**Description:** 87) MIL-STD 461 Field 30-1000MHz  
**Time of Measurement:** perjantai 17. huhtikuuta 2020, 10.53.33  
**From 30 MHz to 1 GHz**

RadiMation



**Detected Peaks:**

Peak Number	Frequency	Peak	Peak Limit	Status	Angle	Height	Polarization
1	41,75 MHz	30,6 dBµV/m	24 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
2	551,5 MHz	42 dBµV/m	38,8 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
3	578,35 MHz	38,6 dBµV/m	39,2 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Horizontal
4	36,7 MHz	23,9 dBµV/m	24 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Vertical
5	39,4 MHz	24,1 dBµV/m	24 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical
6	64,75 MHz	24,7 dBµV/m	24 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical
7	404,95 MHz	40,1 dBµV/m	36,1 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical
8	438,3 MHz	38,6 dBµV/m	36,8 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical
9	495,55 MHz	38,5 dBµV/m	37,9 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical
10	539,8 MHz	38,5 dBµV/m	38,6 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Vertical

**Settings:**

Ref. Level: 80 dB $\mu$ V  
Attenuator: Auto [10,0 dB]  
RBW: 120 kHz  
Preamp: 20 dB  
Antenna: Vertical at 1 m

VBW: Auto [120 kHz]  
Sweeptime: Auto [120 ms]  
Step freq: Linear: 50 kHz steps  
Measure time: 5 ms

**Note:** Defa lämmitin.

**Environment:**

Mode of operation: Manual  
Temperature: 22 °Celsius  
Humidity: 25 %  
Pressure: 1015 mBar

EUT File: C:\Users\Public\Documents\RadiMation\EUT\_File\Emissio 30-1000MHz  
MIL-STD 461.EUT

**Order Number:**

EUT Name: Skyhigh  
Serial Number: -

**Client Name:** Exens

Contact Person: Jani Karppinen

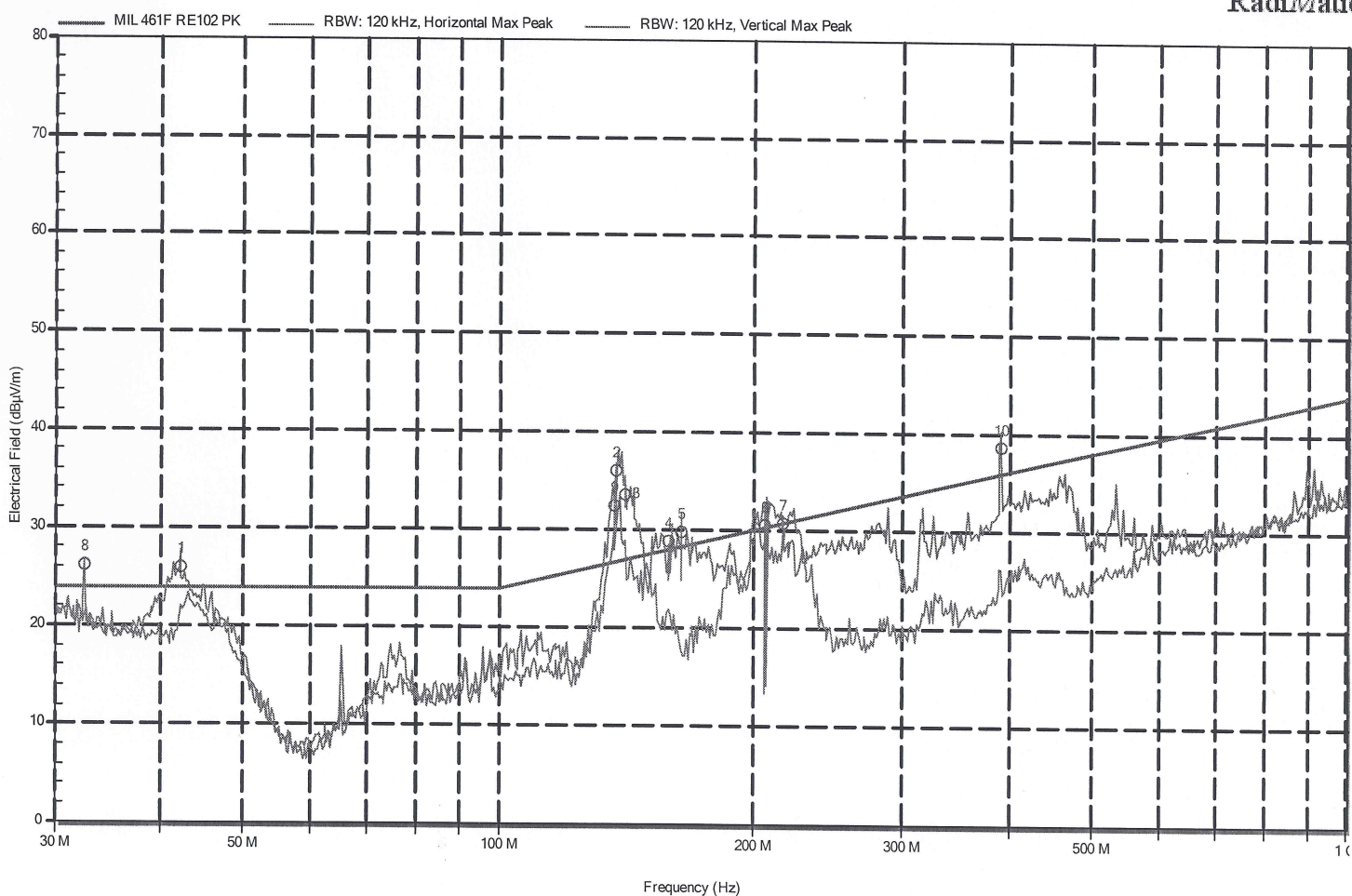
**Radiated Emission**

Description: 90) MIL-STD 461 Field 30-1000MHz

Time of Measurement: perjantai 17. huhtikuuta 2020, 11.23.28

From 30 MHz to 1 GHz

RadiMation



**Detected Peaks:**

Peak Number	Frequency	Peak	Peak Limit	Status	Angle	Height	Polarization
1	42,2 MHz	26 dBµV/m	24 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
2	137,075 MHz	35,9 dBµV/m	26,7 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
3	141,045 MHz	33,6 dBµV/m	27 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
4	158,845 MHz	28,8 dBµV/m	28 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
5	164,24 MHz	29,7 dBµV/m	28,3 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
6	206,27 MHz	30,5 dBµV/m	30,3 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
7	216,05 MHz	30,6 dBµV/m	30,7 dBµV/m	Pass	360 degrees	1,5 m	Horizontal
8	32,515 MHz	26,2 dBµV/m	24 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical
9	136,94 MHz	32,4 dBµV/m	26,7 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical
10	389,95 MHz	38,6 dBµV/m	35,8 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical

**Settings:**

Ref. Level: 80 dB $\mu$ V  
Attenuator: Auto [10,0 dB]  
RBW: 120 kHz  
Preamp: 20 dB  
Antenna: Vertical at 1 m

VBW: Auto [120 kHz]  
Sweptime: Auto [120 ms]  
Step freq: Linear: 50 kHz steps  
Measure time: 5 ms

**Note:** kannettava tietokone, 12v laturi.  
ANTENNI 1.5m

**Environment:**

Mode of operation: Manual  
Temperature: 22 °Celsius  
Humidity: 25 %  
Pressure: 1015 mBar

EUT File: C:\Users\Public\Documents\RadiMation\EUT\_File\Emissio 30-1000MHz MIL-STD 461.EUT

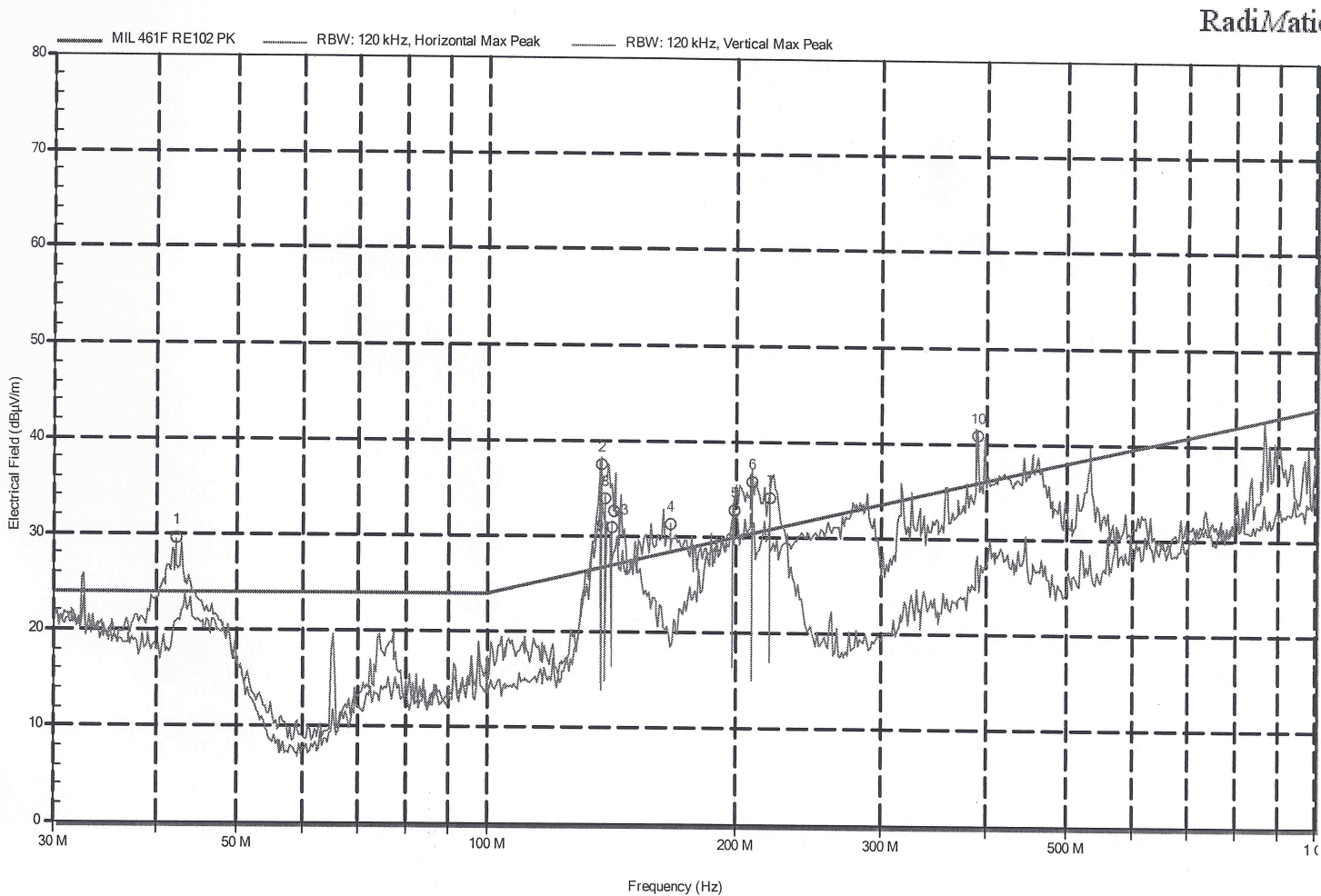
Order Number:

EUT Name: Skyhigh  
Serial Number: -

Client Name: Exens  
Contact Person: Jani Karppinen

**Radiated Emission**

Description: 91) MIL-STD 461 Field 30-1000MHz  
Time of Measurement: perjantai 17. huhtikuuta 2020, 11.32.21  
From 30 MHz to 1 GHz



**Detected Peaks:**

Peak Number	Frequency	Peak	Peak Limit	Status	Angle	Height	Polarization
1	42,2 MHz	29,6 dBµV/m	24 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
2	137,055 MHz	37,4 dBµV/m	26,7 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
3	142,45 MHz	32,6 dBµV/m	27,1 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
4	166,7 MHz	31,2 dBµV/m	28,4 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
5	198,4 MHz	32,9 dBµV/m	29,9 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
6	208,43 MHz	35,8 dBµV/m	30,4 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
7	219,275 MHz	34,2 dBµV/m	30,8 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Horizontal
8	138,52 MHz	33,8 dBµV/m	26,8 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical
9	141,305 MHz	30,8 dBµV/m	27 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical
10	390,04 MHz	40,8 dBµV/m	35,8 dBµV/m	Fail	360 degrees	1,5 m	Vertical

**Settings:**

Ref. Level: 80 dB $\mu$ V  
Attenuator: Auto [10,0 dB]  
RBW: 120 kHz  
Preamp: 20 dB  
Antenna: Vertical at 1 m

VBW: Auto [120 kHz]  
Sweep time: Auto [120 ms]  
Step freq: Linear: 50 kHz steps  
Measure time: 5 ms

**Note:** kannettava tietokone, 12v laturi.  
ANTENNI 1.0m

**Environment:**

Mode of operation: Manual  
Temperature: 22 °Celsius  
Humidity: 25 %  
Pressure: 1015 mBar