



**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# PIENTAAJUISTEN SÄHKÖ- JA MAGNEETTIKENTTIEN MITTAUSPALVELUN TO- TEUTUS

TEKIJÄ

Lauri Soininen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Lauri Soininen	
Työn nimi Pientaajuisten sähkö- ja magneettikenttien mittauspalvelun toteutus	
Päiväys	24.5.2018
Sivumäärä/Liitteet	45/6
Ohjaaja(t) Tutkimusinsinööri Marko Sorsa, Yliopettaja Väinö Maksimainen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia-ammattikorkeakoulu, EMC-laboratorio	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja ottaa käyttöön pientaajuisten sähkö- ja magneettikenttien mittauspalvelu Savonia-ammattikorkeakoulun EMC-laboratoriolle. Palvelussa käytäisiin mittaamassa asiakkaan tiloissa henkilöstön altistumista sähkö- ja magneettikentille ja saatuja tuloksia verrattaisiin muun muassa EU-direktiiviin 2013/35/EU ja ICNIRP 2010 suosituksiin. Suoritetuista mittauksista luotaisiin asiakkaalle raportti. Toteutus piti sisällään tarvittavat laitehankinnat, palvelun pilottimittaukset sekä palvelun toteutuksen ohjeistamisen laboratoriolle. Työn tarkoitus oli laajentaa EMC-laboratorion mittauspalveluja ja alkuperäinen tarve mittauspalvelulle tuli asiakkaiden kyselyiden perusteella.</p> <p>Palvelun toteuttaminen aloitettiin laitehankinnalla. Laitehankinta toteutettiin Savonian hankkeen <i>Coworking learning space – TKI 2.0</i> rahoituksella. Hanke oli Opetus- ja kulttuuriministeriön rahoittama. Hankinnan apuna toimivat Savonialta tutkimusinsinööri Asmo Jakorinne, sekä TKI-asiantuntija Mikko Laasanen, jotka molemmat toimivat edellä mainitun hankkeen parissa. Mittalaitteiston hintaluokan takia hankinta jouduttiin kilpailuttamaan. Kilpailutuksen perusteella laboratoriolle hankittiin sähkö- ja magneettikenttien mittaukseen Narda Safety Test Solutions:n mittalaitteet Orbis Oy:ltä.</p> <p>Pilottimittaukset toteutettiin Kuopiossa, Savon Sellun tehdasalueella. Alue tarjosi monipuoliset puitteet sähkö- ja magneettikenttien mittauksille ja toimi näin ollen ideaalisena pilottimittauskohteena. Mittaukset toteutettiin Savon Sellun tehdasalueella syksyllä 2016.</p> <p>Palvelu onnistuttiin saattamaan tilaan, jossa sitä pystyttiin tarjoamaan uusille asiakkaille. Tämän opinnäytetyön aikakin palvelua toteutettiin erinäisille asiakkaille. Mittauspalvelulle jäi vielä kehittämisen varaa ja tuota kehitystä jatketaan palvelun tarjoamisen yhteydessä.</p>	
Avainsanat sähkökenttä, magneettikenttä, pientaajuiset sähkö- ja magneettikentät, henkilöstön altistuminen,	
2013/35/EU, ICNIRP 2010, EN 50527-2-1, IEC 62110	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Lauri Soinen			
Title of Thesis Implementation of low-frequency electrical and magnetic field measurement service			
Date	25 <sup>th</sup> May, 2018	Pages/Appendices	45/6
Supervisor(s) Mr Marko Sorsa, Research Engineer; Mr Väinö Maksimainen, Principal Lecturer			
Client Organisation /Partners Savonia University of Applied Sciences, EMC laboratory			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to design and implement a measurement service of electrical and magnetic fields for EMC laboratory of the Savonia University of Applied Sciences. The service would be used to measure the exposure in the customer's premises to the electric and magnetic fields and compare the results, for example, with the EU directive <i>2013/35/EU</i> and <i>ICNIRP 2010</i> recommendations. A report would be generated from the measurements to the customer. The implementation was to include the necessary equipment acquisitions, pilot measurements, and service implementation guidance for the laboratory. The purpose of the service was to extend the measurement services of the EMC laboratory and the original need for measuring service came from customers' inquiries.</p> <p>The implementation of the service started with equipment acquisition. Equipment procurement was carried out with the funding of Savonia's project <i>Coworking learning space – TKI 2.0</i>. The project was funded by the Ministry of Education and Culture. The acquisition was assisted by Savonia's Asmo Jakorinne, Research Engineer, and Mikko Laasanen, Research Officer, who both worked on the aforementioned project. Due to the price range of the measuring equipment, the procurement had to be competitive. On the basis of the competition, the Narda Safety Test Solutions measuring equipment was acquired from Orbis Ltd. for the measurement of electrical and magnetic fields.</p> <p>Pilot measurements were carried out in Kuopio, the Savon Sellu factory area. The area offered a versatile framework for the electrical and magnetic field measurements and thus served as an ideal pilot test site. The measurements were carried out at the Savon Sellu factory area in Autumn 2016.</p> <p>The service was successfully put in a state where it could be offered to new customers. During this thesis, the service was also implemented for various customers. There is still room for development in the measurement service and this development will be continued alongside the provision of the service.</p>			
Keywords electric field, magnetic field, low-frequency electrical and magnetic field, exposure of personnel			
2013/35/EU, ICNIRP 2010, EN 50527-2-1, IEC 62110			

## ESIPUHE

Opinnäytetyö tehtiin Savonia-ammattikorkeakoulun EMC-laboratoriolle syksyn 2015 ja kevään 2018 välisenä aikana. Opinnäytetyö sai alkunsa EMC-laboratoriolla suorittamani kesäharjoittelun jälkeen. Työ suoritettiin erinäisissä osissa johtuen muun muassa laitehankinnan rahoituksen aikarajasta vuoden 2015 loppuun, opintojeni keskeneräisyydestä työn alkaessa ja työllistymisestäni EMC-laboratorioon ylläpito- ja kehitystöiden pariin opintojeni ohessa.

Opinnäytetyön matkalle osui paljon ongelmia ja esteitä tämän työn ulkopuolelta, jotka kuitenkin onnistuttiin selättämään työyhteisöni ja opettajieni tuella. Haluankin kiittää työni ohjaaja ja työtoveriani, tutkimusinsinööri Marko Sorsaa sekä kaikkia opettajiani, jotka joustavuudellaan kurssien suoritusten aikataulujen suhteen mahdollistivat opintojeni suorittamisen töiden ja opinnäytetyön ohella. Lisäksi haluan kiittää Savonian tutkimusinsinööri Asmo Jakorinnettä ja TKI-asiantuntija Mikko Laasasta, jotka toimivat suurena apuna opinnäytetyön laitehankinnoissa. Kiitokset kuuluvat myös Savon Sellun yhteyshenkilölle, sähköinsinööri Pertti Rytköselle, joka mahdollisti mitä mainioimmat puitteet palvelun pilottimittauksille Savon Sellun tehdasalueella.

Kuopiossa 10.5.2018

Lauri Soininen

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	7
1.1	Lyhenteet ja määritelmät.....	8
1.2	Savonia EMC-laboratorio .....	9
2	SÄHKÖMAGNETISMIN TEORIAA.....	10
2.1	Sähkökenttä .....	10
2.1.1	Homogeeninen sähkökenttä.....	11
2.1.2	Sähkökentän energia.....	12
2.2	Magneettikenttä.....	13
2.2.1	Suoran virtajohtimen synnyttämä magneettikenttä.....	14
2.3	Sähkömagneettinen aalto .....	15
2.4	Pientaajuiset sähkö- ja magneettikentät .....	16
2.5	Radiotaajuiset kentät .....	17
3	PIENTAAJUISTEN SÄHKÖMAGNEETTISTEN KENTTIEN TERVEYSHAITTOJA .....	18
3.1	Sähköliherkkyys .....	18
3.2	Hermostolliset.....	18
3.3	Syöpä.....	18
4	ASETUKSIA JA MÄÄRÄYKSIÄ .....	19
4.1	Väestön altistuminen.....	19
4.2	Työntekijöiden altistuminen .....	19
4.3	Kansainväliset suositusraja-arvot .....	21
4.4	Sydämentahdistimet ja sähkömagneettiset kentät.....	22
5	LAITEHANKINTA .....	24
5.1	Kilpailutus.....	24
5.2	Vertailu .....	25
5.3	Hankinta .....	25
6	MITTALAITTEISTO .....	26
6.1	Mittalaite NBM-550.....	26
6.2	Pientaajuisen sähkö- ja magneettikenttien mittaussanturi EHP-50F.....	28
6.3	Korkean taajuuden sähkökenttäanturi EF0691 .....	30
7	SÄHKÖ- JA MAGNEETTIKENTTIEN MITTAUSTEKNIIKKAA.....	31
7.1	Yleistä tietoa mittaustekniikoista .....	31

7.1.1	Sähkökentän mittaamisesta .....	31
7.1.2	Magneettikentän mittaamisesta.....	31
7.2	Yksipistemittaus.....	32
7.3	Kolmipistemittaus .....	32
7.4	Viisipistemittaus.....	33
7.5	Suurimman altistumistason löytäminen sähkökentästä .....	34
7.5.1	Pään ylitse kulkevat voimajohdot .....	34
7.5.2	Maan alla kulkevat kaapelit.....	34
7.5.3	Sähköasemat ja sähkönjakelulaitteistot.....	34
7.6	Suurimman altistumistason löytäminen magneettikentästä .....	35
7.6.1	Pään ylitse kulkevat voimajohdot .....	35
7.6.2	Maan alla kulkevat kaapelit.....	35
7.6.3	Sähköasemat ja sähkönjakelulaitteistot.....	35
7.7	Mittausraportin laatiminen .....	35
8	PILOTTIMITTAUKSET .....	37
8.1	Pilottimittausten kohde.....	37
8.1.1	10 kilovoltin kiskot .....	37
8.1.2	Raudanerotusmagneetti.....	38
8.1.3	110-kilovoltin kenttä.....	39
8.1.4	Laakerin kuumennin.....	40
9	DOKUMENTOINTI.....	42
10	YHTEENVETO.....	43
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT .....	44
	LIITE 1: HANKINNAN MITTALAITTEIDEN VERTAILUTAULUKKO.....	46
	LIITE 2: MITTALAITTEISTON TARJOUSPYYNTÖ.....	47
	LIITE 3: PALVELUN HINNASTO.....	51

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on toteuttaa EMC-laboratoriolle mittauspalvelu, jossa voidaan mitata teollisuuslaitosten ja työpaikkojen tiloissa esiintyviä sähkö- ja magneettikenttien voimakkuuksia. Saatuja tuloksia verrataan erinäisiin direktiiveissä ja standardeissa annettuihin raja- ja suositusarvoihin väestön- ja henkilöstön altistumiselle pientaajuisille sähkö- ja magneettikentille.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2013/35/EU antaa raja-arvot henkilöstön altistumisille työpaikoilla ja näitä raja-arvoja noudattamalla työntekijöille taataan turvallinen työskentely-ympäristö. Jos työpaikalla mitatut arvot ylittävät direktiivin määrittelemät raja-arvot, joutuu työnantaja toteuttamaan toimenpiteitä, joilla säteilyn määrää voidaan pienentää tai poistaa kokonaan, tai rajoittamaan työntekijöiden oleskelua tai pääsyä alueille, joissa raja-arvot ylittäviä kenttiä on mitattu. Standardi EN 50527-2-1 määrittelee arvot sähkö- ja magneettikentille, jotka voivat epäsuotuisissa olosuhteissa häiritä sydämentahdistimen toimintaa ja näin vaarantaa henkilön terveyden. ICNIRP:n julkaisu vuodelta 2010 antaa kansainvälisesti suositellut raja-arvot väestön sähkö- ja magneettikenttien altistumiselle.

Sähkö- ja magneettikenttien fyysisiä ominaisuuksia on käsitelty tässä työssä yksinkertaisten esimerkkien avulla sekä esitelty suureet, joita edellämainitut standardit ja direktiivit, sekä mittalaitteet yleensä käyttävät. Lisäksi työssä käsitellään pientaajuisten sähkö- ja magneettikenttien mahdollisia terveysvaikutuksia.

Palvelun toteutuksen kokonaisuus pitää sisällään sähkö- ja magneettikenttien mittalaitteiston laitehankinnan, pilottimittaukset Kuopiossa Savon Sellun tehdasalueella, mittausraportin Savon Sellun mittauksista sekä menettelytapaohjeen EMC-laboratoriolle sähkö- ja magneettikenttien mittaamiseen häiriöisissä ympäristöissä.

## 1.1 Lyhenteet ja määritelmät

AC = Alternating Current, vaihtovirta

B = Magneettivuon tiheys

E = Sähkökenttä

EMC = Electromagnetic Compatibility, sähkömagneettinen yhteensopivuus

FFT = Fast Fourier transform: algoritmi, joka näytteistää signaalin ajanjaksolta ja jakaa sen taajuuskomponentteihin. Nämä komponentit ovat yksittäisiä sinimuotoisia värähtelyjä eri taajuuksilla, joilla on oma amplitudi ja vaihe.

FINAS = Turvallisuus- ja kemikaaliviraston akkreditointipalvelun yksikkö

H = Magneettikenttä

IARC = International Agency for Research on Cancer

ICNIRP = International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

IEC = International Electrotechnical Commission

RF = Radio Frequency, radiotaajuus

RMS = Root Mean Square, neliöllinen keksiarvo. Sähkötekniikassa RMS-keskiarvostamalla lasketaan vaihtojännitteen tehollisarvo.

SAC = Semi Anechoic Chamber

WHO = World Health Organization

WPM = Weighted Peak Method, mittaustulos painotetaan yksinkertaisella ylipäästösuodattimella ja saatua huippuarvoa verrataan viitearvosta johdettuun raja-arvoon



## 1.2 Savonia EMC-laboratorio

Savonia-ammattikorkeakoulun EMC-laboratorio sijaitsee Kuopion Technopoliksella ja on perustettu vuonna 2000. Laboratorio on osa Savonian sähkö- ja tietotekniikka-alan tuotekehitys- ja testauspalveluyksiköiden kokonaisuutta. EMC-laboratorion toiminto painottuu pääasiassa asiakasyrityksille toteutettaviin EMC-mittauksiin, joilla testataan asiakaslaitteiden sähkömagneettista yhteensopivuutta. Mittauksia toteutetaan esimerkiksi kuvan 1 mukaisessa testauskammiossa. Laboratoriolle myönnettiin FINAS-akkreditointipalvelun akkreditointi (akkreditointitunnus T301) syksyllä 2017. (Savonia-ammattikorkeakoulu)

EMC-laboratorio tarjoaa seuraavia palveluita:

- Full Compliance, testaus hyväksyntää varten (EMC-direktiivi / CE-merkintä)
- Pre-Compliance, esimerkiksi tuotekehitysprojektin vaatimustenmukaisuuden varmistaminen ennen kolmannen osapuolen toimesta tehtävää hyväksyntätestausta.
- R&D-testaus, suunnitteluratkaisujen toimivuuden testaaminen, ongelman ratkaisu, kulujen pienentäminen. (Savonia-ammattikorkeakoulu)



KUVA 1 Savonia EMC-laboratorion SAC-testauskammio, emissiotestaus-setup.

## 2 SÄHKÖMAGNETISMIN TEORIAA

Tässä luvussa esitellään suureet, joita mittalaitteet osoittavat sähkö- ja magneettikentistä, sekä käsitellään sähköfysiikkaa yksinkertaisissa tapauksissa. Fysiikassa sähkömagnetismilla käsitellään sähköisiä ja magneettisia ilmiöitä, sekä niiden välisiä riippuvuuksia.

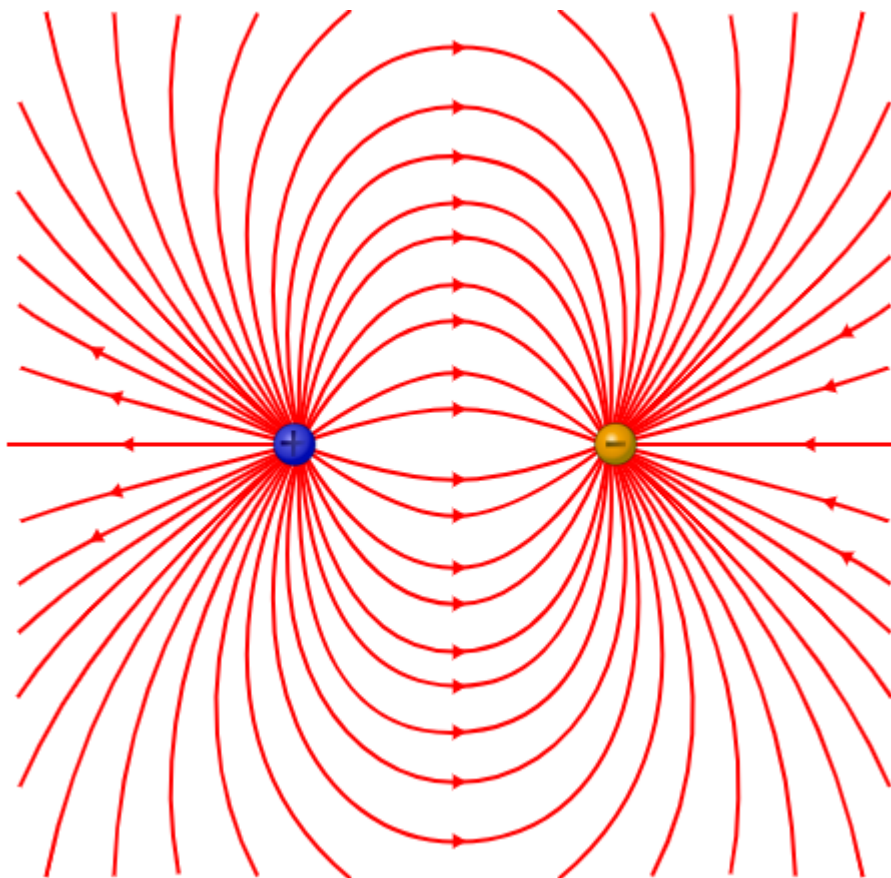
Sähkömagnetismin pohjan on luonut James Clerk Maxwell. Maxwellin yhtälöiden mukaan sähkömagneettisessa kentässä muuttuva magneettikenttä luo muuttuvan sähkökentän, joka vastavasti synnyttää muuttuvan magneettikentän. Tästä taas kokonaisuutena syntyy etenevä sähkömagneettisen säteilyn aaltoliike. (Wikipedia)

### 2.1 Sähkökenttä

Sähkökenttä määritellään kentäksi, jossa oleviin sähkövarauksiin kenttä kohdistaa voiman. Sähkökenttä on vektorikenttä ja sellainen muodostuu jokaisen sähkövarauksen ympärille sekä myös muuttuvan magneettikentän vaikutuksesta. Kahden sähkövarauksen välinen vuorovaikutus tapahtuu niin, että toinen niistä synnyttää ympärilleen sähkökentän, joka kohdistaa toiseen voiman. (Wikipedia)

Sähkökenttää voidaan kuvata kenttäviivoilla. Sopimuksen mukaan viivat alkavat positiivisista ja päättyvät negatiivisiin varauksiin, eivätkä kenttäviivat leikkaa toisiaan. Äärettömän kauas ulottuvia kenttäviivoja ei tarvitse päättää. Positiivisen ja negatiivisen varauksen ollessa erittäin lähellä toisiaan ne muodostavat sähködipolin. Tarpeeksi kaukana toisistaan niiden kentät kumoavat toisensa ja tällöin kentän voimakkuus on nolla. Vaikka esimerkiksi atomissa on sekä positiivia, että negatiivia varauksia, niin tämän takia neutraalin atomin sähkökenttä ei juuri ulotu atomin ulkopuolelle. Samoin kondensaattorin sähkökenttä on käytännöllisesti katsoen kokonaan sen levyjen välissä. Muualla levyjen vastakkaisen varausten aiheuttamat kentät kumoavat toisensa. Kuvassa 2 on esitetty sähköinen dipoli sähkökenttäviivoineen. (Wikipedia)

Sähkökentän voimakkuus määritellään hiukkasiin kohdistuvan voiman ja niiden varauksen suhteena ja sen yksikkö SI-järjestelmässä on newton/coulombi (N/C). Newton on myös sama kuin yksi joule/metri ja voltti sama kuin yksi joule/coulombi. Tästä syystä voidaan sähkökentän voimakkuuden yksikkönä käyttää myös volttia metriä kohti (V/m). Tämä on yleisesti käytetty sähkökentän yksikkö. Yksiköt 1 N/C ja 1 V/m ovat yhtä suureet. (Wikipedia)



KUVA 2 Sähköisen dipolin sähkökenttäviivat, kentän suunta on positiivisesta varauksesta kohti negatiivista varausta. (Wikipedia)

### 2.1.1 Homogeeninen sähkökenttä

Jos sähkökentän voimakkuus jollain alueella on kaikkialla yhtä suuri, kutsutaan kenttää homogeeniseksi sähkökentäksi. Kun esimerkiksi levykondensaattori kytketään jännitelähteeseen, sen levyjen välille syntyy tällainen kenttä. (Wikipedia)

Tämän kentän voimakkuus kaikkialla levyjen välissä on likipitään

$$E = -\frac{\Delta\phi}{d}$$

missä  $\Delta\phi$  on levyjen välinen potentiaaliero ja  $d$  niiden välinen etäisyys. Vain levyjen reunojen läheisyydessä kenttä poikkeaa tästä selvästi. Kaavan alkuun tarvitaan miinusmerkki, koska samanmerkkiset varaukset työntävät toisiaan luotaan. Tästä syystä kenttään tuotu positiivinen varaus kokisi negatiivista levyä kohti suuntautuvan voiman, joka siis vaikuttaisi päinvastaiseen suuntaan kuin missä potentiaali kasvaa. (Wikipedia)

## 2.1.2 Sähkökentän energia

Sähköstaattisen systeemin potentiaalienergia määritellään kaikkien sen sisäisten vuorovaikutusten potentiaalienergioiden summana. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että siihen vaadittava työ on yhtä suuri kuin se työ, joka on tehtävä siinä olevien varausten asettamiseksi paikoilleen. Esimerkiksi kondensaattorin potentiaalienergia on sama energiamäärä, joka tarvitaan varauksen tuomiseksi siihen. (Wikipedia)

Voidaan osoittaa, että minkä tahansa sähköstaattisen systeemin potentiaalienergia voidaan laskea integraalina

$$E = \frac{1}{2} \int E \cdot D d^3r$$

Erityisesti jos permittiivisyys koko systeemin alueella on vakio, lauseke yksinkertaistuu muotoon

$$E = \frac{1}{2} \epsilon \int E^2 d^3r$$

Systeemin energia on siis verrannollinen kentän voimakkuuden neliön avaruusintegraaliin. Tilannetta voidaan tulkita niinkin, että energia varastoituu itse sähkökenttään, jonka energiatiheys on kaikkialla verrannollinen kentänvoimakkuuden neliöön:

$$w = \frac{1}{2} \epsilon E^2$$

Yksinkertainen tapaus on levykondensaattori, jonka kenttä on nolla muualla paitsi levyjen välissä, jossa se on vakio

$$E = \frac{U}{d}$$

eli kondensaattorin jännite jaettuna sen levyjen välisellä etäisyydellä. Kun tämä kerrotaan levyjen välisen alueen tilavuudella, saadaan kentän kokonaisenergiaksi:

$$E = \frac{1}{2} \epsilon \frac{U^2}{d} Ad = \frac{1}{2} \epsilon U^2 \frac{A}{d}$$

Kondensaattorin kapasitanssi on sen levyjen varauksen suhde niiden väliseen jännitteeseen:

$$C = \frac{Q}{U}$$

Koska levykondensaattorin kapasitanssi on

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

missä  $A$  on sen levyjen pinta-ala ja  $d$  niiden välinen etäisyys, saadaan kondensaattorin energiaksi

$$E = \frac{1}{2} \epsilon U^2 \frac{A}{d} = \frac{1}{2} \epsilon \frac{QUA}{C} = \frac{1}{2} QU$$

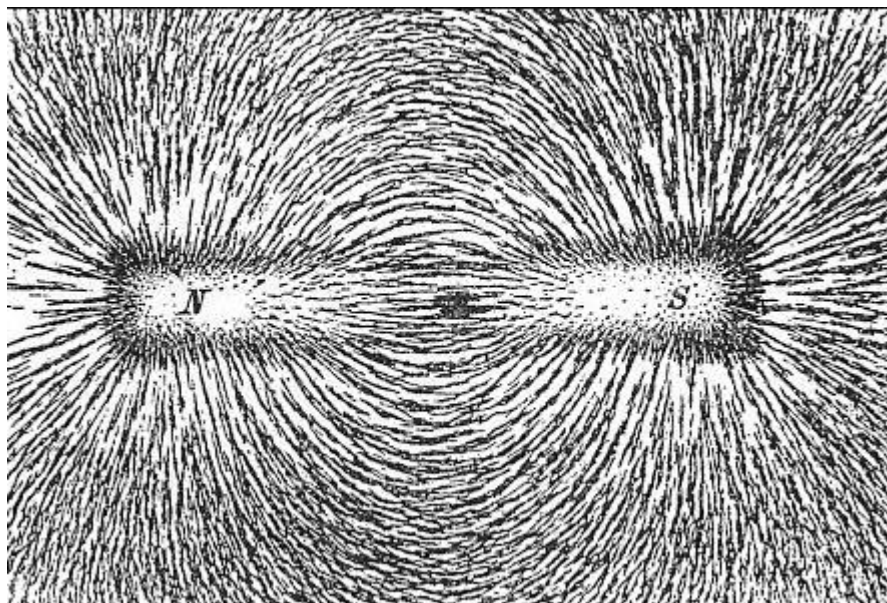
mikä onkin yhtä suuri kuin kondensaattorin varaamiseen tarvittava energia. (Wikipedia)

## 2.2 Magneettikenttä

Fysiikan näkökulmasta sähkövarausten liike tai muuttuva sähkökenttä aiheuttavat magneettikentän. Tällaisia sähkövarausten liikkeitä tai muuttuvia sähkökenttiä on myös magneetin ympärillä. Magneettikentän suuntaa ja suuruutta kuvataan joko magneettivuon tiheydellä  $B$  tai magneettikentän voimakkuudella  $H$ . (Wikipedia)

Magneettikenttä aiheuttaa liikkuviin varauksiin voiman. Nämä voimat ovat kohtisuorassa sekä varauksen liikesuuntaa, että magneettikenttää vastaan. Kenttä vaikuttaa myös magneetteihin, pyrkien kääntämään ne kentän suuntaiseksi. Tästä hyvänä esimerkkinä on kompassin neula. Kuvassa 3 on kuvattuna raudansiruja magneetin napojen ympärillä. (Wikipedia)

Magneettivuon tiheyden yksikkö SI-järjestelmässä on Tesla. Vanhempi CGS-järjestelmän mukainen yksikkö oli Gauss.



KUVA 3 Raudansirut ovat kääntyneenä magneettikenttäviivojen mukaisesti. (Wikipedia)

Magneettikentän (vuontiheys  $B$ ) kohdistama voima hiukkaseen, joka liikkuu nopeudella  $v$  ja jonka varaus on  $q$ :

$$F = qv \times B$$

Nopeudella  $v$  liikkuva hiukkanen, jolla on sähkövaraus  $q$ , aiheuttaa ympärilleen magneettikentän, jonka magneettivuon tiheys etäisyydellä  $r$  on

$$B = \frac{\mu_0 qv \times r}{4\pi |r|^3}$$

Magneettikentän kohdistama voima johtimeen, jossa kulkee virta  $I$ , on

$$F = I \int_{\text{johdin}} dl \times B$$

Biot-Savartin laki eli virtajohtimen, jossa kulkee virta  $I$ , aiheuttama magneettivuon tiheys etäisyydellä  $r$ .

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_{\text{johdin}} dl \times \frac{r}{|r|^3}$$

missä  $\mu_0$  on magneettivakio eli tyhjiön permeabiliteetti. (Wikipedia)

### 2.2.1 Suoran virtajohtimen synnyttämä magneettikenttä

Amperen lain mukaan minkä tahansa suljetun polun  $C$  läpi kulkeva virta  $I$  aiheuttaa magneettikentän, jonka suuruus on

$$\oint_C H \cdot dl = I$$

Kun tarkastellaan (kuvitteellisen) ympyrän muotoista polkua, joka on johtimesta etäisyyden  $R$  päässä, saadaan polkuintegraalista

$$H \cdot 2\pi R = I$$

Magneettikentän etäisyys on siis

$$H = \frac{I}{2\pi R}$$

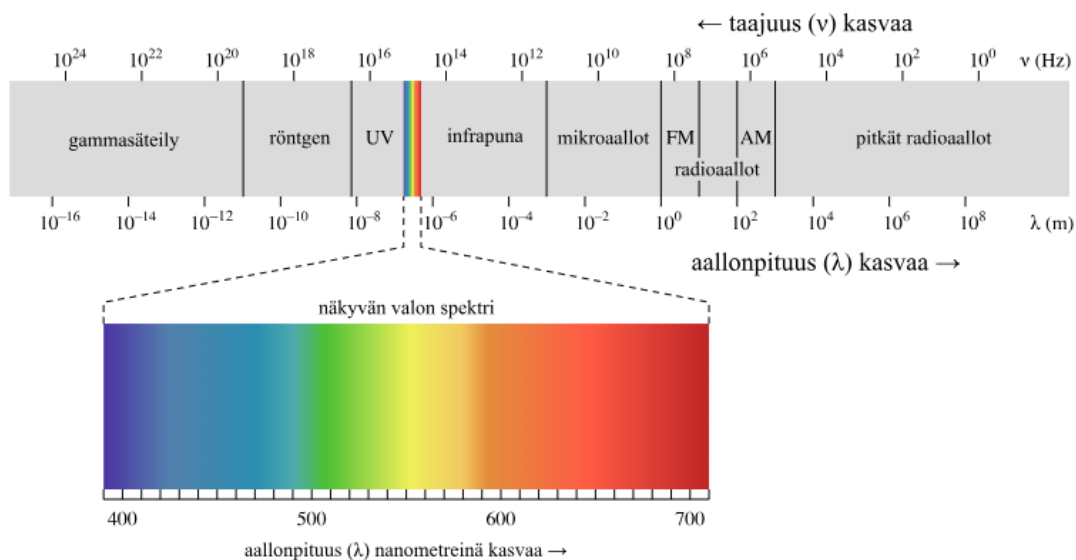
Magneettikentän suuntaan pätee "oikean käden sääntö": kun oikea käsi asetetaan johtimen ympärillä siten, että peukalo osoittaa virran kulkusuuntaan, magneettikentän kenttäviivat kiertävät johdinta sen ympärillä olevien sormien suuntaisesti. (Wikipedia)

Magneettikenttään asetettuun johtimeen kohdistuu voima, joka riippuu magneettikentän voimakkuudesta ja johtimessa kulkevasta virrasta. Kahden virtajohtimen asettaminen vierekkäin aiheuttaa kumpaankin joko niitä erilleen työntävän tai yhteen vetävän voiman riippuen siitä, ovatko johtimien virrat samansuuntaiset vai erisuuntaiset. Tämä voima riippuu johtimissa kulkevasta virrasta, johdinten etäisyydestä sekä väliaineen permeabiliteetista. Sähkövirran yksikkö (SI-järjestelmän ampeeri) on määritelty tämän ilmiön avulla. (Wikipedia)

### 2.3 Sähkömagneettinen aalto

Sähkömagneettinen säteily (sähkömagneettiset aallot) ovat fotonien eli säteilykvanttien liikkeen aiheuttamia aaltoja. Tyhjiössä sähkömagneettiset aallot kulkevat taajuudestaan riippumatta vakionopeudella, valonnopeudella, joka on 299 792 458 m/s. Sähkömagneettiset aallot syntyvät nopeasti värähtelevistä sähkö- ja magneettikentistä. Niiden aaltoyhtälö voidaan johtaa yleistä sähkömagneettista kenttää kuvaavista Maxwellin yhtälöistä. (Wikipedia)

Sähkömagneettinen säteily voidaan jaotella aallonpituuden mukaan radioaaltoihin, mikroaaltoihin, infrapunasäteilyyn, valoon, ultraviolettisäteilyyn, röntgensäteilyyn ja gammasäteilyyn. Nämä eri aallonpituuksiset säteilylajit muodostavat sähkömagneettisen spektrin. Jaottelu on kuvattuna ohessa kuvassa 4. (Wikipedia)



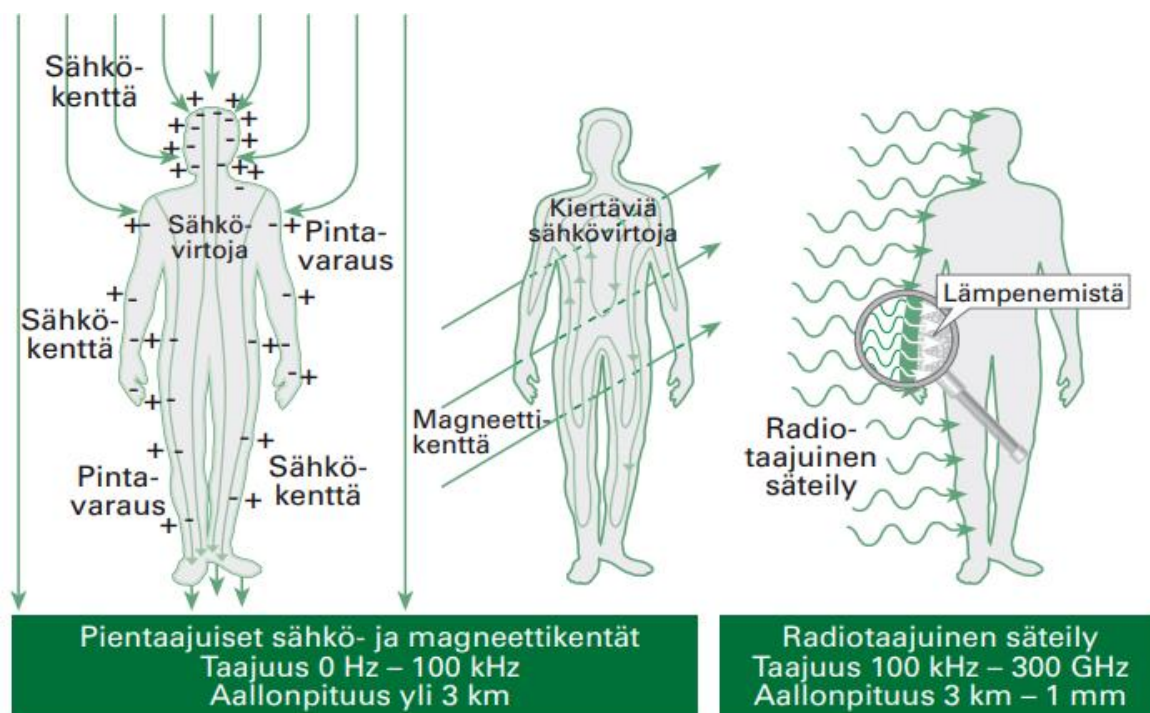
KUVA 4 Sähkömagneettisen säteilyn spektri. (Wikipedia)

## 2.4 Pientaajuiset sähkö- ja magneettikentät

Pientaajuiset sähkö- ja magneettikentät jaetaan hyvin pienitaajuisiin (Extreme Low Frequency, ELF) ja välitaajuisiin kenttiin (Intermediate Frequency, IF). Hyvin pienitaajuisissa sähkö- ja magneettikentissä (alle 300 Hz) kentän muutosnopeus on riittävän suuri indusoimaan paikallaan olevaan ihmiseen sähkökenttiä ja -virtoja. Ulkoinen magneettikenttä synnyttää kehossa induktiosähkökentän, joka puolestaan synnyttää kiertäviä sähkövirtoja eli induktiovirtoja. Sähkö- ja magneettikenttien indusoitumista ihmiskehoon on esitetty kuvassa 5. Sähkömagneettisen kentän indusoitumiseen kehoon vaikuttaa kehon asento suhteessa sähkö- ja magneettikenttien suuntaan, sekä kehon koko. Ulkoisen sähkökentän vaikutuksesta kehon pinnalle syntyy kentän taajuuksinen pintavaraukset ja se pyrkii kumoamaan ulkoisen kentän vaikutuksen. Kehon sisälle jää kuitenkin pieni, virtoja aiheuttava jäännöskenttä. (Nyberg;ym.)

Voimakkaat induktiosähkökentät ja -virrat voivat aiheuttaa sähköärsytystä hermo- ja lihassoluissa. Voimakas, yli yhden teslan magneettikenttä 50 Hz taajuudella aiheuttaa kehossa suuria sisäisiä virtoja, jotka voivat olla vaarallisia. Nämä sisäiset virrat voivat laukaista kammiovärinän tai johtaa hengityksen lamaantumiseen. Keskushermoston sähköisen toiminnan häiriintymistaso on matalampi kuin yksittäisten hermosolujen, koska pienet häiriöjännitteet voivat summautua hermoliitoksissa. Häiriintyminen voi ilmetä epämääräisinä valonvälähdyksinä näkökentän laidoilla. Tätä ilmiötä kutsutaan Magnetofosfeeniksi. (Nyberg;ym.)

Välitaajuisien kenttien (300 Hz – 100 kHz) kytkeytyminen kehoon on samantapaista kuin hyvin pienitaajuisien kenttien. Välitaajuisien kenttien tunnetut haittavaikutukset ovat konventionaaliset sähköärsytykset hermo- ja lihassoluissa. Näkökenttää häiritseviä ilmiöitä ei ole havaittu kyseisillä taajuuksilla. Taajuusalueen yläpäässä on mahdollista esiintyä kudosten lämpenemistä. (Nyberg;ym.)



KUVA 5 Sähkö- ja magneettikenttien indusoituminen ihmiskehoon. (Nyberg;ym.)



## 2.5 Radiotaajuiset kentät

Radio- ja pientaajuisien kenttien osalta taajuusjaottelu ei ole kaikilta osin vakiintunutta, vaan käytäntö on vaihtelevaa. Kun yleisesti puhutaan RF-taajuuksista, tarkoitetaan aluetta 100 kHz – 300 GHz. Radiotaajuuksilla tapahtuvaa fysikaalista vaikutusmekanismia kudoksissa kutsutaan energian absorboitumiseksi lämmöksi. Mikroaalloilla (300 MHz – 300 GHz) lämpeneminen muuttuu yhä pinnallisemmaksi taajuuden kasvaessa. Voimakas ja lyhyt mikroaaltopulssi voi lisäksi aiheuttaa häiriötä kuuloaistissa. Tätä ilmiötä kutsutaan termoelastiseksi värähtelyksi. Tämän voi havaita häiritsevänä surinana esimerkiksi voimakkaan tutkan keilassa. (Nyberg;ym.)

### 3 PIENTAAJUISTEN SÄHKÖMAGNEETTISTEN KENTTIEN TERVEYSHAITTOJA

Sähkömagneettisen kentän vaikutuksista kehoon ja terveyteen on tehty paljon tutkimuksia. Altistumista rajoittavat raja-arvot on perusteltu riittäväillä arvoilla, jotka suojaavat sähkömagneettisten kenttäaltistusten kaikilta tunnetuilta mahdollisilta haittavaikutuksilta. Raja-arvot on määritelty sähkömagneettisten kenttien osoitettujen vaikutusten perusteella. (Korpinen)

#### 3.1 Sähköliherkkyys

Sähkömagneettisesta säteilystä kärsivät yksilöt kokevat säteilyn ihoreaktiona, kuten punoituksena, kihelmöintinä tai polttavana tunteena. Osa kokee sähköherkkyiden yleisoina, kuten väsymyksenä, muistihäiriönä, keskittymisvaikeutena, huimauksena, ruoansulatusvaikeuksina tai sydämentykytyksenä. Oireita ei olla kuitenkaan pystytty yhdistämään tieteellisesti sähkömagneettisen säteilyn altistukseen. (Wikipedia) Ruotsissa sähköliherkkyys on tunnustettu työkykyä alentavaksi vammaksi.

#### 3.2 Hermostolliset

Pientaajuiset sähkö- ja magneettikentät (<100 kHz) vaikuttavat ihmiseen aiheuttamalla kehossa kiertäviä sähkökenttiä ja -virtoja, eli ns. induktiovirtoja. Ihminen voi tuntea tämän kihelmöinnin tunteena lihaksissaan ja tuntohermoissaan. Yli 100 Hz taajuuksilla puhutaan radiotaajuisesta säteilystä ja sen ihmisessä aiheuttamat induktiovirrat lämmittävät kudoksia. Suurilla taajuuksilla lämpeneminen rajoittuu vain kehon pintaosiin, koska säteily ei etene kehon sisäosiin. (Toivo)

#### 3.3 Syöpä

Maailman terveysjärjestön WHO:n kansainvälinen syöväntutkimuskeskus IARC on todennut, että pitkäaikainen asuminen yli 0,4  $\mu\text{T}$  magneettikentässä saattaa aiheuttaa lapsilla syöpää (leukemia). IARC on luokitellut pientaajuiset magneettikentät mahdollisesti syöpää aiheuttaviksi. Riskin lisäystä ei kuitenkaan ole voitu osoittaa tieteellisesti päteväksi. Ei ole myöskään tiedossa sellaista biologista vaikutusmekanismia, jolla magneettikenttien mahdollinen kyky aiheuttaa syöpää olisi selitettävissä. (Korpinen)

## 4 ASETUKSIA JA MÄÄRÄYKSIÄ

### 4.1 Väestön altistuminen

Sosiaali- ja terveysministeriö on antanut asetuksen ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistumisen rajoittamisesta vuonna 2002. Se määrittelee yleisesti, ettei sähkö- ja magneettikentät saa aiheuttaa ihmiselle kudonvaurioita eivätkä haitallisia muutoksia ihmisen elintoiminnoissa. Kyseistä asetusta ei sovelleta lääkärin määräämässä tutkimus- tai hoitotoimenpiteessä, tai lääkärin valvonnassa asianmukaisesti hyväksytyssä tieteellisessä tutkimuksessa. (Sosiaali- ja terveysministeriö, 2002). Taulukoissa 1, 2 ja 3 on nähtävissä väestön altistumista koskevat suositusarvot enintään 100 kHz kentille asetuksen 294/2002 perusteella.

Taulukko 1 Staattisen magneettikentän vuontiheyden suositusarvoraja

Altistuminen	Magneettivuon tiheys
Koko keho (jatkuva)	40 mT

Taulukko 2 Sähkö- ja magneettikenttien aiheuttaman kehoon indusoituvan virrantiheyden suositusarvot

Taajuusalue	Virrantiheys (pää ja vartalo) (mA/m <sup>2</sup> )
0 - 1 Hz	8
1 Hz - 4 Hz	8/f
4 Hz - 1 kHz	2
1 kHz - 100 kHz	f/500

Taulukko 3 Suositusarvot enintään 100 kHz sähkö- ja magneettikenttien voimakkuuksien tehollisarvoille

Taajuusalue	Sähkökentän voimakkuus (V/m)	Magneettikentän voimakkuus (A/m)	Magneettivuon tiheys (μT)
0 - 1 Hz	-	$3,2 \cdot 10^4$	$4,0 \cdot 10^4$
1 - 8 Hz	10 000	$3,2 \cdot 10^4 / f^2$	$4,0 \cdot 10^4 / f^2$
8 - 25 Hz	10 000	$4\,000 / f$	$5\,000 / f$
20 - 800 Hz	$250 \cdot 10^3 / f$	$4\,000 / f$	$5\,000 / f$
0,8 - 3 kHz	$250 \cdot 10^3 / f$	5	6,25
3 - 100 kHz	87	5	6,25

### 4.2 Työntekijöiden altistuminen

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2013/35/EU määrittelee terveyttä ja turvallisuutta koskevat vähimmäisvaatimukset työntekijöiden suojelemiseksi altistumiselta sähkömagneettisista kentistä aiheutuville riskeille työpaikoilla. Tällä direktiivillä pyritään käsittelemään kaikkia tunnettuja, sähkömagneettisten kenttien aiheuttamia suoria ja epäsuoria biofysikaalisia vaikutuksia. Direktiivi ei käsittele sähkömagneettisille kentille altistumisen väitettyjä pitkäaikaisia vaikutuksia, sillä syy-yhteyksillä ei tällä hetkellä ole vakiintunutta tieteellistä näyttöä. (2013/35/EU, 2013)

Direktiivi antaa toimenpidetasot sähkökentän voimakkuuksille taulukon 4 mukaisesti. Sähkökenttien osalta "matala toimenpidetaso" ja "korkea toimenpidetaso" tarkoittavat tasoja, jotka liittyvät direktiivissä määriteltyihin erityisiin suojaaviin tai ehkäiseviin toimenpiteisiin. (2013/35/EU, 2013)

Taulukko 4 Sähkökentille altistumista koskevat toimenpidetasot direktiivin 2013/35/EU mukaisesti

Sähkökentille altistumista koskevat toimenpidetasot taajuusalueella 1 Hz - 10 MHz		
Taajuusalue	Sähkökentän voimakkuus. Matala toimenpidetaso (E) [V/m] (RMS)	Sähkökentän voimakkuus. Korkea toimenpidetaso (E) [V/m] (RMS)
1 Hz - 24 Hz	$2,0 * 10^4$	$2,0 * 10^4$
25 Hz - 49 Hz	$5,0 * 10^5 / f$	$2,0 * 10^4$
50 Hz - 1639 Hz	$5,0 * 10^5 / f$	$1,0 * 10^6 / f$
1640 Hz - 2999 Hz	$5,0 * 10^5 / f$	$6,1 * 10^2$
3 kHz - 10 MHz	$1,7 * 10^2$	$6,1 * 10^2$

Direktiivi antaa toimenpidetasot magneettikentän voimakkuuksille taulukon 5 mukaisesti. Magneettikenttien osalta "matala toimenpidetaso" tarkoittaa tasoa, joka on yhteydessä aistimusraja-arvoon ja "korkea toimenpidetaso" tasoa, joka on yhteydessä terveysvaikutusraja-arvoon. (2013/35/EU, 2013)

Taulukko 5 Magneettikentille altistumista koskevat toimenpidetasot direktiivin 2013/35/EU mukaisesti

Magneettikentille altistumista koskevat toimenpidetasot taajuusalueella 1 Hz - 10 MHz			
Taajuusalue	Magneettivuon tiheys. Matala toimenpidetaso (B) [ $\mu$ T] (RMS)	Magneettivuon tiheys. Korkea toimenpidetaso (B) [ $\mu$ T] (RMS)	Magneettivuon tiheys. Toimenpidetaso: raajojen altistuminen paikalliselle magneettikentälle [ $\mu$ T] (RMS)
1 Hz - 7 Hz	$2,0 * 10^5 / f^2$	$3,0 * 10^5 / f$	$9,0 * 10^5 / f$
8 Hz - 24 Hz	$2,5 * 10^4 / f$	$3,0 * 10^5 / f$	$9,0 * 10^5 / f$
25 Hz - 299 Hz	$1,0 * 10^3$	$3,0 * 10^5 / f$	$9,0 * 10^5 / f$
300 Hz - 2999 Hz	$3,0 * 10^5 / f$	$3,0 * 10^5 / f$	$9,0 * 10^5 / f$
3 kHz - 10MHz	$1,0 * 10^2$	$1,0 * 10^2$	$3,0 * 10^2$

Esimerkkinä matala toimenpidetaso 50 Hz taajuiselle sähkökentän voimakkuudelle (E) [kV/m] (RMS) on 10 kV/m. Vastaavan taajuuden korkea toimenpidetaso sähkökentän voimakkuudelle on 20 kV/m. Matala toimenpidetaso magneettivuon tiheydelle (B) [ $\mu$ T] (RMS) 50 Hz taajuudella on 1000  $\mu$ T (1 mT). Vastaavan taajuuden korkea toimenpidetaso magneettivuon tiheydelle on 6000  $\mu$ T (6 mT).

Mikäli työpaikalla kentänvoimakkuudet ylittävät edellä mainittuja raja-arvoja, on työnantajan tehtävä jatkoselvityksiä, joilla varmistetaan ylittyvätkö taulukon 6 raja-arvot. Jos altistuminen ylittää kyseisiä raja-arvoja, täytyy työnantajan yksilöidä ja kirjata syyt, joiden takia taulukon raja-arvot ylittyivät. Tämän lisäksi työnantajan täytyy muuttaa suojaavia ja ehkäiseviä toimenpiteitä siten, ettei raja-arvojen ylitys toistuisi. Nämä muutokset on säilytettävä muodossa, joka mahdollistaa niiden jäljitettävyyden, jotta myöhempi käyttö ja tarkastelu on mahdollista. (2013/35/EU, 2013)

Taulukko 6 Altistumisen raja-arvoja taajuusalueella 0 Hz – 10 MHz (2013/35/EU mukaisesti).

Altistumisen raja-arvot ulkoisen magneettivuon tiheydelle (B0) taajuusalueella 0 - 1 Hz	
	Aistimusraja-arvot [T]
Tavanomaiset työolosuhteet	2
Paikallinen raajojen altistuminen	8
	Terveysvaikutusraja-arvot [T]
Valvotut työolosuhteet	8
Terveysvaikutusraja-arvot, sisäisen sähkökentän voimakkuus 1 Hz - 10 MHz	
Taajuusalue	Terveysvaikutusraja-arvot [V/m] (Huippuarvo)
1 Hz - 2999 Hz	1,1
3 kHz - 10 MHz	$3,8 * 10^{-4} f$
Aistimusraja-arvot, sisäisen sähkökentän voimakkuus 1 - 400 Hz	
Taajuusalue	Aistimusraja-arvot [V/m] (Huippuarvo)
1 Hz - 9 Hz	0,7 f
10 Hz - 24 Hz	0,07
25 Hz - 400 Hz	0,0028 f

Työnantajan on varmistettava, että työssään sähkömagneettisista kentistä aiheutuville riskeille todennäköisesti altistuvat työntekijät ja/tai heidän edustajansa saavat kaiken tarvittavan tiedon ja koulutuksen riskiarvioinnista saatuihin tuloksiin liittyen. Koulutus koskee direktiivin 2013/35/EU mukaan erityisesti:

- kyseistä direktiiviä sovellettaessa toteutettuja toimenpiteitä
- altistumisen raja-arvojen ja toimenpidetasojen arvoja ja käsitteitä, niihin liittyviä mahdollisia riskejä sekä toteutettuja ehkäiseviä toimenpiteitä
- altistumisen mahdollisia epäsuoria vaikutuksia
- suoritettujen sähkömagneettisille kentille altistumisen tasojen arviointien, mittausten ja / tai laskelmien tuloksia
- altistumisen haitallisten terveysvaikutusten havaitsemis- ja ilmoittamistapoja
- keskus- tai ääreishermostovaikutuksiin liittyvien hetkellisten oireiden ja tuntemusten mahdollisuutta
- olosuhteita, joissa työntekijällä on oikeus terveydentilan seurantaan
- turvallisia työtapoja altistumisesta aiheutuvien riskien minimoimiseksi
- riskeille erityisen alttiita työntekijöitä

#### 4.3 Kansainväliset suositusraja-arvot

ICNIRP:n (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) julkaisu vuodelta 2010 antaa kansainvälisesti suositellut raja-arvot väestön ja henkilöstön sähkö- ja magneettikenttien altistumisille taajuudella 1 Hz – 100 kHz. Vaikka taajuusalue 100 kHz – 10 MHz on käsitelty erikseen ICNIRP:n toisessa julkaisussa, dokumentissa käsitellään myös taajuuksia 10 MHz saakka, koska sekä matalien, että korkeiden taajuuksien hermostollisia vaikutuksia on otettava huomioon riippuen altistumisolosuhteista. (ICNIRP, 2010)

Tässä työssä keskitytään ICNIRP:n julkaisun väestölle suositeltujen raja-arvojen tarkasteluun. Suomessa työperäisen altistumisen tarkastelu tulee tehdä EU-direktiivin 2013/35/EU mukaan, joka kuitenkin suurelta osin tulkitsee ICNIRP:n julkaisua. Esimerkkinä väestön altistumiselle taajuudella 50 Hz suositus antaa sähkökentälle (E) [kV/m] (RMS) raja-arvon 5 kV/m. Vastaavalla taajuudella magneettivuon tiheydelle (B) [ $\mu$ T] (RMS) suositeltu väestön altistumisen raja-arvo on 200  $\mu$ T. Taulukossa 7 on esitelty ICNIRP 2010:n mukaiset suositukset väestön altistumisen raja-arvoille ja taulukossa 8 on saman julkaisun mukaiset suositellut työperäiset altistumisen raja-arvot.

Taulukko 7 ICNIRP 2010 väestöä koskevat suositellut altistumisen raja-arvot (rms)

Taajuus	Sähkökentän voimakkuus (kV m <sup>-1</sup> )	Magneettikentän voimakkuus (A m <sup>-1</sup> )	Magneettivuon tiheys (T)
1 Hz - 8 Hz	5	$3,2 * 10^4 / f^2$	$4 * 10^{-2} / f^2$
8 Hz - 25 Hz	5	$4 * 10^3 / f$	$4 * 10^{-3} / f$
25 Hz - 50 Hz	5	$1,6 * 10^2$	$2 * 10^{-4}$
50 Hz - 400 Hz	$2,5 * 10^2 / f$	$1,6 * 10^2$	$2 * 10^{-4}$
400 Hz - 3 kHz	$2,5 * 10^2 / f$	$6,4 * 10^4 / f$	$8 * 10^{-2} / f$
3 kHz - 10 MHz	$8,3 * 10^{-2}$	21	$2,7 * 10^{-5}$

Taulukko 8 ICNIRP 2010 työpaikkoja koskevat suositellut altistumisen raja-arvot (rms)

Taajuus	Sähkökentän voimakkuus (kV m <sup>-1</sup> )	Magneettikentän voimakkuus (A m <sup>-1</sup> )	Magneettivuon tiheys (T)
1 Hz - 8 Hz	20	$1,63 * 10^5 / f^2$	$0,2 / f^2$
8 Hz - 25 Hz	20	$2 * 10^4 / f$	$2,5 * 10^{-2} / f$
25 Hz - 300 Hz	$5 * 10^2 / f$	$8 * 10^2$	$1 * 10^{-3}$
300 Hz - 3 kHz	$5 * 10^2 / f$	$2,4 * 10^5 / f$	$0,3 / f$
3 kHz - 10 MHz	$1,7 * 10^{-1}$	80	$1 * 10^{-4}$

#### 4.4 Sydämentahdistimet ja sähkömagneettiset kentät

Sydämentahdistin voi häiriintyä ulkoisen sähkömagneettisen kentän vuoksi. Kentät voivat vaikuttaa tahdistimen toimintaan ja aiheuttaa niille vahinkoa. Mahdollisiin häiriöiden syntyyn tahdistimissa vaikuttavat tahdistimen ominaisuudet ja asetukset, henkilön ominaisuudet, ympäristökijät ja kentän ominaisuudet. Tahdistimien yleisin häiriö on toiminnan siirtyminen häiriötilaan. Tällöin laitteeseen tallennetut yksilölliset säädöt häviävät ja tahdistimen toiminta jatkuu tehdasasetuksilla. Häiriötilaan meno ei yleensä ole potilaalle vaarallinen, mikäli se ei kestä kauan. Häiriö voi olla oireeton, mikäli henkilön oma rytmi on tyydyttävä. Tahdistimesta täysin riippuvaiselle voi aiheutua huimausta, tajuttomuutta ja häiriötila voi olla jopa hengenvaarallinen. (Tiikkaja;ym., 2012)

Standardi EN 50527-2-1 antaa sydämentahdistinta mahdollisesti häiritsevät raja-arvot sähkö- ja magneettikentille 50 Hz taajuudella. Mahdollisesti häiritsevät arvot on kuvattu taulukossa 9.

Taulukko 9 Sydämentahdistimia häiritsevät sähkö- ja magneettikenttien voimakkuudet EN 50527-2-1 mukaisesti.

Sähkö- ja magneettikenttien arvot 50 Hz taajuudella, jotka voivat aiheuttaa häiriötä sydämentahdistimissa				
Elektrodin tyyppi	Implantin sijainti	Vastustus testijännite [mV <sub>pp</sub> ]	Sähkökenttä [kV/m] (RMS)	Magneettikenttä [μT] (RMS)
Yksinäpainen	Vasen rintalihas	2,0	6,5	100
	Oikea rintalihas	2,0	6,5	167
Kaksinäpainen	Vasen tai oikea rintalihas	0,2	11,7	200

## 5 LAITEHANKINTA

Laitehankinta toteutettiin syksyllä 2015. Laitteiston rahoitus tuli Savonian *Coworking learning space – TKI 2.0* hankkeelta. Hanke oli Opetus- ja kulttuuriministeriön rahoittama. Laitteiston kokonaishinnasta johtuen hankinta jouduttiin toteuttamaan kilpailutuksen kautta. Kilpailutuksessa apunani toimivat Savonian tutkimusinsinööri Asmo Jakorinne, sekä TKI-asiantuntija Mikko Laasanen, jotka molemmat toimivat edellä mainitun hankkeen parissa.

### 5.1 Kilpailutus

Mahdollisia laitetoimittajia alettiin etsimään internetistä käsin ja tarjouspyyntöä varten keräsimme kolme laitetoimittajaa Suomesta. Orbis Oy toimittaa Narda Safety Test Solutionsin mittalaitteita, Amitronic Oy Wavecontrollin laitteita ja Caltest Oy Maschekin laitteita. Kaikille edellä mainituille lähetettiin tarjouspyyntö sähkö- ja magneettikenttien mittalaitteistosta. Hankinnan kohteeksi määriteltiin sähkö- ja magneettikenttien mittalaite direktiivin 2013/35/EU mukaisiin työpisteiden mittauksiin. Lisäksi laitteistolla oli pystyttävä mittaamaan standardin EN 50527-2-1 mukaiset sydämentahdistimen toimintaan vaikuttavat sähkö- ja magneettikentät.

Hankittava laitteisto koostui mittalaitteesta sekä sähkö- ja magneettikenttiä mittaavasta mittausanturista. Mittausanturi on laitteiston osa, joka mittaa anturin ympärillä vaikuttavat sähkö- ja magneettikentät. Mittalaite taas kerää anturilta saadun datan ja muun muassa muuntaa sen haluttuun muotoon mittalaitteen näytölle, sekä tallentaa mitatun datan. Mittalaite toimii siis eräänlaisena mittausanturin ohjausyksikkönä.

Tarjouspyyntöön määritettiin ehdottomat kelpoisuusvaatimukset, joiden täytyminen oli ilmoitettava tarjouksessa. Nuo vaatimukset olivat:

- Täytettävä direktiivin 2013/35/EU vaatimukset.
- Taajuusalue: 1 Hz – 400 kHz (pientaajuusalue).
- Sähkökenttä: Vähintään 10 kV/m saakka.
- Magneettikenttä: Vähintään 0,5 mT saakka.
- GPS paikannus.

Tarjouspyyntö kokonaisuudessaan on esitetty Liitteessä 2: Mittalaitteiston tarjouspyyntö.



## 5.2 Vertailu

Tarjouksissa vertailtiin ja pisteytettiin neljää kriteeriä. Lopullinen hankinta tehtäisiin eniten pisteitä keränneeltä laitetoimittajalta. Kriteerit olivat seuraavat:

1. Tekniset ominaisuudet, 30 pistettä
2. Päivitettävyysominaisuudet, 20 pistettä
3. Mahdollisuus käyttää korkean taajuuden mittausantureita, 10 pistettä
4. Mittalaitteen hinta ilman mittausanturin hintaa, 40 pistettä

Laitteet vertailtiin tarjouksien yhteydessä saatujen, sekä itse hankittujen datatietojen perusteella. Teknisten ominaisuuksien kohdalta laitteista vertailtiin laitteen käytettävyyttä eri standardien mukaisiin mittauksiin, eli toisin sanoen, mihin tarkoitukseen laite soveltuu. Lisäksi teknisistä ominaisuuksista vertailtiin laitteiston mittaamaa taajuusalueetta, laitteiston mittatarkkuutta, sekä sähkö- ja magneettikenttien voimakkuuksien mittausalueetta. Näissä kriteereissä parhaaksi arvioitu laitteisto sai 30 pistettä, seuraava 15 pistettä ja loput 0 pistettä.

Laitteiden päivitettävyysominaisuuksia vertailtiin laiteohjelmiston päivitysmahdollisuudella ja laitteen standardikirjaston päivitysmahdollisuuksia. Päivitettävyysominaisuuksissa pisteytys oli jaettu 20 pistettä parhaalle, seuraavaksi tulleelle 10 ja lopuille 0 pistettä.

Jokainen tarjottu mittalaite sai vertailussa 10 lisäpistettä, jos laitteeseen oli mahdollista liittää myös korkean taajuuden mittausantureita. Tämä antaisi mahdollisuuden tulevaisuudessa kehittää palvelua ja tarjota korkeampien taajuuksien sähkö- ja magneettikenttien mittauspalvelua.

Viimeinen vertailuosuus liittyi mittalaitteiston hintaan. Hintoja verrattiin vain mittalaitteen hinnan perusteella ilman mittausanturia / -antureita. Hintavertailussa edullisimman tarjouksen jättänyt sai 40 pistettä ja seuraavat saivat pisteet samassa suhteessa, kuin tarjoushinta on suhteessa halvimpaan tarjoukseen. Laskukaava pisteytyksessä oli:  $40 \text{ (pistettä)} * [\text{halvin tarjous euroina} / \text{toimittajan tarjous euroina}]$ .

## 5.3 Hankinta

Tarjouksien saapumiselle jätettiin määräaika 6.11.2015 kello 14.00 mennessä. Saapuneista tarjouksista Orbis Oy:n tarjous sai parhaimmat kokonaispisteet ja mittalaitteiksi hankittiin näin olleen Narda Safety Test Solutionsin mittalaitteet.

## 6 MITTALAITTEISTO

Lopullinen laitehankinta piti sisällään Nardan NBM-550 mittalaitteen, johon voidaan yhdistää erilaisia mittaustureita riippuen mitattavasta kentästä, taajuusalueesta ja kohteesta. Sähkö- ja magneettikenttien mittaamiseen hankittiin anturi EHP-50F, joka pystyy mittaamaan sähkö- ja magneettikenttiä taajuusalueelta 1 Hz – 400 kHz. Lisäksi rahoituksessa oli varaa hankkia korkeataajuisien sähkökenttien mittausturi EF0691, joka kykenee mittaamaan sähkökenttiä taajuusalueelta 100 kHz – 6 GHz.

### 6.1 Mittalaite NBM-550

NBM-550 kuuluu Nardan NBM-500 -laitesarjaan. Se kykenee erittäin tarkkoihin ionisoimattomien säteilylähteiden mittaustuloksiin. Erilaisilla sähkö- ja magneettikenttien mittaustureilla laitteistolla voidaan mitata kenttiä taajuusalueelta 1 Hz – 60 GHz, kattaen teollisuuden laitteiden tuottamat, matalataajuiset, pitkät aallonpituudet aina mikroaaltosäteilyn tuottamiin lyhyisiin aallonpituuksiin saakka. NBM-550 -laitetta käytetään mittauksiin, joilla varmistetaan henkilöiden turvallisuus erityisesti työympäristöissä, joissa suuria sähkö- ja magneettikenttiä voi ilmetä.

Mittalaite ja mittausturit kalibroidaan erikseen. Laitteiston kalibroinneista saatu anturin data tallennetaan mittausturissa sijaitsevaan muistiin, eikä mittalaitteeseen, jolloin anturia voidaan käyttää missä tahansa NBM-500 -sarjan mittalaitteissa ilman yhteistä kalibrointia.

Kuvassa 6 on esitetty NBM-550 -mittalaite ilman erillisiä mittaustureita, taikka lisävarusteita. Laitteen teknisiä tietoja on eriteltyinä Liitteessä 1: Hankinnan mittalaitteiden vertailutaulukko. Vertailussa mittalaitetta vertaillaan yhdessä pientaajuisien sähkö- ja magneettikenttien anturin EHP-50F:n kanssa. (Narda STS)



KUVA 6 Narda NBM-550 -mittalaite.

## 6.2 Pientaajuisten sähkö- ja magneettikenttien mittausanturi EHP-50F

Mittausanturi EHP-50F on pientaajuisten kenttien analysoija pienessä koossa. Laite on esitetty kuvassa 7 laitteen mukana tulevan kolmijalan sekä anturilta lähtevän kuitukaapelin kanssa. Anturi kykenee mittaamaan sekä sähkö- että magneettikenttiä isotroopisesti eli kolmelta akselilta. Näin ollen sillä voidaan toteuttaa taajuusselektiivisiä, ei-suunnattavia mittauksia korkealla tarkkuudella ja dynaamisella alueella. Kolmijalan avulla ja kaukosäätöisellä toiminnalla optista kuitukaapelia pitkin anturi voidaan sijoittaa optimaalisesti mittauspisteeseen ilman, että ihmisen läsnäolo aiheuttaisi häiriötä mittaukseen. Anturia voidaan ohjata joko PC:ltä tai Nardan NBM-550 -mittalaitteelta. Mittausanturilla voidaan toteuttaa täysin automaattinen, pitkäkestoinen mittaus jopa 24-tunnin ajalta ilman käyttäjän läsnäoloa ja laite tallentaa tulokset anturin muistiin.

Anturilla voidaan mitata mitattavan taajuusalueen spektri. Alhaisen taajuusalueen sähkömagneettisten kenttien raja-arvot riippuvat suuresti taajuudesta. Tämän seurauksena laajakaistainen mittaus ei useinkaan riitä arvioimaan signaaleja riittävästi. Tällöin tarvitaan spektrianalyysiä. Tämä osoittaa signaalien muodostavien taajuuskomponenttien täsmällisen jakauman.

EHP-50F:n tarjoama voimakas FFT-analyysi kattaa laajan taajuusalueen välillä 1 Hz - 400 kHz useilla alaryhmillä. Alhaisemmat taajuudet kaapataan kapealla kaistanleveyden resoluutiolla ja korkealla mitaustuloksen resoluutiolla; korkeammat taajuusalueet käyttävät laajempaa kaistanleveyden tarkkuutta, mikä johtaa nopeampaan mitaustulokseen.

Laitteella on myös mahdollista toteuttaa painotetun huippuarvon mittauksia, eli WPM (weighted peak method) mittauksia. Tietynlaisia kenttäsignaalisekvenssejä esiintyy entistä monimutkaisemmin, kuten sellaisia, jotka johtuvat esimerkiksi nykyaikaisten hitsauslaitteiden aiheuttamista pulsseista. WPM antaa oikean mitausarvon myös tällaisille pulssisignaaleille ja ottaa huomioon myös eri taajuuskomponenttien vaiheet. Tämä säästää käyttäjältä paljon työtä, koska heidän on vain valittava asiaankuuluva standardi. Laite antaa sitten suoraan tuloksen prosentteina asetetusta raja-arvosta. (Narda STS)

Mittausanturin teknisiä ominaisuuksia on käsitelty yhdessä NBM-550 -mittalaitteen kanssa Liitteessä 1: Hankinnan mittalaitteiden vertailutaulukko.



KUVA 7 Narda EHP-50F -mittausanturi.

### 6.3 Korkean taajuuden sähkökenttäanturi EF0691

Hankinnan rahoittava hanke tarjosi varojen puolesta mahdollisuuden mittauspalvelun laajentamiseen korkeataajuisien sähkökenttien mittaamiseen. Hankittu EF0691 -mittausanturi kykenee mittauksiin taajuusalueella 100 kHz – 6 GHz. Alla kuvassa 8 EF0691 -mittausanturi. Laite on ideaalinen korkeataajuisien tiedonsiirron, televiestinnän ja teollisuuden laitteiden mittaamiseen, kuten tukiasemien. Anturi mittaa sähkökenttiä isotroopisesti, eli kolmelta akselilta. Laite kykenee todella herkkiin mittauksiin, alkaen 0,38 V/m suuruisien sähkökenttien havaitsemisesta. (Narda STS)

Tässä työssä ei käsitellä korkeataajuisien sähkö- ja magneettikenttien mittausta, eikä siihen liittyviä standardeja, rajoituksia taikka suosituksia. Näin ollen kyseinen mittauspalvelun laajennus jää tulevaisuuden palvelun toteutuksen rinnalle.



KUVA 8 Narda EF0691 -mittausanturi.

## 7 SÄHKÖ- JA MAGNEETTIKENTTIEN MITTAUSTEKNIKKAA

### 7.1 Yleistä tietoa mittaustekniikoista

Sähkö- ja magneettikenttien mittaustavat riippuvat suuresti mitattavasta kohteesta sekä standardista, jonka mukaan mittauksia suoritetaan. Erilaisille mittaushetkille on olemassa mittaustapoja kuvaavia standardeja ja standardien kirjo kehittyä jatkuvasti. IEC 62110 - standardi antaa hyvät ja yleispätevät yleisen altistumisen mittaustekniikat AC-sähköjärjestelmien mittaamiselle. Tarkemman mittauskohdetta yksilöivän mittaustekniikan selvittäminen jää mittaajan ja / tai asiakkaan selvittäväksi.

#### 7.1.1 Sähkökentän mittaamisesta

Jotta saataisiin mitattua mahdollisimman häiriötön sähkökenttä, mittausalueen tulisi olla mahdollisimman vapaa muista voimajohtoista, torneista, puista, aidoista, korkeasta ruohikosta tai muista poikkeavista objekteista. On suositeltavaa, että sijainnin tulisi olla mahdollisimman tasainen. On myös huomioitava, että kasvillisuuden vaikutus sähkökentän tasoon voi olla merkittävä. Yleensä kentän voimistumista esiintyy kasvillisuuden yläpuolella, kun taas vaimennusta tapahtuu lähellä kasvillisuuden sivustaa. (International Electrotechnical Commission, 2009)

Kaikki siirrettävät esineet on poistettava mittaushetken ympäriltä aina kun mahdollista. Jos esineiden liikuttelu ei ole mahdollista, tulee anturin ja mitattavan objektin välimatkan olla yli kolme kertaa mitattavan objektin korkeus liikuteltavan objektin tapauksessa, tai metrin kiinteän objektin tapauksessa. Jos näitä suosituksia ei voida täyttää, tulee siitä mainita selvästi mittaushetken raportissa. (International Electrotechnical Commission, 2009)

Mitattavan sähkökentän häiriön vähentämiseksi mittaushetken ja käyttäjän välisen etäisyyden tulee olla vähintään 1,5 metriä. Suositeltavaa on käyttää 3 metrin etäisyyttä. Tämä voidaan saavuttaa käyttämällä kuituoptista kaapelia mittalaitteen ja mittaushetken välillä, sekä sijoittamalla anturi johtumattomalle jalustalle. (International Electrotechnical Commission, 2009)

Sähkökentän mittaushetken tulos voi vääristyä, jos ilman suhteellinen kosteus on yli 70 % johtuen anturiin ja jalustaan kohdistuvasta kondenssi vaikutuksesta. Koska kosteuden vaikutus anturiin riippuu laitteistosta, on mittalaitteiston kyky toimia näissä olosuhteissa tarkistettava ennen mittauksia. (International Electrotechnical Commission, 2009)

#### 7.1.2 Magneettikentän mittaamisesta

Magneettikenttiä mitattaessa liikuteltavien objektien, jotka sisältävät magneettisia materiaaleja tai ei-magneettisia johtimia, tulisi olla vähintään kolme kertaa mitattavan objektin suurimman halkaisijan verran kauempana mittaushetkestä häiritsemättömän kentän mittaamiseksi. Anturin ja mitattavan kohteen välinen etäisyys ei saa olla pienempi kuin yksi metri, jotta ympäröivää kenttää saadaan mitattua mahdollisimman häiriöttömästi. Jos näitä suosituksia ei voida täyttää, tulee siitä mainita selvästi mittaushetken raportissa. (International Electrotechnical Commission, 2009)

Mittapisteen lähellä olevat magneettikentän lähteet, paitsi sähköjärjestelmät ja itse mitattava kohde, tulee sammuttaa tai siirtää mahdollisuuksien mukaan, jotta niiden vaikutus mittatulokseen olisi mahdollisimman vähäinen. Jos lähteitä ei ole mahdollista sulkea tai siirtää, niiden merkitykselliset tiedot kuten esimerkiksi lähteen tyyppi, sijainti suhteessa mittauspisteeseen jne. tulisi merkata raporttiin. (International Electrotechnical Commission, 2009)

## 7.2 Yksipistemittaus

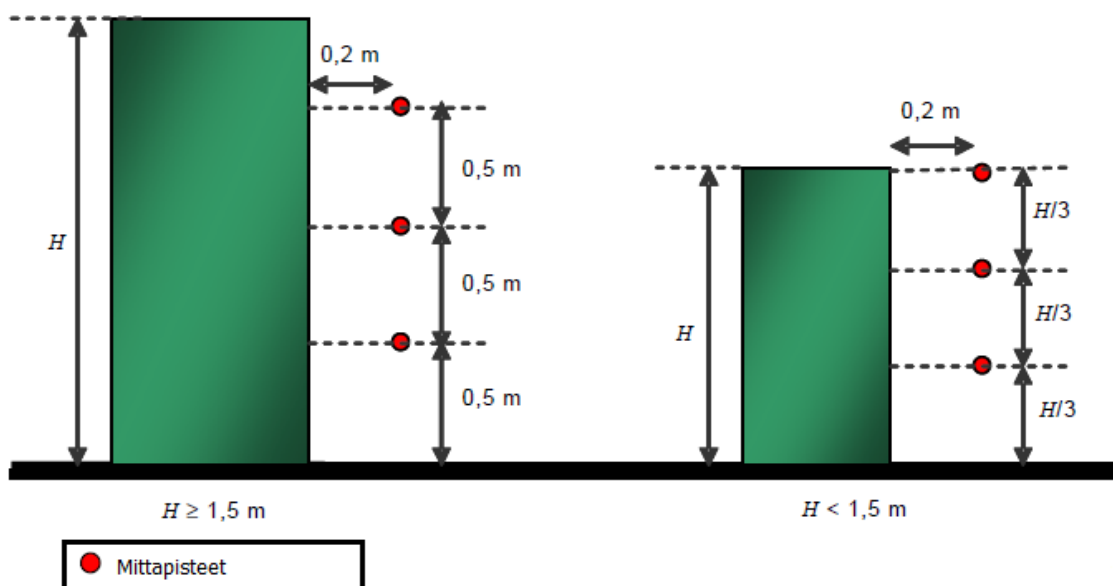
Yhdenmukaisia kenttiä mitattaessa voidaan mittaus suorittaa 1 metrin korkeudella maanpinnasta tai rakennuksen lattiasta. Mitattua tulosta verrataan keskimääräisen altistumisen tasoon. Tarvittaessa voidaan käyttää muita korkeuksia, jolloin todellinen mittauskorkeus tulee kirjata mittausraporttiin. Pään yläpuolella kulkevien voimajohtojen alapuolella altistuminen voidaan mitata yksipistemittauksella, mutta muulloin on suositeltavaa käyttää kolmi- tai viisipistemittausta kokonaisaltistumisen määrittämiseksi. (International Electrotechnical Commission, 2009)

## 7.3 Kolmipistemittaus

Kun mitattava kenttä ei ole yhdenmukainen käytetään kolmipistemittausta. Mittaus suoritetaan kolmelta korkeudelta: 0,5 m, 1,0 m ja 1,5 m maanpinnan tai rakennuksen lattian yläpuolella. Sähkölaitetta / koneita mitattaessa tai rakennuksen sisällä, mittaus suoritetaan 0,2 metrin etäisyydeltä laitteesta tai seinästä. (International Electrotechnical Commission, 2009)

Tilanteessa jossa mitattavan laitteiston korkeus on alle 1,5 m, jaetaan mitattavan kohteen korkeus kolmeen yhtä korkeaan osaan ja mittaus aloitetaan samalta tasolta laitteen yläosan kanssa. Tarvittaessa voidaan käyttää muita korkeuksia, jolloin todellinen mittauskorkeus tulee kirjata mittausraporttiin. Kolmipistemittauksen mittaustuloksen keskiarvoa käytetään keskimääräisen altistumisen tasona. Kolmipistemennetelmän mittaetäisyydet- ja korkeudet on havainnollistettu kuvassa 9. (International Electrotechnical Commission, 2009)

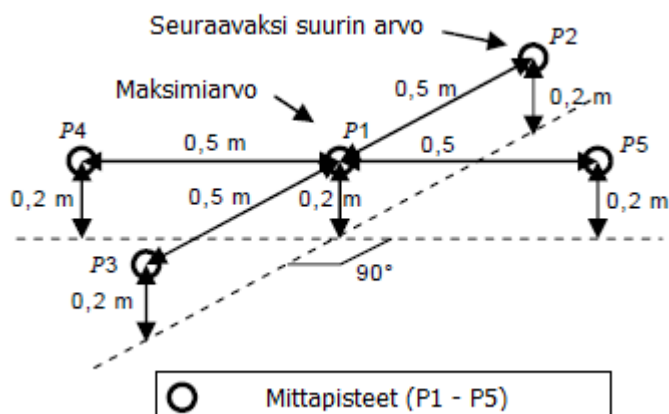




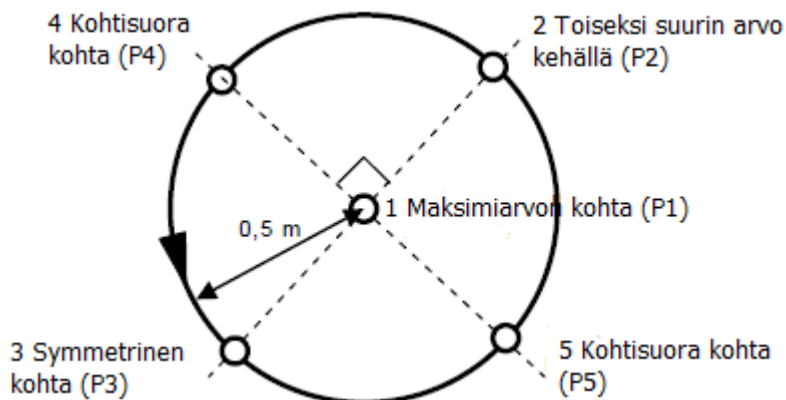
KUVA 9 Kolmipistemittaus IEC 62110:n mukaisesti.

#### 7.4 Viisipistemittaus

Säteilylähteen sijaitessa lattian tai maan alla ja ollessa todennäköistä, että henkilö on makuuasennossa sen päällä, tulee säteilylähteen päällä suorittaa viisipistemittaus. Mittaukset tulee suorittaa 0,2 metrin korkeudella maan tai lattian yläpuolella. Ensimmäiseksi pisteeksi etsitään kohta, josta löydetään suurin kentän voimakkuus. Seuraavaksi suurimman kentänvoimakkuuden piste etsitään 0,5 m säteen etäisyydeltä ensimmäisen pisteen ympyrän kehältä. Seuraava mittaus on tehtävä pisteessä, joka on symmetrisesti toisen mittapisteen vastapuolella kehällä. Neljäs ja viides mittaus suoritetaan pitkin linjaa, joka on kohtisuorassa edellisiin kolmeen mittauspisteeseen kulkevaan linjaan, 0,5 metrin etäisyydeltä molemmin puolin ensimmäisestä mittapisteestä. Mitatuista tuloksista lasketaan kolmen suurimman arvon keskiarvo ja tätä käytetään keskimääräisen altistumisen tasona. Viisipistemittauksen etäisyydet ja korkeudet on havainnollistettu kuvissa 10 ja 11. Tapauksissa joissa henkilö ei todennäköisesti maa maassa tai lattialla, käytetään kolmipistemittausa. (International Electrotechnical Commission, 2009)



KUVA 10 Viisipistemittauksen mittapisteiden korkeudet.



KUVA 11 Viisipistemittauksen mittapisteiden etäisyydet.

## 7.5 Suurimman altistumistason löytäminen sähkökentästä

### 7.5.1 Pään ylitse kulkevat voimajohdot

Yläpuolella kulkevista voimalinjoista aiheutuvan sähkökentän voimakkuuden tasoon vaikuttaa monet tekijät kuten etäisyys johtimiin, johtimien välinen etäisyys ja vaihejärjestys sekä voimalinjan jännite. Suurin sähkökentän voimakkuuden taso löytyy johtimien jännevälän kohdasta, jossa johtimet ovat lähimpänä maanpintaa. Jotta löydettäisiin piste, jossa kentän taso on suurin, on mitattava 1,0 m korkeudelta johtimien mukaisesti tasaisin välein (pituussuuntainen profiili). Tämän jälkeen mitataan löydetyistä pisteistä kohtisuorasti, poikittain johtimien kulkusuuntaan nähden, 1,0 m korkeudelta tasaisin välein, löytyykö toista huippuarvon pistettä (sivuprofiili). Kun paikka, jossa kentänvoimakkuus on suurin, tunnetaan, suoritetaan pisteessä yksipistemittaus. (IEC 62110.)

### 7.5.2 Maan alla kulkevat kaapelit

Maanalaiset kaapelit eivät tuota sähkökenttää maanpinnan yläpuolelle, joten sähkökenttiä ei tarvitse mitata. (IEC 62110.)

### 7.5.3 Sähköasemat ja sähkönjakelulaitteistot

Yleisesti sähköasemat ja niihin laskeutuvat voimajohdot ovat suojattu yleisöltä, joten yleiseen altistumiseen viitaten sähkökenttien mittauksia ei tarvittaisi. Henkilöstön altistumiselle sähköasemilla, joihin kulkee pään yläpuolisia voimajohtoja, tulee suorittaa mittaus 1,0 m korkeudelta maanpinnan yläpuolelta ja 0,2 m etäisyydeltä sähköaseman seinästä. Mittauksia suoritetaan tasaisin välein kiertäen sähköasemaa. Alueella, josta löytyy suurimmat kentänvoimakkuudet, suoritetaan kolmipistemittaus. Yleensä laitoksen maksimikentät löytyvät kohdasta, jossa johdot menevät rakennuksen sisään. Tässä kohtaa tulee suorittaa pään ylimenevien voimajohtojen mittaustekniikka, joka esitettiin edellä.

## 7.6 Suurimman altistumistason löytäminen magneettikentästä

### 7.6.1 Pään ylitse kulkevat voimajohdot

Yläpuolella kulkevista voimalinjoista aiheutuvan magneettikentän voimakkuuden tasoon vaikuttaa monet tekijät, kuten etäisyys johtimiin, johtimien välinen etäisyys ja vaihejärjestys, sekä voimalinjan jännite. Suurin magneettikentän voimakkuuden taso löytyy johtimien jännevälin kohdasta, jossa johtimet ovat lähimpänä maanpintaa. Jotta löydettäisiin piste, jossa kentän taso on suurin, on mitattava 1,0 m korkeudelta johtimien mukaisesti tasaisin välein (pituussuuntainen profiili). Tämän jälkeen mitataan löydetyistä pisteistä kohtisuorasti, poikittain johtimien kulkusuuntaan nähden, 1,0 m korkeudelta tasaisin välein, löytyykö toista huippuarvon pistettä (sivuprofiili). Kun paikka, jossa kentän voimakkuus on suurin, tunnetaan, suoritetaan pisteessä yksipistemittaus. (International Electrotechnical Commission, 2009)

### 7.6.2 Maan alla kulkevat kaapelit

Maan alle upotettujen kaapeleiden yläpuolelta mitattaessa magneettikenttiä korkeus maanpinnasta tulee olla 1,0 m ja mittaukset suoritetaan kohtisuoraan kaapeleihin nähden tasaisin välein. Kohdassa, mistä maksimiarvo löytyi suoritetaan kolmipistemittaus. Magneettikentän suuruus on yleensä likimain sama mittauspisteissä maan alle asennetun kaapelin pituudella. Muutoksia magneettikentän suuruuteen voi tulla liitoskoteloista, johtoliitoksista tai asennussyvyyden muutoksista. (International Electrotechnical Commission, 2009)

### 7.6.3 Sähköasemat ja sähköjakelulaitteistot

Yleisesti sähköasemat ja niihin laskeutuvat voimajohdot ovat suojattu yleisöltä, joten yleiseen altistumiseen viitaten magneettikenttien mittauksia ei tarvittaisi. Henkilöstön altistumiselle sähköasemilla, joihin kulkee pään yläpuolisia voimajohtoja, tulee suorittaa mittaus 1,0 m korkeudelta maanpinnan yläpuolelta ja 0,2 m etäisyydeltä sähköaseman seinästä. Tilanteessa, jossa mitattava laite on alle 1,5 m korkea, suoritetaan mittaus laitteen korkeimman kohdan tasolta, eikä 1,0 m korkeudesta. Alueella, josta löytyy suurimmat kentänvoimakkuudet, suoritetaan kolmipistemittaus. Yleensä laitoksen maksimikentät löytyvät kohdasta, jossa johdot menevät rakennuksen sisään. Tässä kohtaa tulee suorittaa pään ylimenevien voimajohtojen mittaustekniikka, joka esitettiin edellä. Paikallisia korkeampia kentän arvoja voi löytyä lähempänä maanpintaa laitteen läheltä tai aseman rajoilta. Jos sähköaseman tiloissa tai sen yläpuolisissa tiloissa on todennäköistä, että ihminen makaa lattialla, täytyy siellä suorittaa viisipistemittaus. Muuten mittaukset suoritetaan kolmipistemittauksin. (International Electrotechnical Commission, 2009)

## 7.7 Mittausraportin laatiminen

Suoritetuista mittauksista tulee laatia mittausraportti. Raportista tulee käydä ilmi seuraavat asiat standardin IEC 62110 mukaisesti:

- päivämäärä, aika ja sääolosuhteet
- lämpötila ja ilmankosteus (sähkökentän mittausta varten)
- sähköjärjestelmän tyyppi (ylikulkevat johtimet, kaapeli, sähköasema jne.) ja nimellinen jännite, ylikulkevien johtimien asettelu ja vaihejärjestys ja / tai maanalla kulkevat kaapelit, jotka aiheuttavat mitattavia kenttiä
- mittalaitteiston tiedot (valmistaja, malli, anturin tai mittarin tyyppi, mitattavien kenttien suuruusluokat, taajuusalue, viimeisin kalibrointipäivämäärä) jos saatavilla
- arvio mittavirheestä
- mittauksen suorittaneen henkilön ja yrityksen tiedot
- mittapisteiden tarkka määrittely (etäisyys, korkeus jne.)
- mittapisteiden sijainti suhteessa sähköjärjestelmiin
- mitattujen kenttien tasot (sähkö / magneetti)
- tarkka osoitus, mitä kentän tasoja on raportoitu (esim. kenttien resultantti, r.m.s. arvot jne.)
- mittapisteen lähellä olevien muiden säteilylähteiden tyyppi, sijainti mittapisteeseen nähden, käyttötila
- luonnos ja / tai valokuva mittauskohteesta, josta ilmenee mittauspiste ja muut säteilylähteet
- kiinteiden ja liikuteltavien objektien tyyppi, materiaali, ulkoiset mitat ja sijainti mittapisteeseen nähden sähkökentän mittausta varten
- magneettisia materiaaleja tai johteita sisältävien kiinteiden ja liikuteltavien objektien tyyppi, materiaali, ulkoiset mitat ja sijainti mittapisteeseen nähden
- sähköjärjestelmän kuormitus mittaustilanteessa (virta), jos mahdollista ja paikkaansa pitävä magneettikentän mittauksen aikana
- harmonoinen sisältö, jos merkittävää

Edellä mainitut tiedot ovat tärkeitä, kun mittaustuloksia verrataan laskettuihin- ja mitattuihin tasoihin.

## 8 PILOTTIMITTAUKSET

### 8.1 Pilottimittausten kohde

Palvelun käyttöönoton pilottimittauksia päästiin toteuttamaan Kuopion Sorsasalossa, Savon Sellun tehdasalueelle syksyllä 2016. Alueella valmistetaan paperia, kartonkia ja pahvia, ja toiminta alueella alkoi vuonna 1968. Savon Sellun yhteyshenkilönä toimi sähköinsinööri Pertti Rytönen. Alueelta löytyy erinomaiset puitteet sähkö- ja magneettikenttien mittauksille. Tehdas jakaantuu useaan rakennukseen ja mitattavien kohteiden kirjo oli valtava; erilaisista generaattoreista 10 kilovoltin kytkimiin ja kiskoihin, moottoreihin, pään ylitse kulkeviin kaapelointeihin, muuntajiin, raudanerotusmagneettiin ja 110 kilovoltin kenttä, jonka yllä kulkee 110 kilovoltin voimajohtoja. Lisäksi monet sähköratkaisut olivat vanhoja, tehtaan alkuajoille ajoittuvia, jolloin sähkökentiltä suojaaminen ei ole ollut niin ajankohtaista.

Alueella suoritetuista mittauksista on kirjoitettu asiakasraportti standardin IEC 62110 mukaisesti. Kyseinen raportti ja sen tulokset ovat Savonia-ammattikorkeakoulun ja sen asiakkaan, Powerflute Oy:n omaisuutta, joten se ei ole julkista materiaalia. Alla kuitenkin käydään läpi muutamia mittauskohteita Savon Sellulta. Yksittäisten mittauskohteiden mittatoimenpiteiden ja -kuvien julkaisemiseen on Savon Sellun yhteyshenkilön, Pertti Rytöksen lupa.

#### 8.1.1 10 kilovoltin kiskot

Tehtaan voimalan teknisessä tilassa kulki 10 kilovoltin kiskot metallikaapissa metallisen verkko-oven takana. Turvallisuusmääräyksiensä vuoksi kiskoja ei saanut mennä 1,0 metriä lähemmäksi ihminen tai mittalaitteisto. Kiskoille suoritettiin 3-pistemittaus metrin etäisyydeltä kiskoista. Mitatut kentät olivat kuitenkin odotusten vastaisesti todella pieniä. Kiskot ovat metallisen kehikon sisällä, jolloin kiskot ovat fyysisiltä ominaisuuksiltaan "Faradayn häkissä". Kuva 12 on mittaustilanteesta.

Faradayn häkki on johtavasta materiaalista rakennettu häkki tai yhtenäinen kuori. Faradayn häkin joutuessa ulkoiseen sähkökenttään, sen pinnalla olevat liikkumiskykyiset varaukset, kuten vapaat elektronit, siirtyvät sähkökentän mukana. Tämä tuottaa häkin pintaan varausjakauman siten, että positiivinen ja negatiivinen varausosuus keskittyvät häkin eri puolille. Negatiiviset varaukset kulkevat ulkoisessa sähkökentässä sitä vastaan ja positiiviset varaukset sen suuntaan. Positiivisten ja negatiivisten varausten keskittymät luovat oman sähkökenttensä, joka eliminoi ulkoisen sähkökentän vaikutuksen häkin sisäpuolella. (Wikipedia)

Suurin osa alueella mitattavista sähköjärjestelmistä oli suojattu vastaavalla tavalla metallisilla kuorilla. Näin ollen vastaavista sähköjärjestelmistä mitattiin hyvin pieniä kentänvoimakkuuksia, vaikka järjestelmissä olisi virtojen puolesta ollut potentiaalia suuremmillekin kentänvoimakkuuksille.



KUVA 12 10-kilovoltin kiskojen mittausta 1,5 m korkeudelta, 1,0 m etäisyydeltä. Pisteessä suoritettiin 3-pistemittaus.

### 8.1.2 Raudanerotusmagneetti

Tehdasalueen kuorimolla sijaitsee suuri raudanerotusmagneetti, jolla erotetaan liukuhihnalta puuhakkeen seasta metalliroskat. Magneetikenttien osalta odotukset olivat korkealla, koska laitteen valmistaja on merkannut laitteen kylkeen tarroin varoituksen suurista magneetikentistä. Kuitenkin kenttiä mitattaessa ei havaittu suurehkoja kentänvoimakkuuksia. Aluksi kenttiä mitattiin metrin päästä ja kun kenttiä ei juurikaan esiintynyt, mittausanturia tuotiin lyhyin askelluksin lähemmäs magneettia. Kuvassa 13 mittausanturi on noin 0,2 m päässä magneetista.

Syitä mitattuihin pieniin kentänvoimakkuuksiin voi olla magneetin tarkka suuntaus alaspäin liukuhihnalle ja / tai ympärillä on mittaukseen nähden liikaa häiritseviä rakenteita ja järjestelmiä. Mitatuista kentistä huolimatta raporttiin merkattiin mahdollisia toimenpiteitä työnantajalle syystä, että valmistajan määrittelemiä varoituksia magneetikentistä ei tule ohittaa minkään paikan päällä toteutetun mittauksen perusteella.



KUVA 13 Kuorimon raudanerotusmagneetti liukuhihnan päällä. Mittausanturi 0,2 m päässä magneetista.

### 8.1.3 110-kilovoltin kenttä

Tehtaan alueelta löytyi tarkoin aidattu sähkökenttä, jonka yllä kulki 110-kilovoltin voimajohtoja ja josta syötettiin tehdasalueen sähköverkkoa. Alueelta, jossa voimajohdot kulkivat matalimmalla, suoritettiin pistemittauksia tasaisin välein suurimman kentänvoimakkuuden löytymiseksi. Pisteestä, josta mitattiin suurimmat kentänvoimakkuudet, toteutettiin 3-pistemittaus. 3-pistemittaus suoritettiin silkasta uteliaisuudesta, koska alueella havaittiin suuria sähkökenttiä. 3-pistemittaus pitää sisällään yksipistemittauksen (mittaus 1,0 m korkeudelta), jota yleensä käytetään pään yläpuolisten johtimien alla altistuksen määrittämiseen. Mittaustilanne on kuvattuna kuvassa 14.

Alueella mitattiin lähes 4 kV/m suuruisia sähkökenttiä 50 Hz taajuudelta. Vaikka tuo arvo ei ylittänyt yhdenkään tässä työssä vertailukohtena käytetyn direktiivin, standardin tai suositusten raja-arvoja, mittausraportissa suositeltiin työnantajaa kouluttamaan ja informoimaan työntekijöitä alueen suurista sähkökentistä, sekä ilmaisemaan ja rajaamaan aluetta sähkökentistä kyltein ja opastein.



KUVA 14 110-kilovoltin voimajohtoja anturin yläpuolella. Mittakorkeus on kuvan tilanteessa 1,5 m.

#### 8.1.4 Laakerin kuumennin

Tehtaan verstaalla sijaitsee liikuteltavan kokoinen, verkkovirralla toimiva laakerin kuumennin. Häiriöiden minimoimiseksi kuumennin tuotiin ulkopihalle puulavan päälle. Mittaukset suoritettiin 0,5 m ja 0,3 m etäisyydeltä laakerin tasolta (Kuva 15). Kuumennin on merkattu varoitustarroin valmistajan toimesta. Tarrat varoittavat sydämentahdistimen omaavia henkilöitä käyttämästä kyseistä laitetta.

Kuumentimesta mitattiin yli puolen milliteslan magneettikenttiä. Kyseinen kenttä ylittää standardin EN 50527-2-1 mukaiset raja-arvot, jotka voivat aiheuttaa sydämentahdistimiin häiriöitä. Lisäksi kentänvoimakkuus ylittää ICNIRP 2010 mukaiset suositusarvot väestön altistumiselle magneettikenttien osalta, mutta koska laite on tarkoitettu työperäiseen käyttöön, ylitys ei aiheuta toimenpiteitä ICNIRP:n suositusarvoihin viitaten. Raportissa ohjeistettiin työnantajaa huolehtimaan henkilöstön koulutuksesta ja informoinnista laitteen käytön osalta, sekä aluetta suositeltiin ilmaisemaan ja rajaamaan kyltein ja opastein. Laakerin kuumentimen käyttö tai laitteen läheisyydessä oleskelu henkilön toimesta, jolla on sydänimplantti, voi aiheuttaa kyseiselle henkilölle hengenvaaran.





KUVA 15 Laakerinkuumentimen mittaus 0,3 m päästä.

## 9 DOKUMENTOINTI

Työn viimeisessä vaiheessa mittaukselle laadittiin menetelmäohje. Menetelmäohje luotiin EMC-laboratorion ohjepohjalle, jolloin se mukailee laboratorion muita vastaavia dokumentteja. Laadittu dokumentti luovutettiin ainoastaan tilaajalle, eikä sitä julkaista tämän työn liitteissä. Mittausten toistettavuuden kannalta menetelmäohjeen luominen oli välttämätöntä. Menetelmäohjeen ideana on, että testaaja pystyy suorittamaan testin luettuaan mittaukseen liittyvät standardit ja direktiivit sekä menetelmäohjeen.

Käyttöön otetulle menetelmälle oli alun perin tarkoitus luoda myös raporttipohja ja mittauspöytäkirja. Pilottimittaus ja sen jälkeiset asiakastyönä suoritettavat mittaukset ovat kuitenkin osoittaneet, että valmiin raportointipohjan tai mittauspöytäkirjapohjan laadinta on äärimäisen vaikeaa. Mitattavat kohteet ja niiden ympäristöt vaihtelevat niin suuresti, että valmista yleispohjaa on lähes mahdotonta luoda. Sen sijaan tehdyille mittauksille on räätälöity kulloinkin oma tulospohja, joka perustuu mittaustarpeeseen ja mitattaviin kohteisiin. Tämän lisäksi raportointi on toteutettu mukailemalla edellisiä tämän palvelun raportteja. Näissä raporteissa yhteistä on yleensä ollut vain yleinen osio (asiakkaan ja mitaajan tiedot yms.) sekä laitteiston ja standardien sekä direktiivien esittely. Raportit ja mittauspöytäkirjat ovat kuitenkin noudattaneet standardin IEC 62110 määräytyksiä ja ohjeita. Mahdollisesti tulevaisuudessa, kun palvelulle on saatu useampia erilaisia mittauksia ja henkilöstön mittauskokemus on karttunut, voidaan mittauksien perusteella luoda erilaisia mittauspöytäkirja- ja raporttipohjia, jolloin mittauksien valmistelu ja raportointi helpottuu.

Työn aikana mittauspalvelulle laadittiin hinnasto. Hinnasto laadittiin kuitenkin hyvin pitkälti laboratorion kokeneemman henkilön toimesta, joka osasi suhteuttaa palvelun tuottamisen kulut ja katteet. Hinnastoa on päivitetty jälkeenpäin toteutettujen asiakastöiden ja tarjottujen tarjousten perusteella. Hinnasto on esitelty liitteessä 3: Palvelun hinnasto.

## 10 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli toteuttaa pientaajuisten sähkö- ja magneettikenttien mittauspalvelu lähes tyhjältä pohjalta. Aiheesta oli aikaisemmin toteutettu laboratoriolle selvitystyö opinnäytetyönä. Tämä työ piti sisällään laitehankinnan laitevertailuineen ja kilpailutuksineen, pilottimittaukset, mittauksista raportoinnin asiakkaalle ja sähkö- ja magneettikenttien mittaamisen menetelmäohjeen luomisen. Menetelmäohjeen tarkoitus oli olla riittävän tarkka, jotta laboratorion henkilökunnasta ensikertalaisenkin pystyisi toteuttamaan mittauksia ja hallitsisi mittalaitteiston toiminnot riittävältä osin. Standardien ja direktiivien mukaisten mittausmenetelmien hallinta vaatii kuitenkin mittaajalta kyseisten dokumenttien opiskelun.

Työ ajoittui pitkälle aikavälille monista syistä. Työ piti aloittaa jo opintojeni 3. lukuvuoden alussa, koska mittalaitteiston rahoitus ei ollut käytettävissä kuin tuona syksynä. Tämän jälkeen jouduttiin odottamaan kesään, jolloin oli mahdollista toteuttaa pilottimittauksia opinnoiltani. Näiden lisäksi työlle tuli haasteita aikataulujen suhteen työllistyttyäni EMC-laboratoriolle opintojeni ohelle, sekä henkilökohtaisista syistä johtuen.

Palvelulle saatiin hyvä pohja, jotta palvelua voidaan tarjota uusille asiakkaille. Sähkö- ja magneettikenttien mittaaminen häiriöisissä ympäristöissä on kuitenkin niin kattava aiheena, että palvelu jää kehitettäväksi tulevien mittauksien myötä. Asiakkaiden mittauskohteita ja tarpeita ei voida ennakoida, vaan palvelun kyselyiden myötä laboratorion henkilöstön tulee selvittää kulloinkin tapauskohtaiset mittausmenetelmät, standardit ja direktiivit.

Mitä tulee käytännön mittauksiin, huomasi pilottimittauksissa oivan seikan, jolla säästetään paljon aikaa mittaamisessa ja raportoinnissa. Kenttien kartoitusmittauksen kohteella voi mielestäni tehdä maalaisjärkeä käyttäen, kunhan vain mittaa alueen tarpeeksi tiiviisti ja sopivilta korkeuksilta, jotta voi mahdollisesti todeta kenttien pienuuden. Tämän myötä en näe tarvetta standardin mukaisiin, pitkiin ja moniosaisiin mittausmenetelmiin, jos kartoitusmittaus selvästi näyttää, että alueella ei löydy kuin pieniä, 1-2 % suuruisia kenttiä verraten raja-arvoihin. Tässäkin työssä käytetyt raja-arvot liikkuvat sähkökentissä kilovolteissa ja magneettikenttien osalta milli-Tesloissa. Mitattaessa esimerkiksi sähkölaitetta, jonka suojaus ja kotelointi on nykyaikainen ja turvallinen, mitatut kentät kartoittamalla laitteen ympäriltä eri etäisyyksiltä olivat luokkaa  $\pm 2$  V/m tai  $\pm 10$   $\mu$ T. Nämä kentät ovat niin kaukana raja-arvoista, että voidaan turvallisesti määrittää jo kartoitusmittauksen perusteella, ettei laitteen säteily ylitä raja-arvoja. Jos kenttiä on vähänkään havaittavissa ( $>20$  V/m tai  $>100$   $\mu$ T), on syytä toteuttaa standardien mittausmenetelmät altistumistason määrittämiseksi.

Työ oli juuri niin mielenkiintoinen kuin saatoinkin odottaa, mutta paljon haastavampi kuin olin kuvitellut. Henkilöstön ja väestön altistumisen mittauksien maailma on paljon kattavampi kuin saatoinkin aluksi ymmärtää. Työni toteutetun mittauspalvelun parissa jatkuu tämän opinnäytetyön jälkeenkin. Toimin mittauspalvelun vastaavana Savonia-ammattikorkeakoulun EMC-laboratoriolla.

## LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

- Cenelec. 2008.** *EN 50413 | Basic standard on measurement and calculation procedures for human exposure to electric, magnetic and electromagnetic fields (0 Hz - 300 GHz).* 2008.
- **2011.** *EN 50527-2-1 | Procedure for the assessment of the exposure to electromagnetic fields of workers bearing active implantable medical devices - Part 2-1: Specific assessment for workers with cardiac pacemakers.* 2011.
- 2013.** *Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2013/35/EU.* s.l. : Euroopan unionin virallinen lehti, 2013.
- ICNIRP. 2010.** *ICNIRP Guidelines for limitin exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz - 100 kHz).* s.l. : Health physics 99(6):818-836; 2010, 2010.
- International Electrotechnical Commission. 1998.** *IEC 61786 | Measurement of low-frequency magnetic and electric fields with regard to exposure of human beings – Special requirements for instruments and guidance for measurements.* 1998.
- **2009.** *IEC 62110 | Electric and magnetic field levels generated by AC power systems – Measurement procedures with regard to public exposure.* s.l. : IEC, 2009.
- Korpinen, Leena.** Sähkömagneettisten kenttien terveysvaikutukset | leenakorpinen.fi. [Online] [Viitattu: 1. 4 2018.]  
[http://www.leenakorpinen.fi/?q=vaasa\\_egirls/opiskele\\_omatoimisesti/sahkomagneettiset\\_kentat/kenntille\\_altistuminen/terveysvaikutukset](http://www.leenakorpinen.fi/?q=vaasa_egirls/opiskele_omatoimisesti/sahkomagneettiset_kentat/kenntille_altistuminen/terveysvaikutukset).
- Litmanen, Tapio;Kuustonen, Jaakko ja Jokela, Kari.** Sähkömagneettiset kentät terveysriskinä. *Sähkömagneettiset kentät.* s.l. : STUK.
- Narda STS.** *EF0691 datasheet.*
- *EHP-50F datasheet.*
- *NBM-550 datasheet.*
- Nyberg, Heidi ja Jokela, Kari.** Sähkömagneettiset kentät. s.l. : STUK, ss. 18 - 19.
- Puranen, Lauri. 2014.** *Teollisuuden sähkö- ja magneettikentät.* Jyväskylä : STUK, 2014.
- Savonia-ammattikorkeakoulu.** EMC. *Palvelut.* [Online] [Viitattu: 26. 2 2018.]  
<http://emc.savonia.fi/index.php/palvelut>.
- Sosiaali- ja terveysministeriö.** Sosiaali- ja terveysministeriön asetus... 294/2002 - Säädökset alkuperäisinä - FINLEX. [Online] [Viitattu: 18. 4 2018.]  
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2002/20020294>.
- Tiikkaja, Maria;ym. 2012.** *Sydämentahdistimen häiriötön toiminta työympäristön sähkömagneettisissa kentissä.* s.l. : Työterveyslaitos, 2012. s. 6.
- Toivo, Tim.** Ionisoimaton säteily - STUK. [Online] [Viitattu: 16. 4 2018.]  
<http://www.stuk.fi/aiheet/mita-sateily-on/ionisoimaton-sateily>.
- Wikipedia.** Electric field - Wikipedia. [Online] [https://en.wikipedia.org/wiki/Electric\\_field](https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_field).
- Electromagnetic field - Wikipedia. [Online] [https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic\\_field](https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_field).
- Extremely low frequency - Wikipedia. [Online] [https://en.wikipedia.org/wiki/Extremely\\_low\\_frequency](https://en.wikipedia.org/wiki/Extremely_low_frequency).
- Intermediate frequency - Wikipedia. [Online] [https://en.wikipedia.org/wiki/Intermediate\\_frequency](https://en.wikipedia.org/wiki/Intermediate_frequency).

- . Magneettikenttä - Wikipedia. [Online] [Viitattu: 8. 3 2018.]  
<https://fi.wikipedia.org/wiki/Magneettikentt%C3%A4>.
- . Magnetic field - Wikipedia. [Online] [https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetic\\_field](https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetic_field).
- . Sähkökenttä - Wikipedia. [Online] [Viitattu: 4. 3 2018.]  
<https://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4hk%C3%B6kentt%C3%A4>.
- . Sähkömagneettinen säteily - Wikipedia. [Online]  
[https://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4hk%C3%B6magneettinen\\_s%C3%A4teily](https://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4hk%C3%B6magneettinen_s%C3%A4teily).
- . Sähkömagnetismi - Wikipedia. [Online] [Viitattu: 4. 3 2018.]  
<https://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4hk%C3%B6magnetismi>.
- . Sähköliherkkyys - Wikipedia. [Online] [Viitattu: 7. 4 2018.]  
<https://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4hk%C3%B6yliherkkyys>.

## LIITE 1: HANKINNAN MITTALAITTEIDEN VERTAILUTAULUKKO

	NMB550+EHP50	SMP2	ESM-100
Mitat (mm)	45/98/280	100/215/40	365/83/56
Paino (g)	550	570	570
Toimintalämpötila	-10 /+50 °C	-10 /+50 °C	-20/+50 °
Ilmankosteus	5 % - 95 %	?	?
Käytönaikainen akunkesto	10 – 20 h	> 14 tuntia	>30 h
Taajuusalue	1 Hz - 400 kHz	1 Hz - 400 kHz	5 Hz - 400 kHz
Mittauksen akseli	3	3	3
Laajakaistainen	+	+	?
Suodattimia	?	-	+
Tehollisarvot	+	+	+
Huippuarvot	+	+	+
Altistumisen määrittäminen	+	+	?
Spektrianalyysi/taajuusalue	FFT/1 Hz - 400 kHz	FFT/1 Hz - 400 kHz	FFT/5 Hz - 400 kHz
Harmooniset/taajuusalue	?	-	?
Magneettikenttien laajuus	0,3nT – 10mT	250 nT - 2 mT	1nT – 20mT
Sähkökenttien laajuus	0,005V/m – 100kV/m	2,5 V/m - 20 kV/m	0,1 V/m – 100kV/m
Tallennusmahdollisuus	+	+	+
Liitännät	Optinen/USB	Optinen/Mini- USB	Optinen/USB
Standardin mukainen	ICNIRP 2010 / 1998, dir2013/35/EU	dir2013/35/EU	EN V50166, DIN VDE 0848
Mittaustarkkuus (E/H)	±5% / ±3%	?	±5%
GPS paikannus	+	+	+

Selitykset taulukon merkeille: "+" = ominaisuus löytyy, "-" = ominaisuutta ei ole saatavilla, "?" = ominaisuudelle ei löytynyt tietoja tarjousmateriaaleista.

## LIITE 2: MITTALAITTEISTON TARJOUSPYYNTÖ



26.10.2015

1 (4)

## Tarjouspyyntö: Työympäristöjen sähkö- ja magneettikenttien mittalaite

### 1 Hankintayksikkö

Savonia-ammattikorkeakoulu oy  
EMC-laboratorio  
PL 6 (Microkatu 1)  
70201 Kuopio  
Y-tunnus: 2629463-3

### 2 Yhteyshenkilö

Marko Sorsa. Email: marko.sorsa@savonia.fi  
Yhteydenotot vain sähköpostitse.

### 3 Hankinnan tunnus

Työympäristöjen sähkö- ja magneettikenttien mittalaite ja probe

### 4 Hankinnan kohde

Sähkö- ja magneettikenttien mittalaite direktiivin 2013/35/EU mukaisiin työpisteiden mittauksiin. Lisäksi pystyttävä mittaamaan standardin EN 50527-2-1 mukaiset sydämentahdistimen toimintaan vaikuttavat sähkö- ja magneettikentät.

Mittalaite ja pientaajuusalueen probe:

Ehdottomat kelpoisuusvaatimukset, joiden täytyminen on ilmoitettava tarjouksessa:

- Täytettävä direktiivin 2013/35/EU vaatimukset
- Taajuusalue: 1 Hz – 400 kHz (pientaajuusalue).
- Sähkökenttä: Vähintään 10kV/m saakka
- Magneettikenttä: Vähintään 0,5mT saakka
- GPS paikannus

**Mittalaitteen hinta ilmoitetaan ohjelmistoineen ja edellä mainitut vaatimukset täyttävine (lisä)varusteineen (ilman probea tai useampia probeja). Proben hinta on ilmoitettava aina erikseen.**

### 5 Tarjoajien ja tarjouksen kelpoisuuden arviointi

Tarjoajien ja tarjousten kelpoisuuden arvioinnin sekä tarjousten vertailun suorittaa arviointiryhmä, johon kuuluu vähintään laitteen loppukäyttäjä ja käyttöönottovaiheeseen liittyvän projektin rahoituksesta vastaava projektipäällikkö.

Ainoastaan ehdottomat kelpoisuusvaatimukset täyttävät tarjoukset hyväksytään tarjousten vertailuun (ehdottomat kelpoisuusvaatimukset esitetty kappaleessa 4):

Tarjoajien on esitettävä selvitys ehdottomien kelpoisuusvaatimusten täyttymisestä.

## 6 Tarjousten vertailu

Ehdottomat kelpoisuusvaatimukset täyttäneet tarjoajat ja tarjoukset otetaan mukaan tarjousten vertailuun.

Hankintapäätös tehdään kokonaistaloudellisesti edullisimman tarjouksen mukaan. Kokonaistaloudellisesti edullisimmaksi valitaan parhaat kokonaispisteet saanut tarjous. Tarjousten vertailu tehdään seuraavien ja valintakriteerien mukaisesti.

### 1. 30 pistettä: **Tekniset ominaisuudet**

Teknisten ominaisuuksien osalta arvioidaan seuraavat kohdat:

- Laitteessa valmiina olevat vaatimusstandardit (mihin eri tarkoituksiin laite soveltuu)
- Taajuusalue
- Sähkökentän ja magneettikentän voimakkuuden mittausalueet
- **Sähkökentän ja magneettikentän mittatarkkuus taajuusalueilla 1 Hz – 400 kHz**

Kaikissa yllä mainitussa kriteerissä parhaaksi arvioitu saa 30 pistettä, seuraava 15 ja loput 0.

### 2. 20 pistettä: **Päivitettävyysominaisuudet**

Päivitettävyysominaisuuksien osalta arvioidaan seuraavat kohdat:

- Laiteohjelmiston päivitysmahdollisuus (kyllä/ei)
- Onko mahdollista päivittää laiteohjelmistossa vaatimusstandardeja mitä vasten laite vertaa tuloksia?

Kaikissa yllä mainitussa kriteerissä parhaaksi arvioitu saa 20 pistettä, seuraava 10 ja loput 0.

### 3. 10 pistettä: **Mahdollisuus käyttää korkean taajuuden probeja**

Mikäli mittalaitteeseen saa laajennusprobeja, joissa on mukana korkea taajuusalue sähkökentälle (400 kHz – 18 GHz) sekä magneettikentälle (400kHz - 20MHz), vertailtava kohde saa 10 pistettä. Mikäli korkean taajuusalueen probea ei voida liittää mittalaitteeseen, vertailtava kohde saa 0 pistettä.

### 4. 40 pistettä: **Mittalaitteen hinta (ilman proben hintaa).**

**Hintavertailussa käytetään ainoastaan mittalaitteen hintaa ohjelmistoiheen ja muine tarvikkeineen ilman probea tai useampia probeja** (proben hintaa ei huomioida). Kokonaishinnaltaan edullisimman tarjouksen jättänyt tarjoaja saa 40 pistettä ja seuraavat saavat pisteet samassa suhteessa kuin tarjoushinta on suhteessa halvimpaan tarjoukseen. Laskukaava pisteytyksessä on siis: 40pistettä x [halvin tarjous euroina / tarjous euroina].

Hankintayksikkö pidättää oikeuden selvittää tarjoajan taloudellista tilannetta luottotietorekisterin avulla. Hankintayksikkö pidättää oikeuden olla hyväksymättä tarjoajaa, jonka luottotiedot eivät ole kunnossa.



## 7 Tarjouksen sisältö

Tarjouksista on käytävä ilmi edellä mainitut tarjousta koskevat ehdottomat kelpoisuusvaatimukset, laitteisto-ohjelmiston päivitettävyyssominaisuudet ja onko laitteeseen saatavana korkean taajuuden probeja. Näiden lisäksi tarjouksessa on ilmoitettava seuraavat seikat:

- \* tarjoajan nimi, yhteystiedot ja y-tunnus
- \* lisätietoja antavan henkilön yhteystiedot (puhelinnumero, sähköpostiosoite)
- \* takuu aika
- \* toimitusaika
- \* toimitusehdot
- \* muut sopimusehdot
- \* maksuehdot

## 8 Tarjousten jättäminen ja tarjousten esittelytilaisuus

Tarjoukset jätetään kirjallisesti (kirjekuoressa tai sähköpostitse).

Kirjalliset tarjoukset toimitetaan vaihtoehtoisesti:

1) Suljetussa kirjekuoressa kahtena kappaleena 6.11.2015 klo 14.00 mennessä osoitteeseen:  
Savonia-ammattikorkeakoulu Oy  
PL 6 (Microkatu 1)  
70201 Kuopio  
Kuoreen merkintä "Tarjous – Työympäristöjen sähkö- ja magneettikenttien mittalaite"

2) tai sähköpostilla erillisenä pdf-liitetiedostona 6.11.2015 klo 14:00 mennessä osoitteeseen:  
[savonia@savonia.fi](mailto:savonia@savonia.fi)

Viestin otsikkona käytetään "Tarjous – työympäristöjen sähkö- ja magneettikenttien mittalaite".

Liitemateriaali tulee toimittaa hakemuksen mukana.

Tarjousasiakirjoihin mahdollisesti liittyvät liikesalaisuudet tulee kuvata ja merkitä. Hankintayksikkö päättää julkaistavista tiedoista hankinta- ja julkisuuslain mukaisesti.

## 9 Tarjousten käsittely

Pyynnön mukaisesti toimitetut tarjoukset avataan ja käsitellään määräajan päätyttyä arviointiryhmän kokouksessa.

Myöhästyneitä tarjouksia ei käsitellä.

Tarjouspyyntöä vastaamattomat tarjoukset tai puutteelliset tarjoukset voidaan hylätä.

Osatarjouksia ja vaihtoehtoisia tarjouksia ei hyväksytä.

Hankintayksikkö pidättää oikeuden hylätä kaikki tarjoukset.

## 10 Lisätiedot

Tarjouspyyntöön liittyvät lisäkysymykset on esitettävä sähköpostitse 4.11.2015 mennessä Savonia-ammattikorkeakoulun yhteyshenkilöille. Lisäkysymykset ja vastaukset välitetään kaikille tarjouksen jättäneille tahoille tiedoksi.

**11 Tarjousten voimassaoloaika**

Tarjousten tulee olla voimassa 2 kk jättöpäivästä

**12 Muut ehdot**

Hankinnassa noudatetaan julkisten hankintojen yleisiä sopimusehtoja, KT:n yleisiä sopimusehtoja ja lakia julkisista hankinnoista. Niiden mukaisesti ostaja ei ole velvollinen hyväksymään mitään tarjousta. Tarjouspyynnöstä poikkeavat tai puutteelliset tarjoukset voidaan hylätä.

---

Marko Sorsa  
Testausinsinööri, EMC-laboratorio

## LIITE 3: PALVELUN HINNASTO

**Sähkö- ja magneettikenttien mittauspalvelun hinnasto**

(voimassa 1.1.2018 – 30.6.2018)

Palvelu	Hinta (Alv 0 %)	Tyypillinen aika-arvio
Mittauskohteiden kartoitus *	97 €/h	1 – 8 h riippuen laitoksen koosta ja mittauskohteiden määrästä
Kohteiden mittaus **	145 €/h	1 – 2 h / kohde
Tulosten raportointi - Perusmaksu - Mittauskohteet - Mittauspisteet	160 €/raportti 75 €/mittauskohde 30 €/mittauspiste	-
Tulosraportin toimitus - Sähköinen PDF-versio - Paperiversio ***	0 €/raportti 93 €/raportti	-
Siirtymäaikojen työveloitus	97 €/h	Lasketaan osoitteesta Microkatu 1, Kuopio
Matka- ja majoituskulut	42 snt/km + majoitus toteutuneen mukaan	Lasketaan osoitteesta Microkatu 1, Kuopio

\* kartoitusta voidaan toteuttaa asiakkaan toimittaman materiaalin ja/tai asiakkaan tiloissa toteutetun kartoituskäynnin perusteella

\*\* mittaus koostuu mitattavasta kohteesta (esim. sähkömoottori), johon kuuluu kohteen sähkö- ja magneettikenttien kartoitus tarvittavalla määrällä mittauspisteitä (mahdolliset altistumisalueet kohteen ympärillä)

\*\*\* tulostus, kansitus ja lähetys