



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

VOIMAJOHTOJEN SÄHKÖ- JA MAGNEETTIKENTÄT

TEKIJÄ: Teemu Aho

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Teemu Aho	
Työn nimi Voimajohtojen sähkö- ja magneettikentät	
Päiväys 27.2.2018	Sivumäärä/Liitteet 40/1
Ohjaaja(t) Juhani Rouvali ja Timo Savallampi	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Mittaustek Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön aiheena oli luoda Mittaustek Oy:n käyttöön uusi voimajohtojen sähkö- ja magneettikenttien mittaustulospalvelu. Palvelun oli tarkoitus sisältää mittauksen suunniteluvaihe, käytännön mittaus ja mittaustulosten raportointi. Lisäksi tavoitteena oli mitata muutamilla voimajohdoilla esiintyviä sähkö- ja magneettikenttiä sekä verrata saatuja mittaustuloksia direktiivin 2013/35/EU, joka on valtioneuvoston asetuksella 388/2016 voimaansaadettu, ja Sosiaali- ja Terveysministeriön asetuksessa 294/2002 esitettyihin raja-arvoihin.</p> <p>Työssä perehdyttiin standardiin IEC 62110, jossa on esitetty tavat sähkö- ja magneettikenttien mittaamiseen. Standardin pohjalta opinnäytetyössä suoritettiin käytännön mittauksia magneettikenttien osalta neljällä eri 110 kV:n voimajohto-osuudella. Direktiivi 2013/35/EU sisältää toimenpidetasot ja raja-arvot, jotka rajoittavat työntekijöiden altistumista sähkö- ja magneettikentille. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus 294/2002 määrittelee raja-arvot näille kentille altistumiselle väestön osalta. Työssä suoritettujen käytännön mittausten tuloksia verrattiin määriteltyihin raja-arvoihin työntekijöiden ja väestön osalta. Sähkökenttien osalta käytettiin vanhoja mittaustuloksia ja verrattiin niitä määriteltyihin raja-arvoihin.</p> <p>Yritykselle saatiin luotua mittaustulospalvelu aina suunnitelmasta standardin IEC 62110 mukaiseen mittaukseen ja raportointiin asti.</p>	
Avainsanat Voimajohto, Magneettikenttä, Sähkökenttä, IEC 62110, Asetus 388/2016, 2013/EU/35, Mittaustulospalvelu	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Teemu Aho			
Title of Thesis Electric and Magnetic Fields of Power Lines			
Date	27 February 2018	Pages/Appendices	40/1
Supervisor(s) Mr. Juhani Rouvali, Principal Lecturer and Mr. Timo Savallampi, Senior Lecturer			
Client Organisation /Partners Mittaustek Oy			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to create a new electric and magnetic field measurement service for Mittaustek Oy. It was supposed to include the planning, measuring and reporting of measurement results. Moreover, the purpose was to measure the electrical and magnetic fields of transmission lines and compare those results to the limits value in Directive 2013/35/EU which has been enacted by the regulation of government 388/2016 and regulation of the Department of Health and Human Services 294/2002.</p> <p>In this thesis, the standard IEC 62110 which contains the methods for measuring electric and magnetic fields was acquainted with. Based on the standard, practical measurements were made in four different 110 kV transmission lines in accordance with the standard IEC 62110. Directive 2013/35/EU contains regulations and thresholds that limits employee exposure to electrical and magnetic fields. Regulation 294/2002 of the Department of Health and Human Services defines limit values for exposure to these fields for the population. The results of the measurements were compared to limit values for the population and employees. As regards electric fields, old measurement results were used and compared to limit values.</p> <p>As a result of this thesis, a measurement service was created for the company. It includes planning, measuring and reporting according to the standard IEC 62110.</p>			
<p>Keywords Power line, Magnetic field, Electric field, IEC 62110, Measurement service, 2013/EU/35, Regulation 388/2016</p>			

ESIPUHE

Opinnäytetyöstäni haluan kiittää Mittaustek Oy:n Heikki Sorria omasta panostuksestaan sekä Savonia-ammattikorkeakoulun yliopettajaa Juhani Rouvalia työn ohjaamisesta. Lisäksi kiitokset kuuluvat Mittaustek Oy:n Esa Paukkuselle opinnäytetyön aiheesta ja panostuksestaan työni valmistumisessa. Toivon, että yritys hyöttyy työssäni valmistuneesta mittauspalvelusta.

Helsingissä 27.2.2018,

Teemu Aho

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
1.1	Mittaustek Oy	6
2	ASETUKSET	7
2.1	Työntekijöiden altistuminen	7
2.2	Väestön altistuminen	9
2.3	Toimenpiteet	10
3	VOIMAJOHDOT	11
3.1	Voimajohtopylväät	13
3.2	Mitattuja sähkö- ja magneettikenttiä	14
4	SÄHKÖKENTÄT	16
4.1	Sähkökentät voimajohdoilla	17
5	MAGNEETTIKENTÄT	18
5.1	Magneettikenttä kolmivaihejärjestelmässä	19
5.2	Magneettikentät voimajohdoilla	20
6	SÄHKÖ- JA MAGNEETTIKENTTIEN MITTAUKSET	22
6.1	Magneettikenttä mittaus	23
6.2	Sähkökenttien mittaus	24
6.3	Mittaukset voimajohtojen alla	25
6.4	Mittaustulosten analyysi	28
7	YLIAALLOT JA VAIMENEMINEN	30
8	MITTAUSPALVELU	31
8.1	Mittaus	31
8.2	Esimerkit sähkö- ja magneettikenttämittausten pöytäkirjoista	32
9	YHTEENVETO	34
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	35
	LIITE 1: MITTAUSRAPORTTI	37

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tuottaa Mittaustek Oy:lle uusi mittauspalvelu liittyen voimajohtojen sähkö- ja magneettikenttiin. Heinäkuussa 2016 on astunut voimaan valtioneuvoston asetus (388/2016) työntekijöiden suojelemiseksi sähkö- ja magneettikentille. Lakiuudistuksen myötä on määritetty toimenpidetasot, jotka on otettava huomioon töissä, joissa voi mahdollisesti esiintyä sähkö- ja magneettikenttiä. Käytännön tasolla tämä johtaa viime kädessä mittauksiin, joilla voidaan varmuudella todeta muodostuvien sähkö- ja magneettikenttien todelliset arvot, verrata niitä määriteltyihin toimenpidetasoihin sekä suorittaa mahdollisesti aiheutuvat jatkotoimenpiteet.

Koska pääasiallinen tarkoitus on saada aikaan uusi toimiva mittauspalvelu yritykselle, tässä työssä tullaan käsittelemään mittaukseen liittyvä suunnitteluvaihe, standardin vaatimat menetelmät sähkö- ja magneettikenttien mittaamiseksi, mittaustulokset ja niiden käsittely sekä raportointi asiakkaalle. Työssä suoritetaan muutamalla eri voimajohto-osuudella magneettikenttien mittaus sekä tulosten raportointi.

1.1 Mittaustek Oy

Mittaustek Oy on vuonna 2014 perustettu mittaus- ja asiantuntijapalveluja tarjoava yritys. Erikoisosaaminen kohdistuu maadoitusjärjestelmiin ja yrityksen asiakkaita ovat energialaitokset, verkkoyhtiöt, teollisuus ja urakoitsijat. Mittaustek Oy tarjoaa tällä hetkellä asiakkailleen monipuolisesti mittauksia maadoituksiin liittyen. Palveluihin kuuluvat maadoitusimpedanssi-, maadoitusresistanssi-, maadoitusten eheys-, maaperän ominaisresistanssi-, kosketusjännite-, reduktiokertoimien ja johtosuureiden mittaukset, mittamuuntajien testaukset sekä asiantuntijapalveluita maadoitusasioissa ja vaarajänniteselvityksiä. Uutena palveluna kesällä 2017 aloitettiin sähkö- ja magneettikenttien mittaus- ja selvityspalvelu. (Mittaustek 2017.)

Mittaustek Oy hyödyntää vuonna 2008 perustetun sähkö- ja sähköasemasuunnittelun insinööritoimiston Sähköastek Oy:n ammattitaitoa sekä kokemusta ja nämä kaksi yritystä tekevät tiivistä yhteistyötä mittausten suunnittelun, toteuttamisen sekä raportoinnin osalta. Yrityksen pääpaikkana toimii Pori, mutta yritys suorittaa mittauksia ympäri Suomea. (Mittaustek 2017.)

Sähköastek Oy on osaltaan tärkeässä roolissa Mittaustek Oy:n perustamisessa, koska yrityksen toiminnan aikana ilmeni tarve maadoitusmittauksille, jolloin perustettiin näitä palveluja tarjoava oma yritys Mittaustek Oy. (Mittaustek 2017.)

2 ASETUKSET

Tämän työn kannalta tärkeä asetus on 388/2016, joka on työntekijöiden suojelemiseksi sähkömagneettisilta kentiltä. Kentille on määritelty toimenpidetasot, joiden ylittyessä työnantajan tulee laatia toimenpidesuunnitelma. Sähkömagneettisten kenttien arvot voidaan teoreettisesti mallintaa myös laskennallisesti, mutta mittaamalla saadaan luotettava tulos kohteessa olevien kenttien todellisista arvoista.

Valtioneuvoston asetuksella (388/2016) on voimaansaattettu Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (2013/EU/35). Samalla on kumottu suurtaajuuslaitteista ja niiden tarkastuksesta annettu valtioneuvoston päätös (473/1985). Asetus on työntekijöiden suojelemiseksi sähkömagneettisten kenttien vaikutuksilta, kun taas väestön altistumiselta on Sosiaali- ja terveysministeriön asetus (294/2002) ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistumisen rajoittamisesta. (Valtioneuvoston asetus... 2002); (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus... 2016.)

2.1 Työntekijöiden altistuminen

Valtioneuvoston asetus (388/2016) on säädetty työntekijöiden suojelemiseksi sähkömagneettisista kentistä aiheutuvilta vaaroilta. Valtioneuvoston päätöksen mukaisesti säädetään työturvallisuuslain (738/2002) nojalla. Tätä asetusta sovelletaan työhön, jossa työntekijät altistuvat tai saattavat altistua tunnetuille sähkömagneettisten kenttien lyhytaikaisille, suorille biofysikaalisille tai epäsuorille vaikutuksille. Tätä asetusta ei sovelleta mahdollisiin pitkäaikaisvaikutuksiin eikä vaikutuksiin, jotka aiheutuvat kontaktista jännitteisiin johtimiin. Tässä asetuksessa tarkoitetaan sähkömagneettisilla kentillä staattisia sähkökenttiä, staattisia magneettikenttiä ja ajallisesti vaihtelevia sähkökenttiä, magneettikenttiä ja sähkömagneettisia aaltoja, joiden taajuus on enintään 300 GHz. (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus... 2016.)

Asetuksessa (388/2016) on määritetty työntekijöille terveysvaikutusraja-arvot, aistimusraja-arvot sekä toimenpidetasot. Alla olevissa taulukoissa 1-5 on esitetty nämä määritetyt raja-arvot.

TAULUKKO 1. Altistumisraja-arvot ulkoisen magneettivuon tiheydelle (B_0) taajuusalueella 0–1 Hz. (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus... 2016.)

Altistumisraja-arvot ulkoisen magneettivuon tiheydelle (B_0) taajuusalueella 0–1 Hz	
	Aistimusraja-arvot
Tavanomaiset työolosuhteet	2 T
Paikallinen raajojen altistuminen	8 T
	Terveysvaikutusraja-arvot
Valvotut työolosuhteet	8 T
Terveysvaikutusraja-arvot, sisäisen sähkökentän voimakkuus 1 Hz–10 MHz	

TAULUKKO 2. Terveysvaikutusraja-arvot. (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus... 2016.)

Taajuusalue	Terveysvaikutusraja-arvot
$1 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$1,1 \text{ Vm}^{-1}$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$3,8 \times 10^{-4} f \text{ Vm}^{-1}$

Terveysvaikutusraja-arvot (huippuarvot), sisäisen sähkökentän voimakkuus 1 Hz–10 MHz

TAULUKKO 3. Aistimusraja-arvot. (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus... 2016.)

Taajuusalue	Aistimusraja-arvot
$1 \text{ Hz} \leq f < 10 \text{ Hz}$	$0,7 / f \text{ Vm}^{-1}$
$10 \text{ Hz} \leq f < 25 \text{ Hz}$	$0,07 \text{ Vm}^{-1}$
$25 \text{ Hz} \leq f \leq 400 \text{ Hz}$	$0,0028 f \text{ Vm}^{-1}$

Aistimusraja-arvot (huippuarvot), sisäisen sähkökentän voimakkuus 1–400 Hz

TAULUKKO 4. Sähkökentille altistumista koskevat toimenpidetasot. (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus... 2016.)

Taajuusalue	Sähkökentän voimakkuus	
	Matala toimenpidetaso (E) [Vm^{-1}] (RMS)	Korkea toimenpidetaso (E) [Vm^{-1}] (RMS)
$1 \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^4$	$2,0 \times 10^4$
$25 \leq f < 50 \text{ Hz}$	$5,0 \times 10^5 / f$	$2,0 \times 10^4$
$50 \text{ Hz} \leq f < 1,64 \text{ kHz}$	$5,0 \times 10^5 / f$	$1,0 \times 10^6 / f$
$1,64 \leq f < 3 \text{ kHz}$	$5,0 \times 10^5 / f$	$6,1 \times 10^2$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$1,7 \times 10^2$	$6,1 \times 10^2$

Sähkökentille altistumista koskevat toimenpidetasot taajuusalueella 1 Hz–10 MHz

TAULUKKO 5. Magneettikentille altistumista koskevat toimenpidetasot. (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus... 2016.)

Taajuusalue	Magneettivuon tiheys Matala toimenpidetaso (B) [μT] (RMS)	Magneettivuon tiheys Korkea toimenpidetaso (B) [μT] (RMS)	Magneettivuon tiheys Toimenpidetaso: raajojen altistuminen paikalliselle magneettikentälle [μT] (RMS)
$1 \leq f < 8 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^5 / f^2$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$8 \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,5 \times 10^4 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$25 \leq f < 300 \text{ Hz}$	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$300 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$3,0 \times 10^5 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^2$

Magneettikentille altistumista koskevat toimenpidetasot taajuusalueella 1 Hz–10 MHz

2.2 Väestön altistuminen

Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa (294/2002) vahvistetaan ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistumisen rajoittamisesta. Alla olevissa taulukoissa 6-8 on esitetty väestöä koskevat suositusarvot.

TAULUKKO 6. Staattisen magneettikentän vuontiheyden suositusarvo. (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus... 2016.)

Altistuminen	Magneettivuon tiheys
Koko keho (jatkuva)	40 mT
Staattisen magneettikentän (0 Hz) vuontiheyden suositusarvo.	

TAULUKKO 7. Sähkö- ja magneettikenttien aiheuttama virrantiheyden suositusarvot. (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus... 2016.)

Taajuusalue	Virrantiheys (pää ja vartalo mA/m ²)
- 1 Hz	8
1 Hz – 4 Hz	8/f
4 Hz – 1 kHz	2
1 kHz – 100 kHz	f/500
Enintään 100 kHz sähkö- ja magneettikentät. Sähkö- ja magneettikenttien aiheuttaman kehoon indusoituvan virrantiheyden tehollisarvon suositusarvot	

TAULUKKO 8. Suositusarvot sähkö- ja magneettikenttien voimakkuuksien tehollisarvoille. (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus... 2016.)

Taajuusalue	Sähkökentänvoimakkuus (V/m)	Magneettikentänvoimakkuus (A/m)	Magneettivuontiheys (μT)
- 1 Hz		$3,2 \times 10^4$	$4,0 \times 10^4$
1 – 8 Hz	10 000	$3,2 \times 10^4/f^2$	$4,0 \times 10^4/f^2$
8 – 25 Hz	10 000	4000/f	5000/f
0,025–0,8 kHz	$250 \times 10^3/f$	4000/f	5000/f
0,8-3 kHz	$250 \times 10^3/f$	5	6,25
3-100 kHz	87	5	6,25
Enintään 100 kHz sähkö- ja magneettikentät. Suositusarvot sähkö- ja magneettikenttien voimakkuuksien tehollisarvoille.			

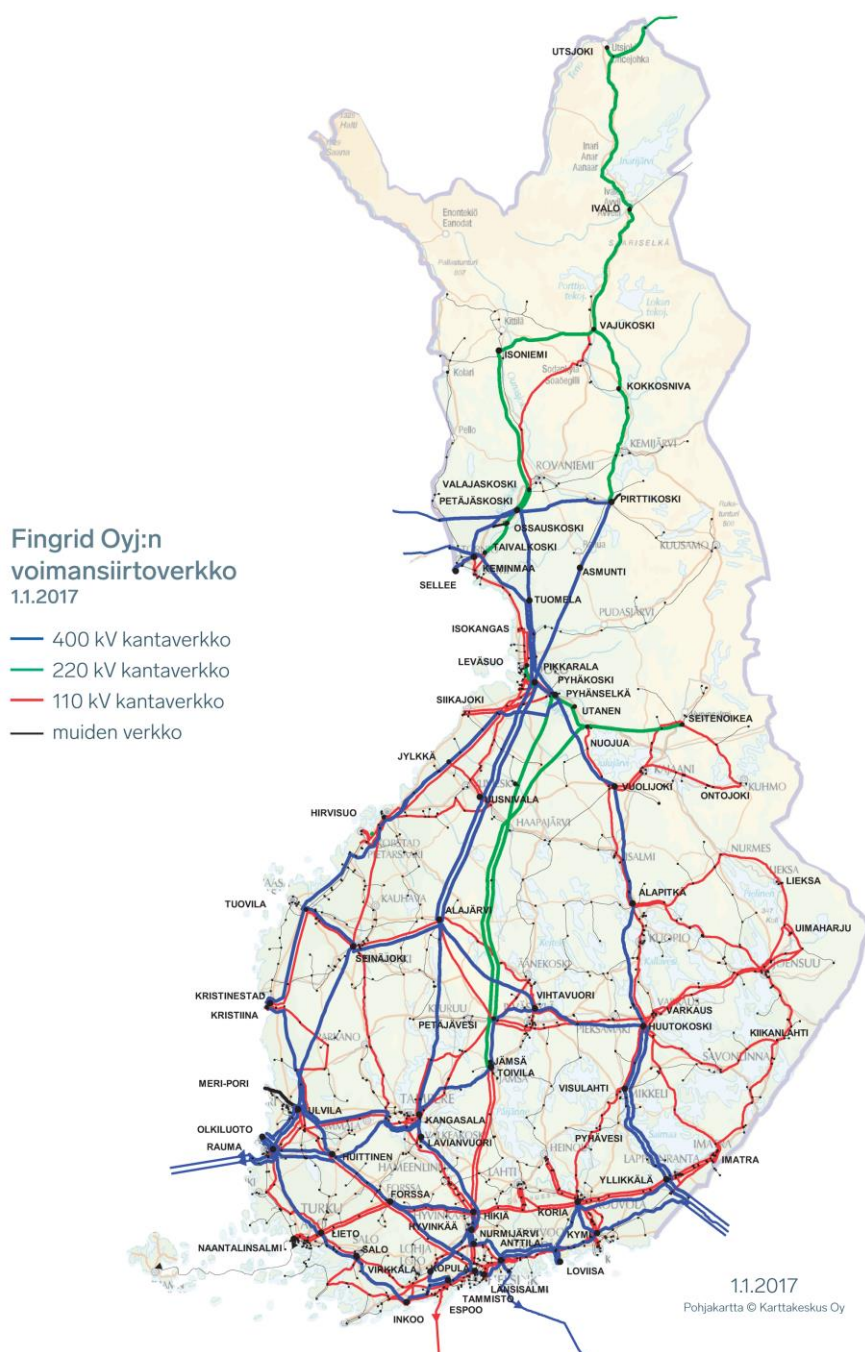
2.3 Toimenpiteet

Jos säädetyt toimenpidetasot ylittyvät, työnantajan on laadittava ja toteutettava vaarojen arvioinnin perusteella suunnitelma terveysvaikutusraja-arvot ja aistimusraja-arvot ylittävän altistumisen estämiseksi (toimintasuunnitelma). Toimintasuunnitelmaa ei tarvitse laatia, mikäli vaarojen arvioinnin tulos osoittaa, että altistusraja-arvot eivät ylity ja että kentästä ei aiheudu vaaraa työntekijöiden turvallisuudelle. Asetuksessa on määritetty toimintasuunnitelman sisältö. (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus... 2016.)

Taulukoiden 4 ja 5 sähkö- sekä magneettikentille altistumisen matalat ja korkeat toimenpidetasot ovat tehollisarvoja (RMS) ja ne soveltuvat sinimuotoisille kentille. Näiden taulukoiden mukaan 50 Hz taajuudella sähkökentillä matala toimenpidetaso on 10 kV/m ja korkea toimenpidetaso on 20 kV/m sekä magneettikentillä matala toimenpidetaso on 1000 μ T ja korkea toimenpidetaso on 6000 μ T.

3 VOIMAJOHDOT

Suomessa sähkövoimajärjestelmä koostuu sähköä tuottavista voimalaitoksista, kantaverkosta sekä jakeluverkoista ja sähkön kuluttajista. Voimajärjestelmään kuuluu osaksi Ruotsin, Norjan, Itä-Tanskan järjestelmät sekä Venäjän ja Viron tasasähköyhteydet. Suomessa Fingrid Oyj omistaa kantaverkon ja muun muassa vastaa sen toiminnasta, luotettavuudesta, kehittämisestä, valvonnasta, ylläpidosta ja rakentamisesta. Kantaverkkoon on liitetty voimalaitokset, tehtaat ja jakeluverkot eli kantaverkko toimii sähkönsiirron selkärankana, jolla saadaan siirrettyä sähköä kuluttajille. (Fingrid Oyj 2017.)



KUVA 1. Voimansiirtoverkko. (Fingrid Oyj 2017.)

Kantaverkkoyhtiö Fingrid omistaa voimajohtoa taulukon 9 mukaisesti.

TAULUKKO 9. Kantaverkkoon kuuluvat voimajohdot. (Fingrid Oyj 2017.)

Jännitetaso [kV]	Määrä [km]
400	4600
220	2200
110	7600

Eri jakeluverkkoyhtiöiden omistamaa voimajohtoa on Suomessa taulukon 10 mukaisesti.

TAULUKKO 10. Jakeluverkkoyhtiöiden verkkopituus. (Energiavirasto 2015.)

Jännitetaso [kV]	Määrä [km]
110	7030
1-70	143111
0,4	241989

Taulukossa 10 esitetyt jakeluverkkoyhtiöiden verkkopituudet sisältävät myös maapelaitujen johtosuukien pituudet. Energiaviraston Sähköverkkotoiminnan tekniset tunnusluvut vuodelta 2015 - julkaisussa on ilmoitettu maapelaituksen osuudet prosentteina, joiden perusteella 110 kV:n maapelaitusta on 233 kilometriä. Tällöin avojohtojen osuus jakeluverkkoyhtiöillä jännitetasolla 110 kV on 6797 kilometriä.

TAULUKKO 11. Suurjännitteiset jakeluverkot. (Energiavirasto 2015.)

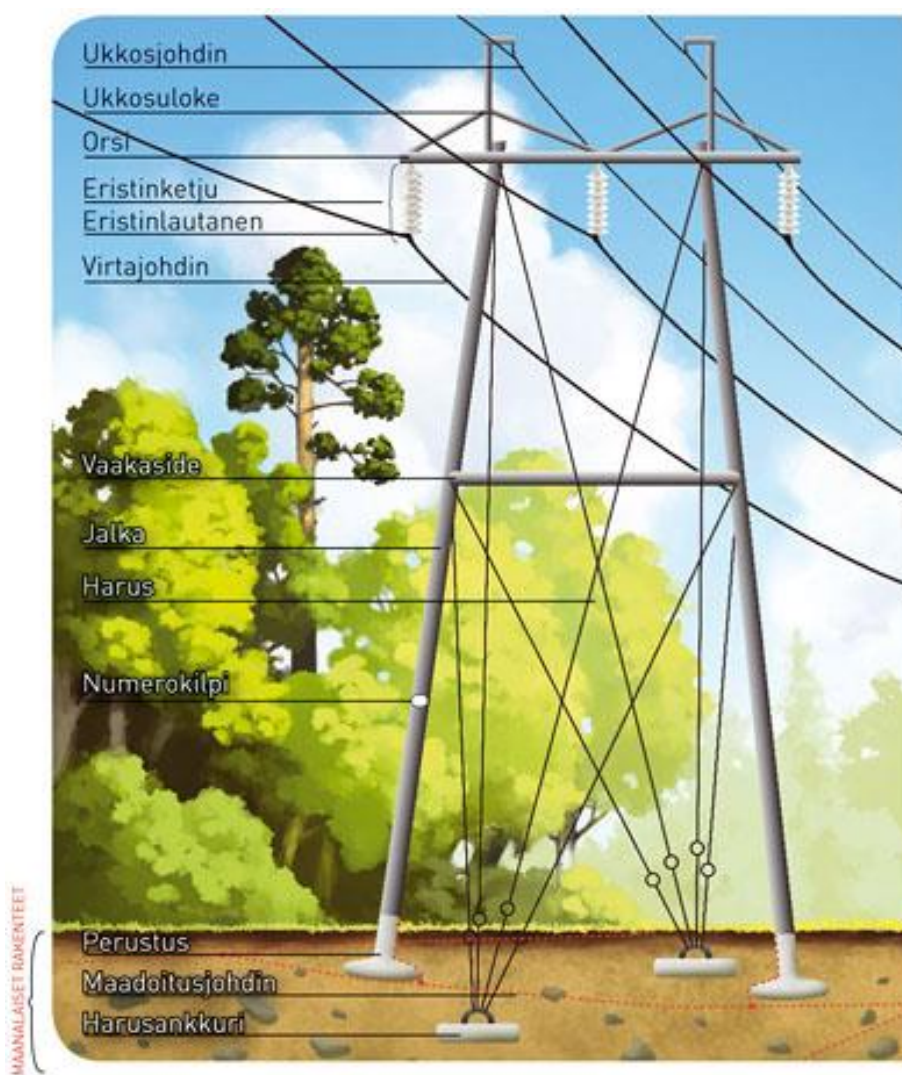
Jännitetaso [kV]	Määrä [km]
400	37
220	0
110	1649

Voimajohtoista suurin osa on avojohtoja eli johdot kulkevat ilmateitse ja ne on ripustettu voimajohtopylväiden varaan. Koska näillä johdoilla siirretään sähköenergiaa, ne myös saavat aikaan sähkö- ja magneettikenttiä ympärilleen.

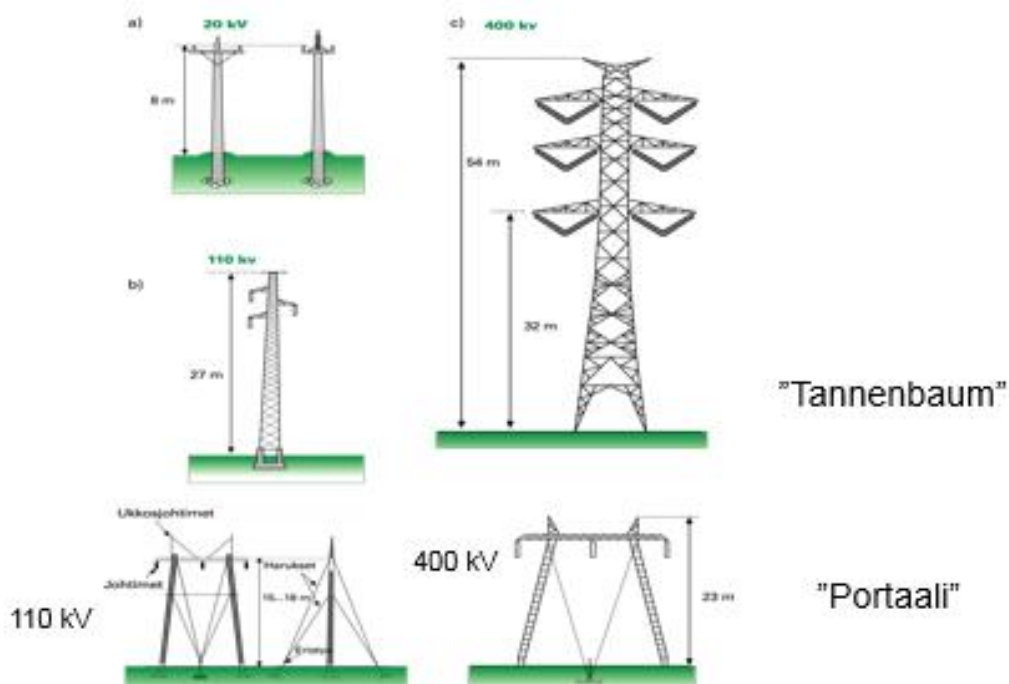
3.1 Voimajohtopylväät

Suomessa yleisin voimajohtopylvään tyyppi on harustettu portaalipylväs, joka on esitetty kuvassa 2. Pylväessä kulkee kolme virtajohdinta ja näiden johtimien yläpuolella kulkee kaksi ukkosjohdinta, jotka toimivat suojauksena esimerkiksi salaman iskiessä. Pylväiden koko, eristinlautasten määrä ja materiaali riippuvat jännitetasosta. Eristinlautasia on sitä enemmän, mitä suurempi jännite on, kuten myös pylvään kokokin kasvaa jännitetason kasvaessa. Eristinlautaset toimivat kipinävälisuojana ja niiden määrä vaihtelee 110 kV:n kuudesta – kahdeksasta lautasesta aina 400 kV:n 18–21 lautaseen määrään. 220 kV:n eristinlautasten määrä on 10–12 lautasta. 20 kV:n ja harvinaisemman 45 kV:n jännitetasolla johdot tuetaan pylväessä oleviin kiinteisiin eristimiin. (STUK 2011.)

400 kV:n voimajohtopylväät ovat materiaaliltaan aina teräksisiä, kuten myös 220 kV:n pylväät, mutta 110 kV:n pylväät ovat usein puisia, kuten myös 45 kV:n ja 20 kV:n pylväät. (STUK 2011.)



KUVA 2. Voimajohtopylvään pääosat. (Fingrid Oyj 2017.)



KUVA 3. Tyypillisiä voimajohtopylväitä. (STUK 2013.)

3.2 Mitattuja sähkö- ja magneettikenttiä

Taulukoissa 12 ja 13 on esitetty mitattuja sähkö- ja magneettikenttiä. Tuloksista nähdään, että mitatut arvot eivät ylitä magneettikentillä eivätkä sähkökentillä määriteltyjä toimenpidetasoja. Sähkökenttämittaukset ovat suoritettu 400 kV:n voimajohdon alla ja se on käytännössä suurin Suomessa käytetty jännite sähkönsiirrossa. Fenno-Skan tasasähköyhteys on toteutettu 500 kV:n jännitteellä Suomen ja Ruotsin välille. Suurin osa tästä on merikaapelia, mutta Rauman ja Rihniemen välillä on 33 kilometrin mittainen ilmajohto-osuus (Fingrid).

TAULUKKO 12. Mitattuja magneettikenttiä. (STUK 2011.)

Johdon tyyppi	Magneettivuontitiheyden maksimi johdon alla	Etäisyys, jolla magneettivuon tiheys on todennäköisesti aina alle 1 μT	Etäisyys, jolla magneettivuon tiheys on todennäköisesti aina alle 0,4 μT
400 kV harustettu portaalipylväs	22 μT	70 m	100 m
400 kV kaksoisjohtopylväs	10 μT	50 m	100 m
220 kV harustettu portaalipylväs	8 μT	40 m	50 m
110 kV harustettu portaalipylväs	12 μT	25 m	40 m
110 kV kaksoisjohtopylväs	7 μT	25 m	40 m

TAULUKKO 13. Mitattuja sähkökenttiä. (Suojanen, Vehmaskoski ja Korpinen 2000.)

Mittaus/Pylväs- väli	$E_{k,max}$ [kV/m]	$E_{s,max}$ [kV/m]	Jännitteen kes- kiarvo [kV]	Vaihejohtimien korkeudet ja kes- kiarvo [m]
T1/V1	4,7	4,7	400,5	14,1; 13,8; 13,7; 13,9
T2/V2	5,2	4,6	400,8	14,1; 13,8; 13,3; 13,8
T3/V3	4,4	4,4	399	14,9; 15,6; 15,4; 15,3
T4/V4	1,5	1,6	401	15,1; 15,1; 14,9; 15,1
T5/V4	2,7	4,1	401,5	15,1; 15,1; 15,0; 15,1
T6/V5	0,22	2,9	399	14,5; 13,8; 12,5; 13,6
T7/V6	4,4	2,5	405,6	13,3; 13,0; 13,1; 13,1
T8/V7	4,4	2,8	401,5	12,3; 12,8; 13,3; 12,8
T9/V8	3,8	2,7	402,6	13,6; 13,0; 12,5; 13,0
T10/V9	4,5	5,1	402,3	12,3; 12,3; 12,6; 12,4

4 SÄHKÖKENTÄT

Kaikki komponentit, jotka toimivat sähköllä tai joilla siirretään sähköä, ovat mahdollisia sähkökenttää luovia lähteitä. Sähkökentän suuruus riippuu jännitteestä V ja sen yksikkö on voltia metriä kohti (V/m).

Sähkökenttä voidaan määrittää potentiaalierojen avulla, kuten kahden pisteen välillä on

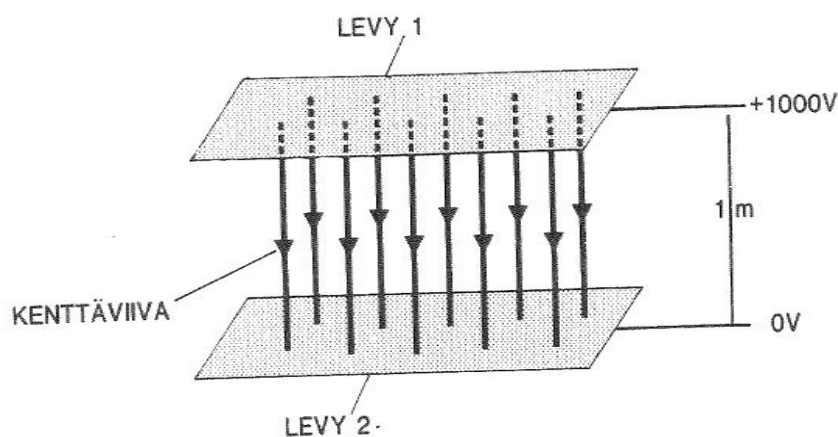
$$U = V_2 - V_1 = - \int_1^2 E_l \, x \, dl \quad (1)$$

U on jännite, V_1 ja V_2 ovat potentiaaleja. Kenttäviivojen ollessa suorina integraalilauseke voidaan sieventää muotoon

$$U = V_2 - V_1 = -E_x \, x \, d \quad (2)$$

ja edelleen voidaan ratkaista sähkökenttä sähkökentän voimakkuus E_x

$$E_x = \frac{V_1 - V_2}{d} = \frac{U}{d} \quad (3)$$

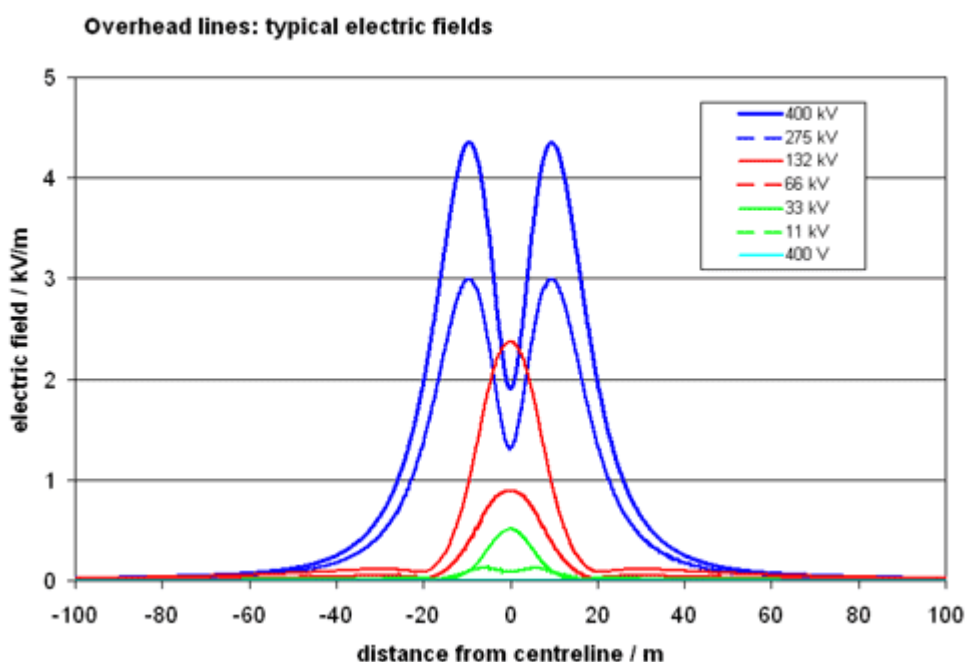


KUVA 4. Kahden levyn välinen sähkökenttä. (Jokela;ym. 1988).

4.1 Sähkökentät voimajohdoilla

Sähkönsiirtoon käytävillä voimajohdoilla tarkoitetaan yleisimmin Suomessa jännitetasoja 400 kV, 220 kV, 110 kV, 45 kV ja 20 kV. Yleisesti ottaen mitä suurempi jännite on, niin sitä suurempi on myös muodostuva sähkökenttä.

Sähkökenttä vaimenee nopeasti puuston, rakennusten tai muiden tällaisten rajapintojen vuoksi. Kaikki hiemankin johtavat materiaalit tarjoavat suojaavan vaikutuksen kenttien vaikutuksesta. Talot, puut ja aidat ovat esimerkkejä kentiltä suojaavista elementeistä. Tämän vuoksi sähkökenttä talon sisällä on pienempi kuin rakennuksen ulkopuolella. Metallit, jotka ovat erinomaisesti johtavia, tarjoavat hyvän suojausvaikutuksen. Metallisen laatikon sisällä kenttä on käytännössä katsoen olematon ja sitä kutsutaankin Faradayn häkiksi (Faraday Cage). (EMFs.info 2017.)



KUVA 5. Tyypillinen sähkökentän voimakkuus voimajohdolla. (EMFs.info 2017.)

Kuvassa 5 on esitetty tyypillinen sähkökenttä voimajohdoilla. Pystyakselilla on sähkökentän suuruus ja vaaka-akselilla puolestaan etäisyys keskilinjasta. Kuvasta nähdään sähkökentän nousevan etäisyyden kasvaessa keskilinjasta, mutta 20 metrin jälkeen sähkökenttä vaimenee nopeasti.

5 MAGNEETTIKENTÄT

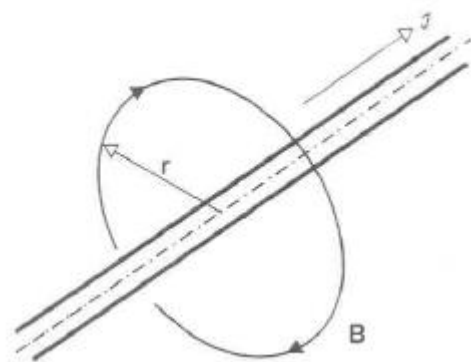
Johtimessa kulkeva sähkövirta synnyttää ympärilleen magneettikentän, jonka voimakkuus on H .

Yksikkö magneettikentän voimakkuudelle on ampeeria metriä kohti eli A/m.

Suoran johtimen magneettikentät voimakkuutta voidaan kuvata (Jokela;ym. 1988.)

$$H = \frac{I}{2\pi r} \quad (4)$$

missä I on sähkövirta ja r on etäisyys johtimesta. Voimakkuus on virtaan suoraan verrannollinen, kun taas etäisyyteen se on kääntäen verrannollinen. Kuvassa 6 on havainnollistettu kentän voimakkuutta yksittäisessä johtimessa. (Jokela;ym. 1988.)



KUVA 6. Magneettikenttä johtimessa. (Jokela;ym. 1988.)

Toinen magneettikentän suuruutta kuvaava suure on magneettivuon tiheys B , jonka yksikkö on Tesla [T]. Esiintyvät arvot ovat yleisesti ottaen niin pieniä, että käytetään yksikköä μT .

$$B = \mu H = \mu_0 \mu_r H \quad (5)$$

Magneettivuon tiheys riippuu sen väliaineesta. Kaavassa 5 μ on väliaineen permeabiliteetti, μ_r on tyhjiön permeabiliteetti, joka tunnetaan ($4\pi \times 10^{-7}$ Vs/Am) ja μ_0 on väliaineen suhteellinen permeabiliteetti. Biologisen materiaalin permeabiliteetti tunnetaan melko tarkasti olevan 1, jolloin $\mu = \mu_0$. Kaavojen 4 ja 5 johdosta saadaan lopulta yhtälö. (JYU.)

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (6)$$

Kyseinen kaava pätee, kun väliaineena on tyhjiö tai ilma.

5.1 Magneettikenttä kolmivaihejärjestelmässä

Sähkönsiirrossa käytetään yleisesti katsoen kolmivaihejärjestelmää ja tästä johtuen magneettikenttien vaikutusten kannalta on huomioitava kolme rinnakkain kulkevaa johtoa yhtä aikaa. Symmetrisessä kuormituksessa kolmivaihevirrät käyttäytyvät keskenään niin, että vaiheiden välillä on 120° :een kulmaero. Kaava 7 kuvaa jaksollista sähkövirtaa, jonka suuruus ja suunta vaihtelevat. (Jokela;ym. 1988.)

$$I = I_0 \sin(\omega t + \varphi) \quad (7)$$

missä

I on virran hetkellinen arvo

I_0 on virran huippuarvo

ω on kulmataajuus

φ on vaihekulma

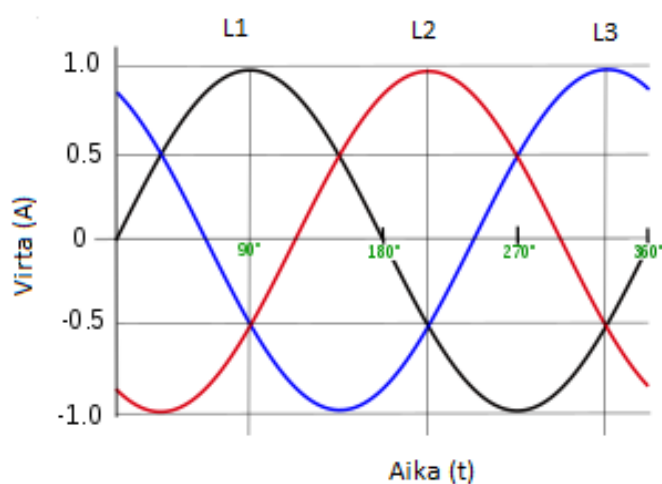
Näistä saadaan eri vaiheille siis edelleen kaavat 8-10.

$$i_{L2}(t) = I \sin(\omega t - 120^\circ) \quad (8)$$

$$i_{L1}(t) = I \sin(\omega t) \quad (9)$$

$$i_{L3}(t) = I \sin(\omega t + 120^\circ) \quad (10)$$

Kuvassa 7 on esitetty kolmivaiheisen symmetrisen kuorman virtojen käyttäytyminen ajan suhteen.

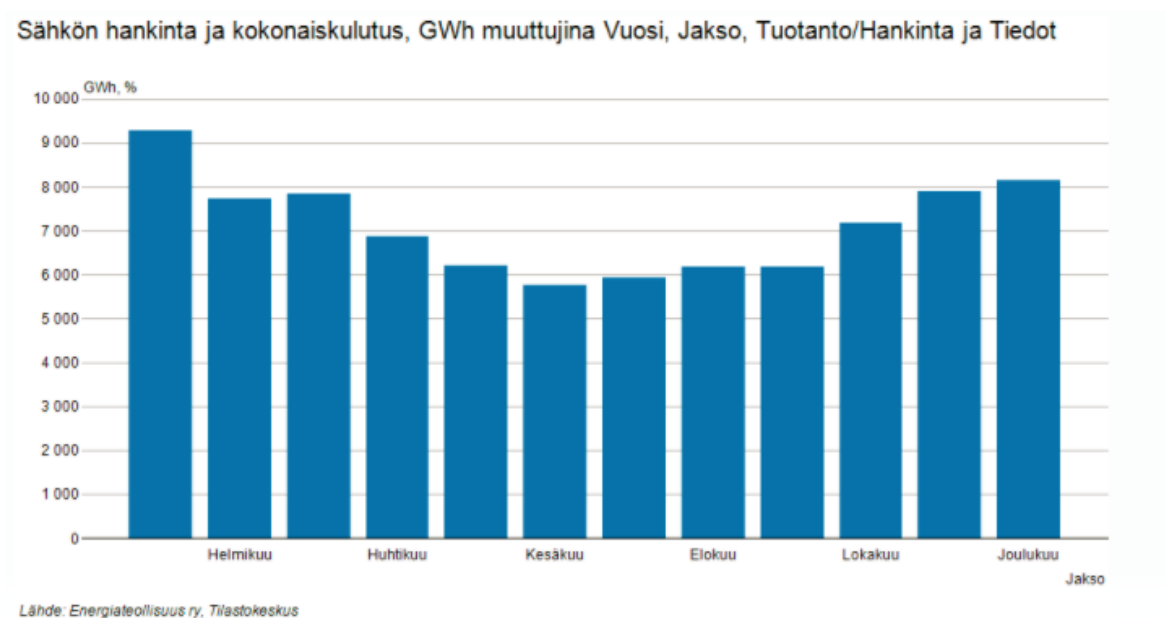


KUVA 7. Kolmivaiheisen virran käyttäytyminen. (Wikipedia 2017.)

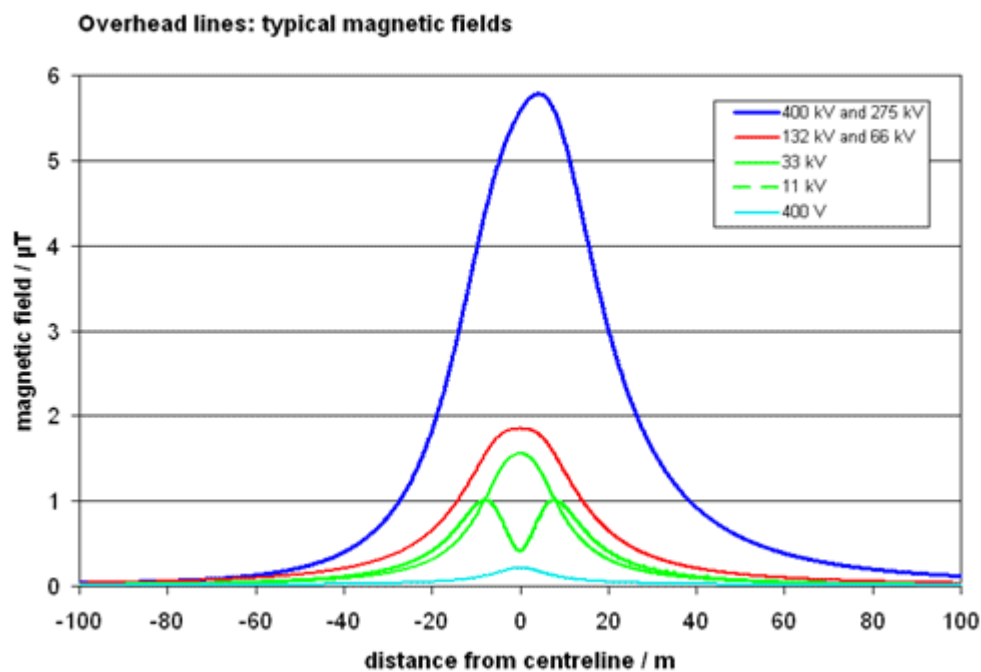
5.2 Magneettikentät voimajohdoilla

Voimajohdoilla siirrettävän energian määrä vaikuttaa sen synnyttämään magneettikenttään, koska magneettivuon tiheys riippuu johtimissa kulkevan virran voimakkuudesta. Kentänvoimakkuuksiin vaikuttaa teollisuuden ja kotitalouksien kulutuksen määrä, joka vaihtelee oleellisesti vuorokauden ja vuodenajan mukaan. Päivällä kulutus on suurempaa, kuten myös talvella etenkin kovilla pakkasilla kulutus nousee entisestään. Jouluaatto on yksi suurimmista kulutuspäivistä, koska kyseisenä päivänä lähes jokainen Suomen sähkösauna on käytössä.

Kuvassa 8 on esitetty kokonaiskulutus pylväsiagrammina ja siitä voidaan nähdä, että talvikuukausina kulutus on suurempaa kuin kesäkuukausina.



KUVA 8. Kuukausittainen sähkönkulutus vuonna 2015. (Tilastokeskus 2017.)



KUVA 9. Tyypillinen magneettivuon tiheys voimajohdolla. (EMFs.info 2017.)

Kuvassa 9 on esitetty tyypillinen magneettikenttä voimajohdoilla. Pystyakselilla on magneettikentän voimakkuus ja vaaka-akselilla on etäisyys voimajohdon keskilinjasta. Kuvasta nähdään magneettikentän vaimeneminen etäisyyden kasvaessa. Toisin kuin sähkökentällä, vaimeneminen ei tapahdu niin nopeasti magneettikentillä.

6 SÄHKÖ- JA MAGNEETTIENTTIEN MITTAUKSET

Magneettienttien mittaaminen on helpompaa verrattuna sähkökenttien mittaamiseen, missä mitausta suorittava henkilö aiheuttaa sähkökenttään häiriötä. Mittaajan tulee siis mitaushetkellä olla kauempana, jotta saadaan varmuudella mitattua häiriötön sähkökenttä (IEC 62110). Kenttien mittaamiseen on olemassa nykyään jo monia mittareita tarjolla, jotka poikkeavat toisistaan jollain ominaisuuksilla.

Voimajohdoille tehtävät mittaukset voidaan suorittaa yksiakselianturilla tai kolmiakselianturilla. Jos käytetään yksiakseli anturia, on se käytännössä hieman työläämpi verrattuna kolmiakseli anturiin, jolla saadaan suoraan mitattua sähkökentän tehollisarvo.

Akseleiden lukumäärän havaitsemiseen perustuvaa mittaria voi käyttää yhdellä anturilla, jolloin mitataan vain yksi kolmesta akselista (x, y ja z). Tällöin mittaaminen tulisi suorittaa maksimikentän suuntaan, mutta todellista kokonaiskentän arvoa ei tiedetä. Kun mittarissa on kolme anturia, kaikille kolmelle akselille, saadaan suunnasta riippumaton kentän arvo. Tämä helpottaa mittarin käyttöä huomattavasti sekä antaa luotettavamman mitaustuloksen. Mittareille suositeltu taajuusvaste on 20-30 Hz – 2 kHz, koska mittarit ovat herkkiä vain 50 Hz tai 60 Hz taajuusalueella operoitaessa. (IEC 62110.)

Antureiden koko vaihtelee myös käyttötarkoituksen mukaan. Pienillä antureilla mitataan kentän vaihteluja pienillä etäisyyksillä, kun taas suurilla antureilla isompia kokonaisuuksia. Mittareista löytyy eroa jokin verran myös käytettävyydessä. Paino, koko, akun kesto ja tulosten talletettavuus, RMS-arvo sekä muita eroavaisuuksia löytyy ja tällöin itse käyttötarkoitus ratkaisee mikä on paras siihen tarkoituksen.

Sähkö- ja magneettienttien mittaamiseen käytettävät mittalaitteiden tulee täyttää standardin IEC 61786 tai muu vastaava kansainvälinen tai maakohtainen standardi. Mittaus tulee suorittaa mittarin valmistajan antamilla suosituksilla olosuhteiden suhteen. Kolmiakselimittarit mittaavat tehollisarvon F_r , kun taas yksiakselimittarilla voidaan päästä samaan mittaamalla erikseen F_x , F_y ja F_z ja kaavalla 11 saadaan kentän arvo

$$F_r = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (11)$$

missä

F_x , F_y ja F_z ovat sähkö- tai magneettikentän avaruusvektoreiden arvot.

Jos kentässä ei esiinny yliaaltoja, voidaan sen arvo todeta mittaamalla F_{\max} ja F_{\min} ja käyttäen kaavaa 12

$$F_r = \sqrt{F_{\max}^2 + F_{\min}^2} \quad (12)$$

missä

F_{\max} on maksimiarvo kentälle

F_{\min} on minimiarvo kentälle

Voimajohdoilla tehtävien sähkö- ja magneettikenttien mittaukset voidaan suorittaa yksipistemittauksella (single-point). Esimerkiksi maakaapelien kentät tulee suorittaa kolme- tai viisipistemenetelmällä. Yksipistemenetelmässä mittaus suoritetaan 1,0 m maanpinnasta mitattuna. Jos on tarpeellista, voidaan käyttää muitakin mittauskorkeuksia, mutta siitä on hyvä mainita mittausraportissa. (IEC 62110.)

6.1 Magneettikenttä mittaus

Magneettikenttien mittaamiseen on yleisesti käytössä kolme eri sensoria.

Hakuketat (search coils) ovat yksinkertaisimmat mittarit mittaavat käämiin indusoitunutta jännitettä U . Taajuudella f vaihtelevassa sinimuotoisessa magneettikentässä B indusoima jännite saadaan:

$$U = -2\pi f B_0 A \cos(\omega t) \quad (13)$$

A = silmukan ala

B_0 = B :n silmukan suhteen kohtisuorassa oleva komponentti.

Jos mitataan magneettikenttää mittarilla, jossa on sekä sähkö- että magneettikenttämittaukseen tarkoitettu mittapää, tulee magneettikenttään tarkoitettu mittapää suojata häiriöiden estämiseksi. (EMFs.info 2017.)

Vuoporttimagnetometri (Fluxgate-magnetometer) on sensori, joka pystyy mittaamaan magneettivuon voimakkuuden ja suunnan. Sensorin toiminta perustuu magneettisten materiaalien kyllästyymiseen ja näitä on kahdenlaisia. Toinen käyttää rengassydäntä (ring core) ja toinen sauvasydäntä (rod core). Ydin on ferromagneettinen ja sitä ympäröi langat eli se on kuin muunataja. Vaihtovirta kulkee ensiön läpi ja se aiheuttaa vaihtelevan magneettikentän toisiossa. Muutos ulkoisessa magneettikentässä aiheuttaa muutoksen toisiossa. Magneettikentän muutos voidaan mitata vuoviivojen voimakkuudesta ja suunnasta. (TECHOPEDIA.); (EMFs.info 2017.)

Hall-ilmiöön (Hall-effect devices) perustuva sensori on suunniteltu mittaamaan Hall-jännite U_H . Johde asetetaan magneettikenttään niin, että virran kulkusuunta on kohtisuorassa kulkusuuntaan nähden. Syntyy Lorentzin voima, minkä vaikutuksesta syntyy sähkökenttä E . Potentiaaliero reunojen välillä on Hall-jännite, joka voidaan mitata. (JYU.)

Magneettikenttien mittaus tulisi suorittaa kolmiakselimittarilla lukuun ottamatta poikkeuksia, joissa on erityinen syy yksiakselimittaukselle. Tällöin tulee tietää kentän suunta ja maksimi tehollisarvo. Jos

kolmiakseli mittaria ei ole saatavilla, voidaan kentän arvo määrittää yksiakselimittauksella kaavaa 11 tai 12 hyödyntäen. Esineiden, jotka ovat johteita tai sisältävät magneettista materiaalia, tulisi olla vähintään 1,0 m tarkkan mittauksen takaamiseksi. Jos tätä ohjearvoa ei voida toteuttaa, tulee siitä mainita mittausraportissa. (IEC 62110.)

Magneettikenttien suuruus voimajohdoilla riippuu etäisyydestä johtimiin, vaihejärjestyksestä ja kuormitusvirrasta. Suurin kentän arvo on pisteessä, jossa vaihejohtimet roikkuvat lähimpänä maanpintaa eli keskellä jänneväliä. Tämä piste tulisi määrittää mittaamalla ensin 1,0m mittauskorkeudella johdon suuntaisesti, mistä löytyy suurin mitattava arvo ja tämän jälkeen kohtisuorassa linjaan nähden 1,0m mittauskorkeudella ja löytää suurin arvo. Näin saadaan määritettyä piste, jossa suorittaa varsinainen mittaus. Jos kyseinen piste on tunnettu jo etukäteen, suoritetaan siinä yksipistemittaus. (IEC 62110.)

6.2 Sähkökenttien mittaus

Sähkökenttien mittaamiseen tarkoitettujen mittareiden sensorit perustuvat yleensä kahteen rinnakkaiseen johtavaan levyyn. Kolmiakselisia sähkökenttämittareita on vaikeampi tehdä, kuin magneettikenttien mittaamiseen, mutta myös siksi voidaan käyttää yksiakselista, koska se on riittävä sähkökentän mittaamiseen. Mittaustilanteessa mittaaja tai kukaan muukaan henkilö ei saa olla lähellä mitauspaikkaa, koska silloin ihmiskeho toisi häiriötä mitattavaan kenttään. Mittari on yleensä jalustan varassa ja sitä luetaan etänä ja tallennetaan tulokset myöhempää analysointia varten. Mittauksen häiriötekijöitä voivat myös olla ilmakehän kosteus, mittaajan tai muun henkilön aiheuttama häiriö kentässä ja mittarin epävakaus jalustalla ollessaan. Myös lämpötilojen ääripäät saattavat johtaa virheelliseen mittaukseen sekä mittarin jalustan on oltava johtamatonta materiaalia. (EMFs.info 2017.)

Yksiakseli (single-axis) mittaus on voimajohdoilla hyväksytty mittaus, koska sähkökenttä johtavan maanpinnan vieressä on kohtisuorassa siihen nähden. Tällöin vaakatason komponentti voidaan unohtaa. Mittaukset tulisi suorittaa paikassa, jossa ei ole voimajohtopylväitä, puita, aitoja, korkeaa kasvillisuutta tai muita ihmisiä häiritsemässä mittauksia. Myös vieressä kulkeva voimajohto voi aiheuttaa mittauksessa virhettä. Kasvillisuus vaikuttaa merkittävästi mittaukseen, koska sähkökenttä vaimenee huomattavasti kasvillisuuden vuoksi. Liikuteltavien tavaroiden tulisi olla vähintään 1,0 metrin päässä. Mittarin ja käyttäjän välinen etäisyys tulisi olla 1,5 m ja suositus on 3 m. Tämän saavuttamiseksi monitori kytketään mittariin optisella kaapelilla, jolloin mittaria voidaan käyttää etänä. Mittauksen aikana ilmakehän kosteuden ollessa yli 70 % tulee mittarin toiminta varmistaa kondensaation vuoksi. (IEC 62110.)

Sähkökenttien suuruus voimajohdoilla riippuu etäisyydestä johtimiin, vaihejärjestyksestä ja linjan jännitteestä. Suurin kentän arvo on pisteessä, jossa vaihejohtimet roikkuvat lähimpänä maanpintaa eli keskellä jänneväliä. Tämä piste tulisi määrittää mittaamalla ensin 1,0m mittauskorkeudella johdon suuntaisesti, mistä löytyy suurin mitattava arvo ja tämän jälkeen kohtisuorassa linjaan nähden 1,0 m mittauskorkeudella ja löytää suurin arvo. Näin saadaan määritettyä piste, jossa suorittaa varsinainen

mittaus. Jos kyseinen piste on tunnettu jo etukäteen, suoritetaan siinä yksipistemittaus. (IEC 62110.)

6.3 Mittaukset voimajohtojen alla

Tässä opinnäytetyössä toteutettiin erään sähköjakeluverkkoyhtiön alueella magneettikenttämittauksia 110 kV voimajohtojen alla. Mittarina käytettiin Hiokin kolmiakseli FT3470-50 Magnetic field Hites-ter magneettikenttämittaria, joka mittaa suoraan magneettivuon tiheyttä ja magneettikentän alitusta. Mittapäänä käytettiin 100 cm² sensoria. Kyseinen mittari ja mittapää noudattavat ICNIRP 2010 ohjeistusta sekä täyttää IEC 62110/IEEE 644 ja IEC 62233 standardien vaatimukset.



KUVA 10. Hiokin magneettikenttämittari FT3470-50. (Hioki.)

Työhön suoritettiin keväällä 2017 neljän eri 110 kV:n voimajohdon alla mittauksia, niin suoraan johtimien alapuolelta, kuin myös sivusuunnassa tietyn etäisyyden päästäkin. Näin saatiin kerättyä tietoa, kuinka nopeasti kenttä vaimenee etäisyyden kasvaessa. Mittauksia varten selvitettiin kyseisen verkkoyhtiön valvomosta kuormitusvirrat mittauksen ajanhetkellä, johtimien korkeus maasta (mitattiin Bosch Plr 30 laseretäisyysmittarilla) sekä mittaushetkellä mittauskorkeus, mittaussuunta ja mahdollinen etäisyys suoraan johtimien alta sivusuuntaan. Kuvassa 11 on eräs mittausta paikka. Sijainti on silmämääräisesti jännevälin keskellä, jossa johtimet roikkuvat luonnollisesti eniten, ja keskimmaisen vaiheen alapuolella eli keskilinjalla.

Taulukoissa 13-16 on esitetty tulokset suoritetuista mittauksista. Taulukoista ilmenee kuormitusvirta, johtimien korkeus, mittaussuunta, mittauskorkeus, sekä mittaustulos. Mittaukset on suoritettu voimajohtolinjan alta ja taulukon 16 mittauksissa on tutkittu sivusuunnassa etäisyyden kasvattamisen vaikutusta.

TAULUKKO 13. Magneettikenttämittaukset, voimajohto-osuus 1.

110 kV voimajohto-osuus 1, Kuormitusvirta 109,5 A		
Johtimien korkeus maasta 14,45 metriä		
Mittaussuunta	Mittauskorkeus [m]	Mittaustulos [μ T]
90° kulmassa linjasta	0,5	0,678
Linjan suuntaisesti	0,5	0,673
90° kulmassa linjasta	1,0	0,723
Linjan suuntaisesti	1,0	0,703
90° kulmassa linjasta	1,5	0,838
Linjan suuntaisesti	1,5	0,763

TAULUKKO 14. Magneettikenttämittaukset, voimajohto-osuus 2.

110 kV voimajohto-osuus 2, Kuormitusvirta 43,5 A		
Johtimien korkeus maasta 11,14 metriä		
Mittaussuunta	Mittauskorkeus [m]	Mittaustulos [μ T]
90° kulmassa linjasta	0,6	0,287
Linjan suuntaisesti	0,6	0,260
90° kulmassa linjasta	1,0	0,308
Linjan suuntaisesti	1,0	0,285
90° kulmassa linjasta	1,5	0,316
Linjan suuntaisesti	1,5	0,355
Linjan suuntaisesti	n. 2,5	0,662

TAULUKKO 15. Magneettikenttämittaukset, voimajohto-osuus 3.

110 kV voimajohto-osuus 3, Kuormitusvirta 13,5 A		
Johtimien korkeus maasta 10,81 metriä		
Mittaussuunta	Mittauskorkeus [m]	Mittaustulos [μ T]
90° kulmassa linjasta	0,6	0,453
Linjan suuntaisesti	0,6	0,440
90° kulmassa linjasta	1,0	0,492
Linjan suuntaisesti	1,0	0,464
90° kulmassa linjasta	1,5	0,561
Linjan suuntaisesti	1,5	0,554

TAULUKKO 16. Magneettikenttämittaukset, voimajohto-osuus 4.

110 kV voimajohto-osuus 4, Kuormitusvirta 147 A		
Johtimien korkeus maasta 10,23 metriä.		
Mittaussuunta	Mittauskorkeus [m]	Mittaustulos [μT]
90° kulmassa linjasta	0,6	2,32
Linjan suuntaisesti	0,6	2,28
90° kulmassa linjasta	1,0	2,42
Linjan suuntaisesti	1,0	2,38
90° kulmassa linjasta	1,5	2,70
Linjan suuntaisesti	1,5	2,75
10 m mittauksen keskilinjasta sivuun		
Mittaussuunta	Mittauskorkeus [m]	Mittaustulos [μT]
90° kulmassa linjasta	1,5	1,48
Linjan suuntaisesti	1,5	1,49
20 m mittauksen keskilinjasta sivuun		
Mittaussuunta	Mittauskorkeus [m]	Mittaustulos [μT]
90° kulmassa linjasta	1,5	0,55
Linjan suuntaisesti	1,5	0,54



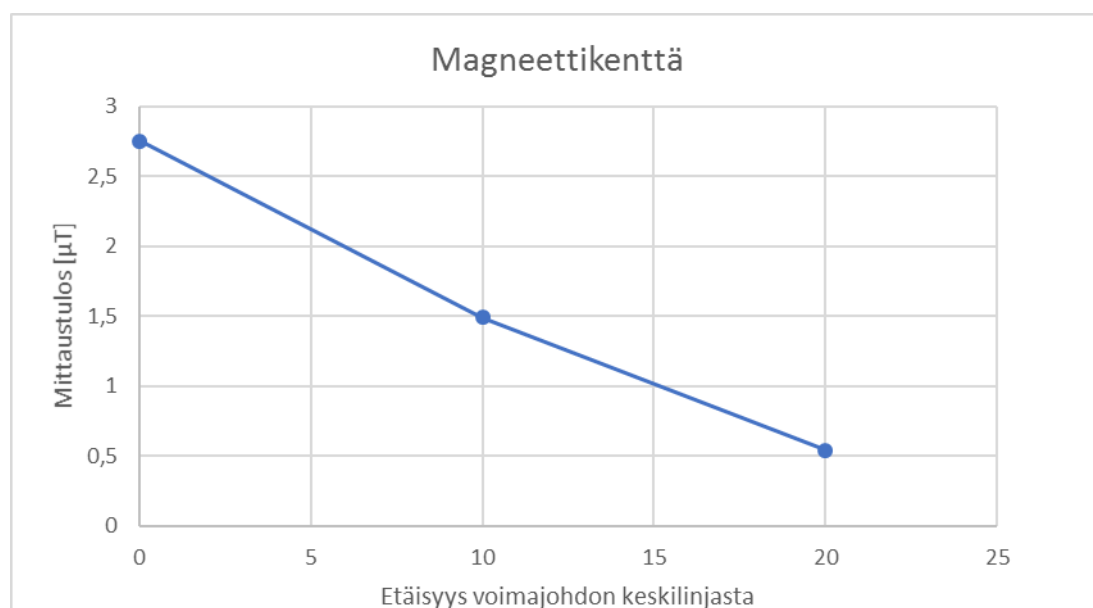
KUVA 11. Mittauspaikka voimajohdon alla.

6.4 Mittaustulosten analyysi

Mittauksia suoritettiin neljällä eri 110 kV:n voimajohto-osuuksien alla erään sähkönjakeluyhtiön alueella. Mittauspaikoiksi valittiin maastoltaan mahdollisimman tasaiset sekä muilta häiriötekijöiltä mahdollisimman vapaat alueet. Kuvassa 11 on esitetty eräs mittauspaikka, joka sijaitsee pellolla, eikä voimajohtokadulla ole aluskasvillisuutta mittauspaikan välittömässä läheisyydessä. Mittaussää oli hyvä.

Taulukoissa 13-16 esitetyistä mittaustuloksista nähdään, että magneettikenttien suuruudet ovat raja-arvoihin verrattuna pieniä. Taulukon 5 mukaan magneettikentille matala toimenpidetaso on $1000 \mu\text{T}$ ja korkea toimenpidetaso on $6000 \mu\text{T}$. Suurin saatu mittaustulos näillä voimajohto-osuuksilla on $2,75 \mu\text{T}$, joka on mitattu $1,5 \text{ m}$ mittauskorkeudella, joten toimenpidetasojen alle jäädään huomattavasti. Standardissa IEC 62110 suositeltu mittauskorkeus on $1,0 \text{ m}$. Suoritetuissa mittauksissa $1,0 \text{ m}$ korkeudelta saatu suurin tulos on $2,42 \mu\text{T}$.

Tuloksista voidaan nähdä kuormitusvirran vaikutus magneettikenttään, sillä tulokset nousevat kuormitusvirtojen kasvaessa. Voimajohtolla, taulukko 16, jossa kuormitusvirrat olivat suurimmat 147 A , saatiin myös suurimmat mittaustulokset. Tällä voimajohtolla johtimien etäisyys maasta oli myös pienin.



KAAVIO 1. Magneettikentän vaimeneminen etäisyyden kasvaessa.

Kaaviosta 1 nähdään magneettikentän käyttäytyminen, kun suoraan voimajohdon alta kasvatetaan etäisyyttä kohti voimajohtokadun reunaa. Mittauspisteet on otettu 10 m ja 20 m etäisyydeltä keskilinjaan nähden. Suoraan voimajohdon alla tulokseksi saatiin $2,75 \mu\text{T}$. Kun liikuttiin 10 m sivuun, mittaustulokseksi saatiin $1,49 \mu\text{T}$. 20 m sivussa keskilinjasta saatiin mittaustulokseksi $0,49 \mu\text{T}$. Nähdään siis selvästi, että magneettikenttä vaimenee etäisyyden kasvaessa ja voimajohtokadun ulkopuolella kyseisen kentän arvot ovat pieniä.

TAULUKKO 17. Vertailu työntekijöitä koskeviin raja-arvoihin.

Voimajohto-osuus	Mittauskorkeus [m]	Mittaustulos [μ T]	Matala / korkea toimenpidetaso [μ T]
1	1,0	0,723	1000/6000
2	1,0	0,308	1000/6000
3	1,0	0,492	1000/6000
4	1,0	2,42	1000/6000

Taulukossa 17 on esitetty vertailu matalaan ja korkeaan toimenpidetasoon työntekijöiden osalta. Mittaustulos on vihreä, jos alitetaan matala toimenpidetaso ja punainen jos kyseinen toimenpidetaso ylitetään. Kuten nähdään, tulokset ovat vihreitä ja reilusti alle matalan toimenpidetason, joten kyseisillä voimajohto-osuuksilla ei ole tarvetta ryhtyä toimenpiteisiin.

TAULUKKO 18. Vertailu väestöä koskeviin suositusarvoihin.

Voimajohto-osuus	Mittauskorkeus [m]	Mittaustulos [μ T]	Magneettivuontiheys [μ T]
1	1,0	0,723	100
2	1,0	0,308	100
3	1,0	0,492	100
4	1,0	2,42	100

Taulukossa 18 on puolestaan esitetty vertailu väestöä koskevaan suositusarvoon. Kuten taulukossa 17, vihreä väri indikoi tuloksen alittavan suositusarvon ja punainen puolestaan ylittävän suositusarvon. Kuten nähdään, tulokset ovat vihreät ja reilusti alle suositusarvon.

7 YLIAALLOT JA VAIMENEMINEN

Sähkönjakeluverkossa esiintyy yliaalloja, mutta yleisesti ottaen yliaallojen aiheuttama jännitteen vääristymä on niin alhaista vaihtojännitteellä, että niillä ei ole merkittävää vaikutusta ja ne voidaan jättää huomiotta. Paikkoja, jossa yliaallojen osuutta ei voida jättää huomiotta, mittaus tulisi suorittaa standardin IEC 61786 mukaan. (IEC 62110.)

Materiaalit, jotka ovat johtavia, tarjoavat suojavaikutuksen sähkökentiltä. Talojen seinät ja niiden materiaalit sekä myös esimerkiksi puut, aidat ja korkea kasvillisuus ovat riittäviä aiheuttamaan suojaavan vaikutuksen. Sähkökenttä ei pysty läpäisemään johtavasta materiaalista tehtyä häkkiä tai laatikkoa, joten se tarjoaa suojausvaikutuksen. Tätä kutsutaankin nimellä Faradayn häkki (Faraday cage). Magneettikentän osalta suojausvaikutus on haastavempaa. On olemassa korkean läpäisevyyden seos, mu-metalli, mutta se on kallista. Vaihtoehtoisesti voidaan johteita, kuten alumiini, mutta niissä muodostuu oma magneettikenttä ja näin kumoutuu alkuperäinen tarkoitus. (EMFs.info 2017.)

Varsinkin voimajohdoilla etäisyys on suuri tekijä vaimentamaan magneettikenttää. Koska johtimet ovat yleisesti ottaen yli 10 m korkeudella maasta katsottuna, vaimentaa se kentän arvoa itsessään. Tämä käy ilmi myös suoritetuissa mittauksissa ja niiden tuloksissa, kun siirryttiin 10 m sekä 20 m sivuun suoraan voimajohdon alta. (EMFs.info 2017.)

8 MITTAUSPALVELU

Tämän opinnäytetyön yksi tavoitteista oli luoda Mittaustek Oy:lle täysin uusi mittauspalvelu voimajohtojen sähkö- ja magneettikenttämittauksiin. Tässä kappaleessa käydään läpi asiakkaalta tulleen toimeksiannon suorittaminen alkutekijöistä työn viimeistelemiseen asti.

Kun Mittaustek Oy tarjoaa asiakkailleen mittauspalvelua, tulee yrityksellä olla standardien hyväksymät mittauslaitteet. Tulevaa mittausta varten käyty viestintä alkaa tarjouspyynnöstä. Asiakkaalle tehdään tarjous ja tarjouksen hyväksyminen tarkoittaa samalla sopimusta mittauksen suorittamisesta.

8.1 Mittaus

Alkuun pitää saada mitattavasta kohteesta mahdollisimman tarkat ennakkotiedot voimajohto-osuuden sijainnista. Mahdollisten matkakustannusten vuoksi lähiosoite tai tieto paikkakunnasta, jossa mitattava voimajohto-osuus sijaitsee, tulee olla tiedossa jo tarjouksen tekemisen yhteydessä. Sähköjakeluyhtiöllä on paikannettu tarkat koordinaatit jokaiselle voimajohtopylväälle, joten niiden perusteella päästään tarkasti oikeaan paikkaan. Näitä ei voida käyttää mittauspisteinä, mutta niiden avulla päästään varmasti oikealle voimajohto-osuudelle. Jos koordinaatteja ei ole käytössä, tulee tarkka sijainti saada tietoon muita keinoja käyttäen. Sijaintitiedon lisäksi haluttuja ennakkotietoja ovat voimajohdon nimellinen jännite ja mahdollisesti tyyppi, eli onko kyseessä mahdollisesti kaksoisjohto-osuus, tai yleisesti muista poikkeuksista voimajohto-osuudella.

Ennakkotietojen jälkeen suunnitellaan mittaus. Ajankohta mittauksen suorittamiselle sovitaan yhdessä asiakkaan kanssa ja sovitaan päivämäärä sekä kellonaika, joka sopii molemmille osapuolille. Magneettikenttiä mitattaessa voidaan huomioida, että kuormitusvirrat ovat talvisin suurempia. Mittauspisteet voidaan ennen varsinaista maastoon menoa esisuunnitella kartalta, jotta tiedetään jo todennäköiset mittauspisteet voimajohdolla. Tämä helpottaa myös mittajaan työtä siinä mielessä, että hän näkee samalla kartalta maaston ominaisuuksia ja pystyy varautumaan myös niihin etukäteen. Suunnitteluvaiheessa voidaan jo sopia asiakkaan kanssa myös käytännön asioista ja kertoa, kuinka tämä prosessi etenee raportointiin asti. Näin myös asiakas saa kokonaiskuvan ja mahdollisuuden vaikuttaa, jos asiakkaan käytännöt vaativat erilaista toimintaa jossain vaiheessa. Kun mittaus-suunnitelma on tehty, lähetetään se myös asiakkaalle. Tässä vaiheessa on hyvä käydä läpi mahdolliset turvallisuusilmoitusten tarpeet tai opastukset kohteessa.

Varsinainen mittaus suoritetaan standardin IEC 62110 mukaisilla mittausmenetelmillä, kuten kappaleessa 6 on esitetty. Voimajohdoilla voidaan sähkö- ja magneettikenttien mittaaminen suorittaa yksipistementelmällä kolmeakselimitarilla. Tärkein mittauspiste on siinä pisteessä, jossa voimajohto roikkuu lähimpänä maanpintaa, eli jännevälin puolella välissä. Tämä piste nähdään suunnitteluvaiheessa kartalta sekä silmämääräisesti melko tarkkaan, mutta se voidaan määrittää myös mittamalla, kuten standardissakin on esitetty. Jännevälin alin kohta saadaan määritettyä myös asiakkaan

johtoprofiilikuvan avulla, josta käy ilmi jännevälin riippuma sekä maanpinta. Suoritetaan kolme mitausta samasta pisteestä, lasketaan näiden keskiarvo ja merkitään tulokset pöytäkirjaan myöhempää analyysiä sekä raportointia varten. Maastossa voidaan tehdä nopea analyysi, mutta mittaustulokset vaativat tarkempaa arviointia. Ennen voimajohtokadulle siirtymistä tulee suorittaa mahdollisesti vaaditut ilmoitustoimenpiteet verkkoyhtiölle. Työturvallinen henkilökohtainen vaatetus tulee olla kunnossa.

Pöytäkirjaan merkitään ajankohta, perustiedot kohteesta, olosuhteet, mittaaja sekä mahdolliset apuhenkilöt, käytettävän laitteiston tiedot, mitä mitataan ja mittaustulokset. Lisäksi tiedot pylväsväleistä, voimajohto-osuuden suunnittelutunnuksesta ja muut tarkentavat asiat on hyvä kirjata, vaikka koordinaateilla päästäänkin tarkkaan pisteeseen.

Suoritetun mittauksen jälkeen tehdään mahdollinen ilmoitus voimajohtokadulta poistumisesta ja ilmoitetaan mittauksen olevan ohi. Tämän jälkeen tehdään kirjallinen raportti mittauksesta ja sen tuloksista asiakkaalle.

Asiakkaalle tehdään virallinen raportti suoritetusta mittauksesta. Tästä asiakirjasta löytyy tekstimuotoinen analyysi mittauksen toteutuksesta ja saaduista tuloksista verrattuna määritettyihin toimenpidesoihin. Raportissa on myös osallisena olevien osapuolien yritysten tunnistetiedot, joita ei tässä työssä olevassa esimerkkipöytäkirjassa ole esitetty. Raportin on tarkoitus olla napakka tiivistelmä, josta käy ilmi mittauksen kulku, käytetyt mittalaitteet, tulokset sekä tietysti tarkat tiedot minkä voimajohto-osuuden mittaus on ollut kyseessä. Mittauspisteiden paikannukseen hyödynnetään DGPS – paikannuslaitetta. Liitteenä toimitetaan mittauspöytäkirja asiakkaan haltuun sekä muut mahdolliset asiakirjat, joita tarvitaan asiakkaan toimintamallin mukaan, esimerkiksi turvallisuusilmoitus.

8.2 Esimerkit sähkö- ja magneettikenttämittausten pöytäkirjoista

Mittauspöytäkirjan täyttäminen on tärkeä osa mittauksen kulkua ja se on apuvälinen lopullisen analyysin sekä raportoinnin onnistumisen takaamiseksi. Pöytäkirjaan tehdään merkinnät kohteen ennakkotiedoista ja mittauksen aikana siihen kirjataan mittaustulokset myöhempää tarkastelua varten. Tässä kappaleessa esitetään esimerkit sähkö- ja magneettikentän mittauspöytäkirjoista, jotka on laadittu standardin IEC 62110 pohjalta. Kuvassa 12 on esitetty magneettikentän mittauspöytäkirja ja kuvassa 13 on esitetty sähkökentän mittauspöytäkirja.

Mittaustek Oy		MAGNEETTIKENTTÄ MITTAUSPÖYTÄKIRJA		
Päivämäärä:	16.8.2017	Mittarin tiedot:	Hioki FT340-FT50	
Lähiosoite:	Esimerkintie 22		3-akselinen anturi	
Sijainti (koordinaatit):	N=6974439.596, E=533747.584 (ETRS-TM35FIN)		100 cm ² anturi	
Lämpötila ja ilmankosteus:	+18 °C, 58%			
Mittattava kohde:	Voimajohto-osuus xxx-xxx	Jännitetaso:	110 kV	
Mittaaja ja yritys:	Teemu Aho, Mittaustek Oy	Korkeus johtimiin:	11,20m	
Apumies:				
Huomioita:	Voimajohto-osuudella lähellä 1 mittauspistettä korkea pystykatataja			
Mittauspiste	Pylväsväli	Mittauskorkeus [m]	Mittaustulos [μT]	Koordinaatit
1	PP1-PP2	1,0	1,2	N = 6974439,596, E = 533747,584
		1,0	1,1	
		1,0	1,3	
		Keskiarvo:	1,2	
2	PP3-PP4	1,0	1,4	N = 6974442,522, E = 533725,059
		1,0	1,1	
		1,0	1,2	
		Keskiarvo:	1,2	

KUVA 12. Esimerkki magneettikentän mittauspöytäkirjasta.

Mittaustek Oy		SÄHKÖKENTTÄ MITTAUSPÖYTÄKIRJA		
Päivämäärä:	16.8.2017	Mittarin tiedot:	Wandel & Goltermann EFA-3 sähkökenttämittari	
Lähiosoite:	Esimerkintie 22		3-akselinen anturi	
Sijainti (koordinaatit):	N=6974439.596, E=533747.584 (ETRS-TM35FIN)			
Lämpötila ja ilmankosteus:	+18 °C, 58%			
Mittattava kohde:	Voimajohto-osuus xxx-xxx	Jännitetaso:	400	
Mittaaja ja yritys:	Teemu Aho, Mittaustek Oy	Korkeus johtimiin:	14,20m	
Apumies:				
Huomioita:	Voimajohto-osuudella lähellä 1 mittauspistettä korkea pystykatataja			
Mittauspiste	Pylväsväli	Mittauskorkeus [m]	Mittaustulos [V/m]	Koordinaatit
1	PP1-PP2	1,0	3200	N = 6974439,596, E = 533747,584
		1,0	3100	
		1,0	3300	
		Keskiarvo:	3200	
2	PP3-PP4	1,0	3400	N = 6974442,522, E = 533725,059
		1,0	3000	
		1,0	3300	
		Keskiarvo:	3200	

KUVA 13. Esimerkki sähkökentän mittauspöytäkirjasta.

9 YHTEENVETO

Heinäkuussa 2016 astui voimaan valtioneuvoston asetus 388/2016 työntekijöiden suojelemiseksi sähkö- ja magneettikentiltä ja samassa yhteydessä määritettiin toimenpidetasot työntekijöille sekä väestölle. Väestölle kyseisten kenttien raja-arvot ovat olleet jo aiemmin ja myös mittauksia on suoritettu. Kantaverkkoyhtiö ja jakeluverkkoyhtiöt ovatkin tehneet sähkö- ja magneettikenttämittauksia paikoissa, joissa niitä voi esiintyä. Nykyään kasvava energian kulutus näkyy myös kuormituskasvuna, jolloin magneettikentät suurenevat. Suoritetulla mittauksella voidaan todeta kenttien voimakkuudet ja suorittaa toimenpiteitä, jos on tarve.

Magneettikentät aiheutuvat johtimessa kulkevasta virrasta ja kenttä on verrannollinen kuormitusvirran suuruuteen. Mitä suurempi kuormitusvirta voimajohdolla, sitä suurempi on magneettikenttä. Voimajohdoilla kentät jäävät kuitenkin pieniksi, koska johdot ovat korkealla ja etäisyyden kasvaessa maanpinnalla magneettikentän suuruus pienenee huomattavasti. Sähkökenttä on puolestaan riippuvainen jännitteestä. Mitä suurempi on jännite, sitä suurempi on sähkökenttä. Suomessa 400 kV:n jännite on yleisesti suurin sähkön siirtoon käytössä oleva jännitetaso. Poikkeuksena Fenno-Skan taseasähköyhteys, jonka jännitetaso on 500 kV. Tutkittujen sähkökenttien mittaukset ovat suoritettu 400 kV:n voimajohdolla.

Työn tarkoituksena oli tuottaa Mittaustek Oy:lle täysin uusi mittauspalvelu, jota tarjota asiakkaille. Työssä päästiin suorittamaan vain magneettikenttämittauksia, johtuen mittauskaluston saatavuudesta. Kun tutkittiin jo 400 kV:n voimajohdoilla suoritettuja sähkökenttämittauksia ja niiden mittaus tuloksia, katsottiin sähkökenttien arvojen tukevan väitettä, että toimenpidetasot alittuvat yleensä voimajohdoilla suoritettavissa mittauksissa. Sähkökenttien osalta tässä työssä käytettiin aiemmin suoritettujen mittauksen arvoja. Suoritettujen mittauksen perusteella voidaan todeta, että normaalitilanteessa magneettikentät alittavat työntekijöille säädetyt toimenpidetasot, eivätkä näin aiheuta välitöntä vaaraa terveelle työntekijälle. Myös voimajohtokadulla liikkuminen ei aiheuta vaaraa, mutta se ei silti ole suositeltavaa. Sähkökenttien osalta aiempien mittaus tulosten perusteella voidaan myös sanoa, että normaalitilanteessa toimenpidetasoja työntekijöiden osalta ei ylitetä edes 400 kV:n voimajohdolla.

Laitteille, kuten esimerkiksi sydämentahdistin tai jokin muu implantoitu laite, on määritetty häiriintymisen toimenpidetaso 0,5 mT eli 500 μ T. Suoritettujen magneettikenttämittauksen arvoissa suurin mittaus tulos oli 2,75 μ T 1,5 metrin korkeudelta. Mittaukset jäivät siis runsaasti toimenpidetason alapuolelle. Liikkumista ja työskentelemistä tällaisten laitteiden kanssa tulee kuitenkin harkita.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

HIOKI. Magnetic field hitester FT3470-51. Saatavissa: https://www.hioki.com/en/products/detail/?product_key=5582

VALTIONEUVOSTON ASETUS TYÖNTEKIJÖIDEN SUOJELEMISEKSI SÄHKÖMAGNEETTISISTA KENTISTÄ AIHEUTUVILTA VAAROILTA. L 388/2016. Finlex. Lainsäädäntö. [Viitattu 2018-02-08.] Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20160388>

SOSIAALI- JA TERVEYSMINISTERIÖN ASETUS IONISOIMATTOMAN SÄTEILYN VÄESTÖLLE AIHEUTAMAN ALTISTUMISEN RAJOITTAMISESTA. L 294/2002. Finlex. Lainsäädäntö. [Viitattu 2018-02-08.] Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2002/20020294>

FINGRID OYJ 2017. Fingridin sähkösiirtoverkko. [Viitattu 2017-03-12.] Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/suomen-sahkojarjestelma/fingridin-sahkonsiirtoverkko/>

FINGRID. Kantaverkko kehittyä. Fenno-Skan 2 -tasasähköyhteys. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2018-02-08.] Saatavissa: https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/julkaisut/fennoskan_esite_suomi_low.pdf

ENERGIAVIRASTO 2015. Sähköverkkotoiminnan tunnusluvut 2015. [Viitattu 2017-03-12.] Saatavissa: <https://www.energiavirasto.fi/sahkoverkkotoiminnan-tunnusluvut-vuodelta-2015>

STUK 2011. Voimajohdot ympäristössämme. [Viitattu 2017-03-28.] Saatavissa: https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/124913/voimajohtokatsaus_netti.pdf?sequence=1

STUK 2013. Pientaajuisten sähkö- ja magneettikenttien lähteitä. [Viitattu 2018-02-08.] Saatavissa: <http://docplayer.fi/27816222-Pientaajuisten-sahko-ja-magneettikenttien-lahteita.html>

SUOJANEN, Marko, VEHMASKOSKI, Jyri ja KORPINEN, Leena 2000. Sähkökenttien vaimentaminen kasvillisuuden avulla 400 kV:n voimansiirtojohtojen alla. [Viitattu 2018-01-16.] Saatavissa: http://www.leenakorpinen.fi/archive/opukset/sahkokenttien_vaimentaminen_1.pdf

HIETANEN, Maila, ANTTONEN, Hannu, JOKELA, Kari ja JUUTILAINEN, Jukka 1988. Voimajohtojen sähkö- ja magneettikenttien biologiset vaikutukset ja terveyshaitat. Kauppa- ja teollisuusministeriö. Energiaosasto. VAPK Kampin VALTIMO. [Viitattu 2017-03-28.]

EMFs 2017. EMFs.info. Electric and magnetic fields and health. Päivitetty 2018. Saatavissa: <http://www.emfs.info/>

TILASTOKESKUS 2017. Sähkön hankinta ja kokonaiskulutus, GWh. Päivitetty 20.12.2017. [Viitattu 2018-02-08.] Saatavissa: http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ene__ehk/

IEC 62110. International standard. Electric and magnetic field levels generated by AC power systems – Measurement procedures with regard to public exposure. Vahvistettu 2009.

MITTAUSTEK 2017. Yritysesittely (2017-02-26). Ei julkisesti saatavilla.

JYU. Jyväskylän Yliopisto. 1.3 Sähkövirta ja magneettikenttä. [verkkojulkaisu]. Saatavissa: <http://users.jyu.fi/~hejajama/opetus/lukio/virtajohdin.pdf> ja https://www.jyu.fi/science/opiskelu-ohjeet/fysiikka/tyoosasto/tyot/fysa220/fysa220_1.pdf

TECHOPEDIA. Fluxgate magnetometer. [viitattu 2018-02-08.] Saatavissa: <https://www.techopedia.com/definition/16487/fluxgate-magnetometer>

LIITE 1: MITTAUSRAPORTTI

Mittaustek Oy14.4.2017 MO
T.Ah**MAGNEETTIKENTTÄ
MITTAUSRAPORTTI****ASIAKKAAN NIMI****VOIMAJOHTO-OSUUS XXX-XXX****Sisällysluettelo**

1	YHTEENVETO.....	2
2	MITTAUSMENETELMÄ.....	2
3	KÄYTETYT MITTALAITTEET.....	2
4	MITTAUSTULOKSET JA RAJA-ARVOT.....	3
5	MITTAUSTULOSTEN ANALYYSI.....	3
6	TOIMENPIDESUOSITUKSET.....	3
7	LIITTEET:	
	1. Magneettikenttämittauksen mittauspöytäkirja	

1 YHTEENVETO

Työntekijöiden osalta:

Mittaustulokset **alittavat** asetuksen 388/2016 **matalan sekä korkean toimenpidetason**.

Mittaustulokset ja toimenpidetasot ovat esitetty kappaleessa 4.

Väestön osalta:

Mittaustulokset **alittavat** asetuksen 294/2002 suositusarvon.

Mittaustulokset ja suositusarvot ovat esitetty kappaleessa 4.

2 MITTAUSMENETELMÄ

Mittaus suoritettiin standardin IEC 62110 mukaisella magneettikentän yksipistemittausmenetelmällä. Mittauskorkeus on 1,0 m maasta ja voimajohtoilla voidaan suorittaa yksipistemittaus.

3 KÄYTETYT MITTALAITTEET

Mittalaite:	Sarjanumero:
Hioki FT 3470-50	150903917
Magneettikenttämittari	
Hioki 100cm ²	
Mittapää	
Bosch PLR 30	691712559
Lasereäisyysmittari	

4 MITTAUSTULOKSET JA RAJA-ARVOT

Työntekijöiden osalta raja-arvoina käytetään direktiivissä 2013/EU/35 (Valtioneuvoston asetus 388/2016) määritettyjä toimenpidetasoja ja väestön osalta Sosiaali- ja Terveysministeriön asetuksen 294/2002 mukaisia suositusarvoja.

Voimajohto-osuus	Mittauspiste	Mittaus-tulos [μ T]	Raja-arvot [μ T]			Ylittääkö raja-arvon?		
			matala toimenpidetaso	korkea toimenpidetaso	väestön raja-arvo	matala toimenpidetaso	korkea toimenpidetaso	väestön raja-arvo
1	1	0,72	1000	6000	100	ei ylity	ei ylity	ei ylity
2	1	0,31	1000	6000	100	ei ylity	ei ylity	ei ylity
3	1	0,50	1000	6000	100	ei ylity	ei ylity	ei ylity
4	1	2,42	1000	6000	100	ei ylity	ei ylity	ei ylity

5 MITTAUSTULOSTEN ANALYYSI

Jakeluverkkoyhtiön neljällä eri 110 kV:n voimajohto-osuudella suoritettujen magneettikenttämittausten tulokset on esitetty kappaleen 4 taulukossa.

Tuloksista nähdään kaikkien voimajohto-osuuksien alittavan työntekijöiden osalta vaaditut toimenpidetasot ja myös väestön osalta vaaditun raja-arvon.

Suurin mittaustulos 2,42 $\mu\Omega$ saatiin voimajohto-osuudella 4. Työntekijällä, jolla on esimerkiksi sydämentahdistin tai jokin muu implantoitu laite, häiriintymisen toimenpidetasoksi on määritetty 0,5 mT eli 500 μ T. Suurin saatu tulos jää huomattavasti myös tämän arvon alle.

6 TOIMENPIDESUOSITUKSET

Saadut mittaustulokset alittavat määritetyt toimenpidetasot ja raja-arvot työntekijöiden ja väestön osalta. Toimenpiteitä ei tarvita.

