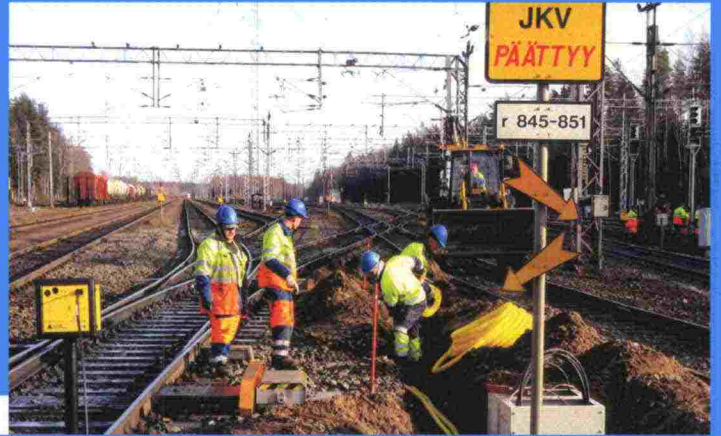


# Sähkömagneettisten kenttien kartoitus Ratahallintokeskuksen hallinnoimalla rataverkolla



Tommi Alanko - Matti Leikas - Carita Aschan -  
Maila Hietanen



Ratahallintokeskuksen  
julkaisu A 2/2009

Sähkömagneettisten kenttien kartoitus  
Ratahallintokeskuksen hallinnoimalla rataverkolla

Tommi Alanko  
Matti Leikas  
Carita Aschan  
Maila Hietanen

Helsinki 2009

**Ratahallintokeskus**

Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 2/2009

ISSN 1455-2604

ISBN 978-952-445-270-0

Verkkajulkaisu pdf ([www.rhk.fi](http://www.rhk.fi))

ISSN 1797-6995

ISBN 978-952-445-271-7

Kannen ulkoasu: Proinno Design Oy, Sodankylä

Kansikuva: Matti Leikas

Paino: Kopijyvä Oy, Kuopio

Helsinki 2009

**Alanko, Tommi – Leikas, Matti – Aschan, Carita – Hietanen, Maila. Sähkömagneettisten kenttien kartoitus Ratahallintokeskuksen hallinnoimalla rataverkolla.** Ratahallintokeskus, Rataverkko-osasto. Helsinki 2009. Ratahallintokeskuksen julkaisu A 1/2009. 32 sivua. ISBN 978-952-445-270-0, ISBN 978-952-445-271-7 (pdf), ISSN 1455-2604, ISSN 1797-6995 (pdf)

**Asiasanat:** sähkömagneettiset kentät, ammatillinen altistuminen, terveystaita

## **TIIVISTELMÄ**

Työntekijöiden ja väestön altistumista sähkömagneettisille kentille tutkittiin Ratahallintokeskuksen hallinnoiman rataverkon alueella. Tutkimuksen taustalla olivat kansainväliset suositukset altistumisen rajoittamisesta sekä lisääntynyt yleinen keskustelu ja huolestuneisuus sähkömagneettisten kenttien aiheuttamista mahdollisista terveyshaitoista.

Tutkimus suoritettiin eri työtilanteissa ja -tehtävissä, joita esiintyy rautatieverkon alueella. Mittauksia tehtiin sekä yleisölle avoimissa paikoissa (rautatieasemilla) että vain työntekijöille sallituilla alueilla (syöttöasemat, varavoimalaitokset, ratatyöt, jne.). Mittauskohteet valittiin siten, että ne edustivat mahdollisimman hyvin työntekijöiden osalta tyypillisiä työtilanteita sekä väestön osalta normaaleja tilanteita esimerkiksi odottaessa junan tuloa asemalaiturilla. Mitattuja sähkömagneettisten kenttien voimakkuuksia verrattiin erikseen työntekijöitä ja väestöä koskeviin suosituksiin. Mittaustulokset osoittivat, että sähkömagneettisten kentät eivät ylitä työntekijöihin tai väestöön sovellettavia suositusarvoja eikä siten ole tarvetta välittömiin jatkotoimenpiteisiin.

**Alanko, Tommi – Leikas, Matti – Aschan, Carita – Hietanen, Maila. Undersökningen av el- och magnetfält inom Banförvaltningens verksamhetsområden.** Banförvaltningscentralen, Bannätsavdelningen. Helsingfors 2009. Banförvaltningscentralens publikationer A 2/2009. 32 sidor. ISBN 978-952-445-270-0, ISBN 978-952-445-271-7 (pdf), ISSN 1455-2604, ISSN 1797-6995 (pdf)

**Sakord:** el-och magnetfält, yrkesexponering, hälsofara

## **SAMMANDRAG**

Arbetstagares och befolkningens exponering för el- och magnetfält undersöktes inom Banförvaltningens verksamhetsområden. Bakgrunden för undersökningen var de internationella rekommendationerna för begränsade av exponeringen och den ökande allmänna oron för eventuella hälsorisker i samband med exponering för el- och magnetfält.

Undersökningen utfördes i olika arbetssituationer och -uppgifter inom Banförvaltningens verksamhetsområde. Mätningar utfördes dels inom områden öppna för allmänheten (järnvägsstationer), dels på områden där endast personal har tillträde (matarstationer, reservkraftverk, banarbetsplatser, osv.). Mätplatserna representerade typiska arbets-situationer för arbetstagare och normala situationer för befolkningen, t.ex. väntande på att tåget skall anlända till perrongen. De uppmätta fältstyrkorna för el- och magnetfält jämfördes med exponeringsrekommendationerna för arbetstagare och för befolkningen. Mätresultaten visade att el- och magnetfältens fältstyrka inte överskred de rekommendationer som används för arbetstagares- eller befolkningens exponering för el- och magnetfält och därför finns det inget omedelbart behov för fortsatta åtgärder.

**Alanko, Tommi – Leikas, Matti – Aschan, Carita – Hietanen, Maila. Measurement of electromagnetic fields at railway network surroundings.** Finnish Rail Administration, Rail Network Department. Helsinki 2009. Publications of the Finnish Rail Administration A 2/2009. 32 pages. ISBN 978-952-445-270-0, ISBN 978-952-445-271-7 (pdf), ISSN 1455-2604, ISSN 1797-6995 (pdf)

**Key words:** electromagnetic fields, occupational exposure, health hazard

## **SUMMARY**

Exposure of workers and the general public to electromagnetic fields (EMFs) was investigated at railway network surroundings administered by the Finnish Rail Administration. The bases for the study were the international restrictions for EMF exposure, as well as the increased discussion and concern about potential adverse health effects of EMFs.

The project was carried out at various work tasks and situations. The measurements were made both at areas open to the public (railway stations) and at areas restricted only to workers (supply stations, standby power plant, railway construction areas, etc). The measurements were selected to represent either typical work conditions or normal situations for the general public, such as waiting for the arriving train on the platform. The measured field strengths were compared separately with the occupational and general public guidelines. The measurement results indicated that EMFs do not exceed recommended exposure values and hence there is no need for further actions at the moment.

## ALKUSANAT

Ratahallintokeskus käynnisti syksyllä 2008 selvitystyön, jonka tavoitteena oli mitata työntekijöiden ja yleisön altistumista sähkömagneettiselle säteilylle Ratahallintokeskuksen hallinnoimalla rataverkolla. Mittaustuloksia verrattiin kansainvälisiin suosituksiin. Tällöin voitiin todeta, että sähkömagneettisten kenttien voimakkuus ei ylitä suositusarvoja, eikä tarvetta esimerkiksi uusien työsuojelumääräysten antamiseen ole.

Tutkimuksen on tilannut ja rahoittanut Ratahallintokeskus. Työtä on ohjannut ylitarkastaja Jari Viitanen.

Tutkimuksen on tehnyt Työterveyslaitos. Mittauksista ja raportin kirjoittamisesta ovat vastanneet Tommi Alanko, Matti Leikas, Carita Aschan ja Maila Hietanen.

Helsingissä, tammikuussa 2009

Ratahallintokeskus  
Rataverkko-osasto

## SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	3
SAMMANDRAG.....	4
SUMMARY .....	5
ALKUSANAT.....	6
1 JOHDANTO .....	8
2 ALTISTUMISRAJAT .....	10
2.1 Työntekijöiden altistumista koskevat säädökset.....	10
2.1.1 Altistumisen raja-arvot .....	10
2.1.2 Toiminta-arvot.....	11
2.2 Väestön altistumista koskevat säädökset .....	11
2.2.1 Perusrajoitukset .....	11
2.2.2 Viitearvot.....	12
2.3 Kokonaisaltistumisen määrittäminen.....	13
3 MITTAUSMENETELMÄ.....	14
4 MITTAUSKOHTEET JA TULOKSET .....	15
4.1 Asetinlaite .....	15
4.2 Syöttöasema .....	16
4.2.1 Syöttöaseman relekoestus.....	17
4.3 Sähköratatyöt .....	20
4.3.1 Vaihteenlämmityksen asennustyö .....	21
4.3.2 Turvalaitteen asennustyö .....	21
4.3.3 Toimistovaunu .....	22
4.3.4 Käyttömaadoituspylväs .....	23
4.4 Varavoimalaitos .....	23
4.5 Rautatieasemat .....	24
5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	31
KIRJALLISUUS .....	32



## 1 JOHDANTO

Alle 100 kHz sähkömagneettisia kenttiä nimitetään pientaajuisiksi kentiksi (ELF, Extremely Low Frequency). Pientaajuiset kentät ovat ionisoimatonta sähkömagneettista säteilyä, jota syntyy sähköön tuotannossa, siirrossa, jakelussa ja käytössä. Rautatie-liikenteessä sekä työntekijät että matkustajat altistuvat pääasiassa pientaajuisille 50 Hz sähkö- ja magneettikentille.

Pientaajuiset sähkökentät aiheuttavat pintavarauksen ihoon, mikä synnyttää heikkoja induktiovirtoja kehon sisään. Vastaavasti pientaajuiset magneettikentät aiheuttavat sähkökenttiä ja pyörrvirtoja suoraan kehon sisälle. Ihminen voi havaita nämä kentät ja virrat kihelmöinnin tunteena lihaksissaan ja tuntohermoissaan, kun kentän voimakkuudet ovat erittäin suuria. Voimakkaat induktiovirrat ovat vaarallisia, koska ne voivat aiheuttaa sydämen kammioväriä tai hengityksen lamaantumisen. Koska kehon sisään indusoituva virtatiheys kasvaa taajuuden funktiona, hermoston tai sydämen stimulaatio edellyttää voimakasta ulkoista kenttää ELF- taajuuksilla.

Voimakkaassa magneettikentässä fosfeenien eli valoilmioiden aistiminen on mahdollista: indusoituneiden virtojen vuorovaikutus silmän verkkokalvon herkkien solujen kanssa voidaan aistia valovälähdyksinä. Koehenkilöt ovat kokeneet näitä magnetofosfeeneita altistuessaan 3–5 mT ylittävälle magneettikentille. Magnetofosfeeni-ilmion kynnysvirtatiheys 20 Hz taajuudella on noin 10 mA/m<sup>2</sup>. Muilla taajuuksilla tarvitaan suurempi ulkoinen kenttä visuaalisen aistimuksen tuottamiseksi.

Voimakkaiden sähkö- ja magneettikenttien aiheuttamat biologiset vaikutukset ovat yleisesti tunnettuja, kun taas heikkojen kenttien tai pitkäaikaisen altistumisen biologiset vaikutusmekanismit ovat epäselviä. Niiden epäiltyjä terveysvaikutuksia, erityisesti mahdollista syöpäriskiä, on tutkittu jo vuosikymmenien ajan. Epidemiologisten lapsi-leukemiahavaintojen perusteella kansainvälinen syöväntutkimuslaitos The International Agency for Research on Cancer (IARC) on luokitellut pientaajuiset magneettikentät luokkaan ”mahdollisesti karsinogeeniset”.

Rautatiehenkilöstön altistumista sähkö- ja magneettikentille sekä rautatieliikenteessä esiintyvien pientaajuisien kenttien voimakkuuksia työ- ja yleisötiloissa on Suomessa aiemmin selvitetty 1990-luvun alussa [1]. Veturimiesten ja osan kaluston sekä radan kunnossapidon ja rakentamisen henkilöstöstä arvioitiin voivan altistua työssään pitkäaikaisesti taustatasoa korkeammille sähkömagneettisille kentille. Myös yleisön arvioitiin voivan altistua lyhytaikaisesti asema-alueen ja kaluston sähkölaitteiden sekä kaapeleiden läheisyydessä. Tutkimuksessa mitatut sähkö- ja magneettikentät eivät ylittäneet kansainvälisiä normeja työntekijöiden tai yleisön oleskelualueilla. Paikoitellen havaittiin kuitenkin sellaisia magneettikentän voimakkuuksia, jotka voivat aiheuttaa häiriöitä joihinkin sydäntahdistinmalleihin. Tutkimuksen loppuraportissa suositeltiinkin varoittamaan tahdistimien käyttäjiä kyseisestä häiriömahdollisuudesta sekä kiinnittämään huomiota erityisesti kuumentimien sijoittamiseen konepajassa ja varoitustjärjestelmän kehittämiseen siten, että ohikulkijat eivät altistu kentille.

Koska sekä yleinen keskustelu ja huolestuneisuus sähkömagneettisten kenttien aiheuttamista mahdollisista terveyshaitoista on lisääntynyt viime vuosina, pidettiin tarpeellisena selvittää tarkemmin sekä työntekijöiden että ns. suuren yleisön altistumista sähkö- ja magneettikentille Ratahallintokeskuksen hallinnoimissa kohteissa. Tutkimus-

tarpeeseen vaikuttivat myös sähkörataverkon uudistetut virransyöttöjärjestelmät, kuten 2 x 25 kV systeemi oikoradalla, sekä aikaisempaa monipuolisemmat mittauslaitteistot ja -menetelmät, joilla voitiin entistä luotettavammin määrittää todelliset altistumistasot.

## 2 ALTISTUMISRAJAT

### 2.1 Työntekijöiden altistumista koskevat säädökset

Euroopan Unionin parlamentin ja neuvoston direktiivi (2004/40/EY) työntekijöiden suojelemiseksi sähkömagneettisille kentille altistumisesta aiheutuvalta riskeiltä (ns. "SM-direktiivi") vahvistettiin huhtikuussa 2004, ja se oli määrä saattaa voimaan kansallisesti viimeistään huhtikuussa 2008 [2]. Direktiivin voimaansaattamista on kuitenkin siirretty vuoden 2012 huhtikuun loppuun. Siirron taustalla on ollut epävarmuus direktiivin vaikutuksista, joihin halutaan saada lisäselvennystä.

Direktiivissä on esitetty vähimmäisvaatimukset työntekijöiden suojelemiseksi. Sen mukaan työnantajan velvollisuutena on arvioida ja tarvittaessa mitata ja/tai laskea sähkömagneettisten kenttien tasot, joille työntekijät altistuvat. SM-direktiivissä annetut raja-arvot perustuvat kansainvälisen ionisoimattoman säteilyn komission (ICNIRP, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) suosituksiin, jotka ovat kansainvälisesti laajasti hyväksytyjä. ICNIRP:n antamat ohjearvot työntekijöiden ja väestön altistumisen perusrajoiksi ja viitearvoiksi on julkaistu Health Physics -lehdessä vuonna 1998 [3].

SM-direktiivissä annetaan kaksitasoiset altistumisrajat sähkömagneettisille kentille. Työntekijöiden altistuminen ei saa missään tilanteessa ylittää direktiivissä vahvistettuja **altistumisen raja-arvoja**. Näitä rajoja noudattamalla varmistetaan, että työntekijöitä suojellaan kaikilta sähkömagneettisten kenttien tunnetuilta terveyshaitoilta. Käytännön altistumismittauksiin tarkoitettuja **toiminta-arvot** on määritetty suoraan mitattavissa olevina suureina. Toiminta-arvojen alittaminen varmistaa vastaavien altistumisen raja-arvojen noudattamisen.

#### 2.1.1 Altistumisen raja-arvot

SM-direktiivissä esitetyt altistumisen raja-arvot perustuvat osoitettuihin terveysvaikutuksiin ja biologisiin tekijöihin. Direktiivissä annetaan vähimmäisvaatimukset sähkömagneettisille kentille taajuusalueella 0 Hz - 300 GHz. Koska rataverkolla altistutaan pientaajuisille kentille, tässä raportissa on esitetty altistumisen raja-arvot ja vastaavat toiminta-arvot alle 100 kHz taajuuksille. Altistumisen raja-arvojen määrittämiseen käytetty suure on tällöin virrantiheys (J). Rajoitusten tarkoituksena on estää sydän- ja verisuonijärjestelmään sekä keskushermostoon ja sen toimintaan kohdistuvat vaikutukset. Työntekijöitä koskevat altistumisrajat ELF taajuuksilla on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Altistumisen raja-arvot alle 100 kHz taajuuksilla;  $f$  on taajuus hertseinä (Hz).

Taajuus, $f$	Pään ja vartalon virrantiheys, $J$ (mA/m <sup>2</sup> ) (rms)
enintään 1 Hz	40
1– 4 Hz	40/ $f$
4–1 000 Hz	10
1 000 Hz – 100 kHz	$f/100$

### 2.1.2 Toiminta-arvot

Työntekijöitä koskevat toiminta-arvot ilmaistaan suoraan mitattavissa olevien suureiden avulla. Toiminta-arvojen määrittämiseen käytettäviä suureita ovat alle 100 kHz taajuuksilla sähkökentän voimakkuus (E), magneettikentän voimakkuus (H) ja magneettivuon tiheys (B). Toiminta-arvot alle 100 kHz taajuisille sähkö- ja magneettikentille on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Työntekijöiden altistumista koskevat toiminta-arvot alle 100 kHz taajuuksilla;  $f$  on taajuus taajuussarakkeessa ilmoitettuna yksikköinä.

Taajuus, $f$	Sähkökentän voimakkuus, E (V/m)	Magneettikentän voimakkuus, H (A/m)	Magneettivuon tiheys, B ( $\mu$ T)
0–1 Hz	-	$1,63 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$
1–8 Hz	20 000	$1,63 \cdot 10^5 / f^2$	$2 \cdot 10^5 / f^2$
8–25 Hz	20 000	$2 \cdot 10^4 / f$	$2,5 \cdot 10^4 / f$
0,025–0,82 kHz	$500 / f$	$20 / f$	$25 / f$
0,82–2,5 kHz	610	24,4	30,7
2,5–65 kHz	610	24,4	30,7
65–100 kHz	610	$1\,600 / f$	$2\,000 / f$

Enintään 100 kHz:n taajuuksien osalta kentänvoimakkuuksien huipputoiminta-arvot lasketaan kertomalla tehollisarvo (rms)  $2^{1/2}$ :lla. Kun pulssin kesto on  $t_p$ , altistumisen toiminta-arvoissa sovellettava vastaava taajuus olisi laskettava kaavalla  $f = 1/(2t_p)$ .

Rataverkolla työntekijät altistuvat pääasiassa 50 Hz sähkö- ja magneettikentille. Työntekijöitä koskevat toiminta-arvot ovat 50 Hz taajuudella **10 kV/m** [E] ja **500  $\mu$ T** [B].

## 2.2 Väestön altistumista koskevat säädökset

Euroopan Unionin neuvosto antoi heinäkuussa 1999 suosituksen (1999/519/EY) väestön sähkömagneettisille kentille (0 Hz – 300 GHz) altistumisen rajoittamisesta [4]. Suositus vahvistettiin Suomessa sosiaali- ja terveysministeriön asetuksena (294/2002) (ns. "SM-asetus") [5].

Kuten SM-direktiivissäkin SM-asetuksessa annetaan kaksitasoiset altistumisrajat sähkömagneettisille kentille. Väestön altistuminen ei saa missään tilanteessa ylittää asetuksessa vahvistettuja **perusrajoituksia**. Näitä rajoja noudattamalla varmistetaan, että väestöä suojellaan kaikilta sähkömagneettisten kenttien tunnetuilta terveyshaitoilta. Käytännön altistumismittauksiin tarkoitettut **viitearvot** on määritetty suoraan mitattavissa olevina suureina. Viitearvojen alittaminen varmistaa vastaavien perusrajoitusten noudattamisen.

### 2.2.1 Perusrajoitukset

Väestöasetuksessa esitetyt perusrajoitukset perustuvat osoitettuihin terveysvaikutuksiin ja biologisiin tekijöihin. Perusrajoitusten määrittämiseen käytetty suure alle 100 kHz

taajuuksilla on virrantiheys (J). Väestön perusrajoitukset ovat viidesosa vastaavista työntekijöiden altistumisen raja-arvoista. Väestöä koskevat perusrajoitukset ELF-taajuuksilla on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Perusrajoitukset alle 100 kHz taajuuksilla;  $f$  on taajuus hertseinä (Hz).

Taajuus, $f$	Virrantiheys, $J$ (mA/m <sup>2</sup> ) (rms)
>0–1 Hz	8
1–4 Hz	8/ $f$
4–1 000 Hz	2
1 000 Hz – 100 kHz	$f/500$

### 2.2.2 Viitearvot

Väestöä koskevat viitearvot ilmaistaan suoraan mitattavissa olevien suureiden avulla. Viitearvojen määrittämiseen käytettäviä suureita ovat alle 100 kHz taajuuksilla sähkökentän voimakkuus (E), magneettikentän voimakkuus (H) ja magneettivuon tiheys (B). Viitearvot alle 100 kHz taajuisille sähkö- ja magneettikentille on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Väestön altistumista koskevat viitearvot ELF taajuuksilla;  $f$  on taajuus taajuussarakkeessa ilmoitettuina yksikköinä.

Taajuus, $f$	Sähkökentän voimakkuus, E (V/m)	Magneettikentän voimakkuus, H (A/m)	Magneettivuon tiheys, B (μT)
0–1 Hz	-	$3,2 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$
1–8 Hz	10 000	$3,2 \cdot 10^4 / f^2$	$4 \cdot 10^4 / f^2$
8–25 Hz	10 000	4 000/ $f$	5 000/ $f$
0,025–0,8 kHz	250/ $f$	4/ $f$	5/ $f$
0,8–3 kHz	250/ $f$	5	6,25
3–150 kHz	87	5	6,25

Rautatieliikenteessä väestö altistuu pääasiassa 50 Hz sähkö- ja magneettikentille. Väestön altistumista koskevat viitearvot ovat 50 Hz taajuudella **5 kV/m** [E] ja **100 μT** [B].

### 2.3 Kokonaisaltistumisen määrittäminen

Altistuttaessa eri taajuisille sähkömagneettisille kentille kokonaisaltistumiselle lasketaan suhdeluku, joka saadaan jakamalla mitatut kentänvoimakkuudet vastaavalla toiminta- tai viitearvolla ja summaamalla ne yhteen. Altistuminen on alle ohjearvojen suhdeluvun ollessa korkeintaan 1:

$$\sum_{i=1\text{Hz}}^{1\text{MHz}} \frac{E_{\text{mitattu},i}}{E_{\text{ohjearvo},i}} \leq 1 \quad (1)$$

$$\sum_{i=1\text{Hz}}^{65\text{kHz}} \frac{B_{\text{mitattu},i}}{B_{\text{ohjearvo},i}} \leq 1 \quad (2)$$

missä  $E_{\text{mitattu},i}$  tai  $B_{\text{mitattu},i}$  on mitattu kentän voimakkuus ja  $E_{\text{ohjearvo},i}$  tai  $B_{\text{ohjearvo},i}$  on kyseistä taajuutta vastaava toiminta- tai viitearvo. Näiden suhdelukujen ollessa korkeintaan 1 estetään indusoituvien virtojen ja sähköisten stimulaatioiden haitalliset vaikutukset.

Suhdeluku voidaan myös ilmoittaa prosentteina (tai promilleina) sallitusta tasosta, jolloin suhdeluku 1 vastaa 100 % (tai 1000 ‰). Näin laskettu suhdeluku perustuu pahimpaan mahdolliseen altistumistilanteeseen, jossa eri taajuuksille altistumisen oletetaan kumuloituvan.

### 3 MITTAUSMENETELMÄ

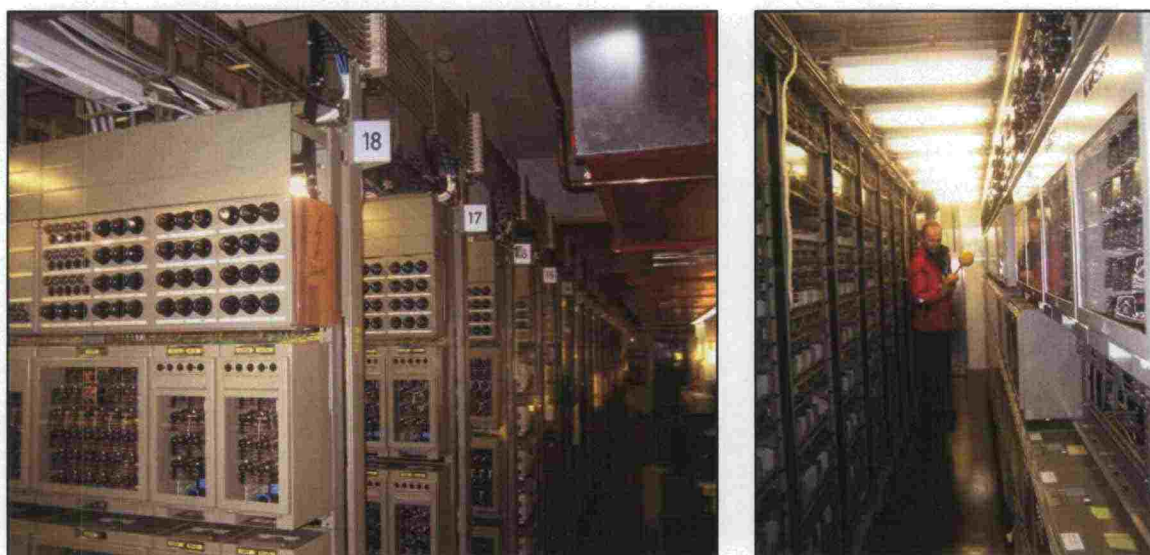
Magneettikentän mittauksissa käytettiin Narda ELT-400 mittaria (1 Hz – 400 kHz), joka ilmaisee magneettivuon tiheyden ( $\mu\text{T}$ ) lisäksi magneettikentän voimakkuuden verrattuna työntekijöille tai väestölle sovellettaviin altistumisrajiin. Tulos esitetään prosentteina, jolloin 100 % vastaa suurinta sallittua altistumistasoa magneettikentille. Mittari ottaa automaattisesti huomioon eri taajuuksille sovellettavat altistumisrajat. Lisäksi työntekijöiden altistumista magneettikentille seurattiin henkilökohtaisilla magneettivuon tiheyden mittareilla (Combinova FD3). Combinova tallensi magneettivuon tiheyden kellon ajan mukaan, mikä mahdollisti päivittäisen altistumisen seuraamisen eri työtehtävissä. Sähkökentän mittaukset tehtiin Narda EFA-300 mittarilla (taajuusalue 5 Hz – 32 kHz) sähkökentän voimakkuuden (V/m) tehollisarvoina (rms).

Mittauspisteet valittiin siten, että ne kuvasivat hyvin erilaisia työtilanteita. Erityisesti pyrittiin löytämään sellaiset tilanteet, joissa työntekijä voi altistua tavallista suuremmille kentille. Magneettikentän mittaus on käytännössä helpompaa kuin sähkökentän, koska mittaaja ei häiritse mittaustapahtumaa. Tämän vuoksi työntekijöille voitiin antaa käyttöön henkilökohtaisia magneettivuon tiheyden mittareita työtilanteiden mittaamista varten. Sähkökentän mittaaminen on haastavampaa, koska mittaaja häiritsee mittaustilannetta, mikäli hän on liian lähellä mitta-anturia. Sähkökentän mittaukset on tehtävä häiriöttömässä tilanteessa, jolloin sekä mittaajan että työntekijän on oltava riittävän kaukana mitattavasta paikasta. Koska EFA-300 mittarin mitta-anturi on valokaapelilla sähköisesti eristetty lukulaitteesta, sitä kautta ei syntynyt häiriöitä mittaustilanteeseen.

## 4 MITTAUSKOHTEET JA TULOKSET

### 4.1 Asetinlaite

Asetinlaitteella ohjataan keskitetysti vaihteita ja opastimia siten, että juna pääsee kulkemaan turvallista reittiä. Mittaukset tehtiin sekä rele- että tietokoneasetinlaitteilla. Releasetinlaite mitattiin Helsingissä (Linnunlaulu, asetinlaite 1). Relehuoneessa (kuva 1) magneettivuon tiheydet olivat suurimmillaan 5 % työntekijöitä koskevista toiminta-arvoista ( $< 20 \mu\text{T}$ ). Keskimäärin kentänvoimakkuudet olivat noin 2 % toiminta-arvosta relehuoneessa. Asetinlaite 1 varavoimahuoneessa tasot olivat alle 5 %, virransyöttöhuoneessa alle 1,5 % ja akkuhuoneessa alle 1,5 % työntekijöiden toiminta-arvoista.



Kuva 1. Relehuone (Linnunlaulu, asetinlaite 1)

Tietokoneasetinlaite mitattiin Huopalahdessa, jossa laitetilassa magneettikenttä oli keskimäärin 3 % toiminta-arvoista (kuva 2). Voimakkain kenttä oli äänitaajuusraidepiirin takaosan pinnassa (15 % toiminta-arvosta, noin  $20 \mu\text{T}$ ). Laitteen etupuolella kentän voimakkuus oli 7 % toiminta-arvosta. Virransyöttöhuoneessa kenttien taso oli alle 0,5 % ja akkuhuoneessa alle 2 % toiminta-arvoista.





*Kuva 2. Tietokoneasetinlaite Huopalahdessa. Äänitaajuusraidepiiri on merkitty nuolella oikeanpuoleiseen kuvaan.*

#### 4.2 Syöttöasema

Syöttöasema on kytkinlaitos, josta syötetään tehoa sähköradalle. Mittauksia tehtiin Ilmalan syöttöasemalla, jossa on 12,5 MVA muuntaja. Sekä syöttöasemien sisätiloissa että ulkona syöttöasemaa suojaavan aidan sisäpuolella tehtiin mittauksia. Sisemmän turva-aidan sisäpuolella ei tehty mittauksia, koska siellä ei oleskella tehojen ollessa päällä. Sisätiloissa mitattiin magneettivuon tiheydeksi katkaisijoiden lähellä 3–10 % (noin 15  $\mu\text{T}$ ) ja relehuoneessa 3 % toiminta-arvoista. Ulkona magneettivuon tiheydet olivat noin 3 % toiminta-arvosta. Loistehon suodatin oli rikkoutunut, joten se ei ollut mittausten aikana käytössä. Sähkökentät olivat 2,5 kV/m erottimien alla (kuva 3) ja 1,9 kV/m 110 kV johtimien alla (Kuva 4). Muuntajan vieressä sähkökentän voimakkuus oli 500 V/m ja 25 kV johtimien alla, metalliaitojen välissä, 350 V/m.

Loistehon kompensointipiiriin ja kelan magneettikenttiä tutkittiin myös Hyvinkään Pikkusuon syöttöasemalla. Laitteistoja suojaavan aidan takana magneettivuon tiheys oli 4  $\mu\text{T}$  ilman kuormaa ja 4,5  $\mu\text{T}$  100 A kuormituksella. Aitauksen sisäpuolella 1 m etäisyydellä kelasta magneettivuon tiheys oli 290  $\mu\text{T}$  ilman kuormaa, mikä vastaa painotettuna 55 % työntekijöiden toiminta-arvosta. Kuormitusvirran ollessa 100–200 A painotettu arvo oli 80 %.



*Kuva 3. Erottimien alla tehtävä sähkökentän mittaus.*

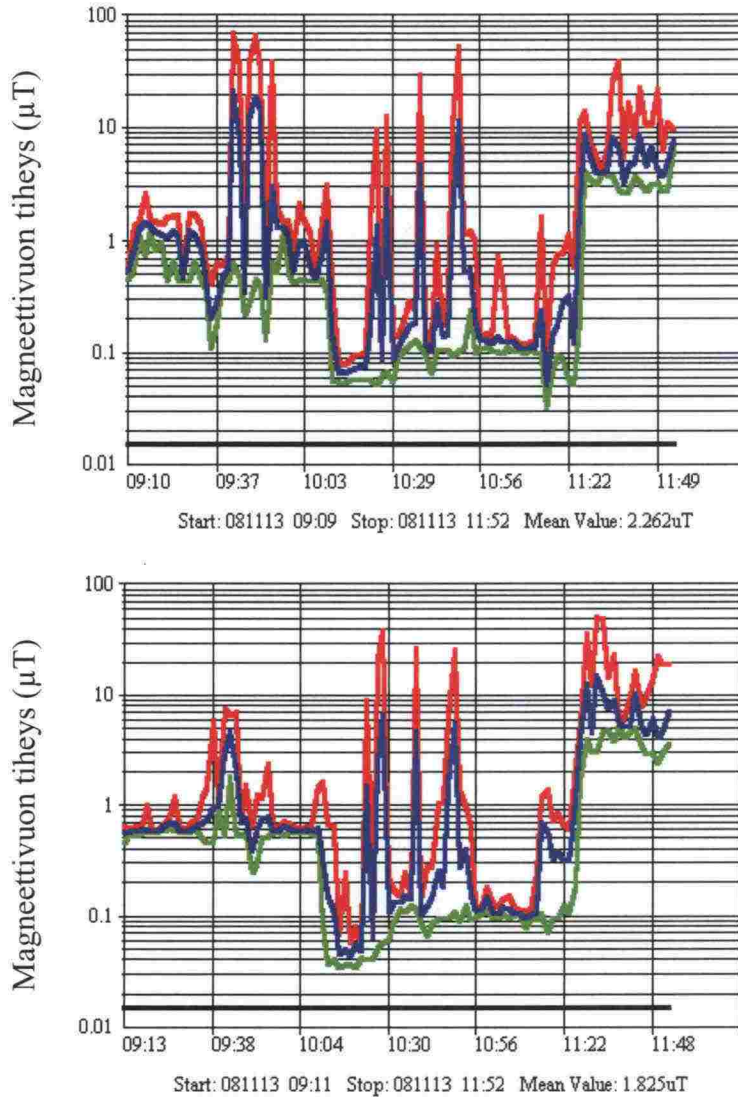


*Kuva 4. Mittaustilanne 110 kV johtimien alla.*

#### **4.2.1 Syöttöaseman relekoestus**

Syöttöaseman relekoestuksen yhteydessä tehtiin Viialassa Arometsän syöttöasemalla sähkömagneettisten kenttien mittauksia. Relekoestuksessa syöttöasema on erotettu rataverkosta ja toinen vaihepari myös sähköverkosta. Testeissä käytettävät virrat ovat koestusvirtoja. Relekoestuksen yhteydessä mitattiin magneettivuon tiheyksiä ja sähkökentän voimakkuuksia sekä sisä- että ulkotiloissa. Työntekijöiden altistumista magneettikentille työtehtävissä mitattiin henkilökohtaisilla mittareilla, jotka rekisteröivät magneettivuon tiheyden (kuva 5).

Suurimmat henkilökohtaiset lukemat olivat  $80 \mu\text{T}$  ja  $50 \mu\text{T}$  (huippuarvot). Suuret kentän voimakkuudet aiheutuivat sisällä tehdystä kytkimien ylimenovastuksen mittauksesta (kello 11:20 eteenpäin), jolloin virta johtimissa oli ollut  $400 \text{ A}$  ja  $500 \text{ A}$  ja aiemmin aamulla (9:30 eteenpäin) tehdystä virtamuuntajan testauksesta ulkona.



*Kuva 5. Syöttöaseman relekoestuksen yhteydessä mitatut kahden työntekijän henkilökohtaiset altistumiset. Punainen viiva on magneettivuon tiheyden huippuarvo ja vastaavasti sininen on keskimääräinen ja vihreä minimi keskiarvostusaikana. Huomaa logaritminen skaala.*

Syöttöasemalla voimakkaimmat magneettivuon tiheydet olivat kuristimen lähellä (kuva 6) ja suurimmat sähkökentänvoimakkuudet välierottimen johtimien alla (kuva 7), joka on pääerottimia alempana. Muutoin kentänvoimakkuudet olivat vähäisiä (Taulukko 55).

Taulukko 5. Arometsän syöttöasemalla mitatut kentänvoimakkuudet.

	Magneettivuon tiheys B ( $\mu\text{T}$ , rms)	Altistuminen toiminta-arvosta (%) Magneetikenttä	Sähkökentän voimakkuus (V/m)
Reletilan valvomo: yleistaso	0,5-1	0,4-0,6	
nurkka ohjauskaapelit (0,5 m etäisyys)	5	1,5	
Kytkeitä: etuosa, ei suurjännitettä	1,5	0,6	10
peräosa, 25 kV	8	2	160
kytkimen ylimenovastuksen mittausta			
mikro-ohmimittari 400 A	21	5	-
virransyöttölaite 500 A	25	5	-
Ulkona:			
Kuristin 1,5 m (aidan takaa), ei kuormitusta	130	28	150
Vastus (1 m etäisyys)	30	6	-
110 kV:n johtimen alla lähellä muuntajaa	0,3		1900
5 m sivuun			1350
10 m sivuun			620
Väliserotuksen johtimen alla			4000
110 kV johtimien alla, ennen erotinta			3900



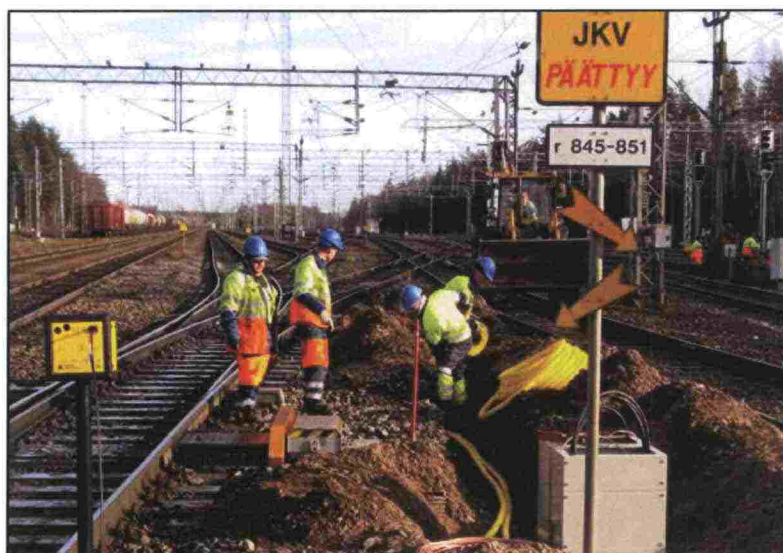
Kuva 6. Työskentelyä kuristimen ja vastuksen vieressä. Kuristimessa ei ole virtaa ja työntekijä on vastuksen takana.



*Kuva 7. Välierotin sähkökentän mittalaitteen kohdalla, taustalla Y:n muotoiset pääerottimet.*

### 4.3 Sähköratatyöt

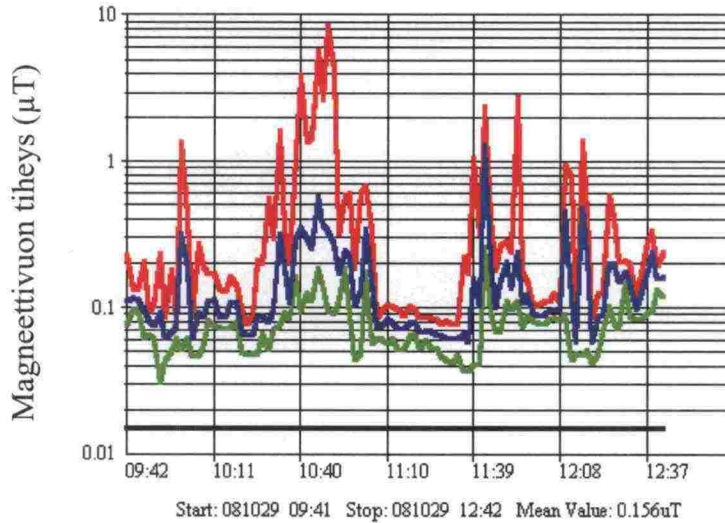
Kouvolan ratapihalla tehtiin mittauksia, joilla selvitettiin vaihteenlämmityksen ja turvalaitteiden asennustöissä tapahtuvan altistumisen suuruutta. Samalla mitattiin myös kentänvoimakkuudet ratapihalla olevien toimistovaunujen sisä- ja ulkopuolella. Työryhmät työskentelivät lähellä toisiaan ( Kuva 8).



*Kuva 8. Vaihteenlämmityksen asennusryhmä. Turvalaitteen asennustyö on käynnissä kuvassa takaoikealla.*

### 4.3.1 Vaihteenlämmityksen asennustyö

Asennustyö tehtiin ratapihan kohdassa, jossa oli useita ajojohtoja vierekkäin ja missä raiteet yhtyivät. Kaikki ajojohdot olivat jännitteellisiä. Työskentelypaikassa mitattiin sähkökentän voimakkuudeksi 2700 V/m 150 cm korkeudella. Vaihteenlämmityksen asennusryhmän turvamiehellä oli henkilökohtainen mittari, joka rekisteröi magneettivuon tiheyden. Suurin mitattu arvo oli 9  $\mu\text{T}$  (Kuva 9). Työtilanteessa mitatut magneettivuontiheydet olivat alle 1 % toiminta-arvoista.



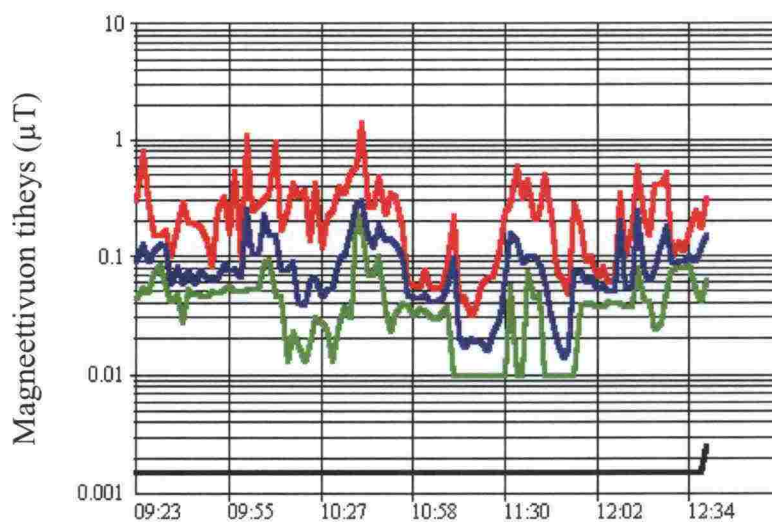
Kuva 9. Vaihteenlämmityksen asennustyössä mitattu magneettivuon tiheys ajan suhteen. Punainen viiva on magneettivuon tiheyden huippuarvo ja vastaavasti sininen on keskimääräinen ja vihreä minimi keskiarvostus-aikana. Huomaa logaritminen skaala.

### 4.3.2 Turvalaitteen asennustyö

Turvalaitteen asennustyön lähellä oli vain yksi jännitteellinen ajolanka (kuva 10). Sähkökentän voimakkuus oli turvalaittekaapin vieressä 600 V/m, raiteen vieressä 800 V/m ja raiteen keskellä 1200 V/m mitattuna 150 cm korkeudelta. Turvalaitteen asentajalla oli henkilökohtainen mittari, joka rekisteröi magneettivuon tiheyden suuruudet (kuva 11). Henkilökohtaisen mittauksen perusteella altistuminen oli suurimmillaan vain 1  $\mu\text{T}$  luokkaa. Työpaikalla tehdyt muut mittaukset olivat suuruudeltaan alle 0,1  $\mu\text{T}$ .



Kuva 10. Turvalaitteen asennustyö.



Kuva 11. Magneettivuon tiheyden arvot turvalaitteen asennustyön yhteydessä. Punainen viiva on magneettivuon tiheyden huippuarvo ja vastaavasti sininen on keskimääräinen ja vihreä minimi keskiarvostusaikana. Huomaa logaritminen skaala.

#### 4.3.3 Toimistovaunu

Toimistovaunu oli sijoitettu Kouvolan ratapihan länsipäähän raiteelle 30 (1. raiteen vieressä pohjoisreunalla). Vaunun sisällä ja ulkopuolella mitattiin sekä magneettivuon tiheydet että sähkökentän voimakkuudet. Magneettikenttä oli molemmissa tilanteissa samansuuruinen, alle 0,3 % ( $< 0,1 \mu\text{T}$ ). Sähkökentän voimakkuus oli vaunun ulkopuolella laiturilla 1 900–1400 V/m. Vaunun sisäpuolella sähkökentän voimakkuudeksi mitattiin 7 V/m. Vaunu ja muutkin rakenteet suojaavat hyvin sähkökentiltä.

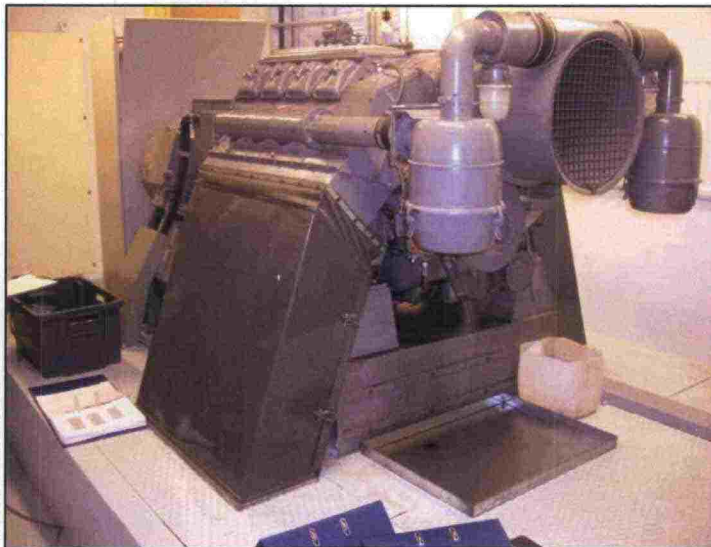
#### 4.3.4 Käyttömaadoituspylväs

Käyttömaadoituspylvään vieressä mitattu magneettivuon tiheys oli  $2 \mu\text{T}$  ilman junaa ja  $2,5 \mu\text{T}$  junan ajaessa ohi. Väestöä koskevien suositusten mukaan painotettu arvo oli 7 %. Mittaukset tehtiin 30 cm etäisyydellä pylväästä.

#### 4.4 Varavoimalaitos

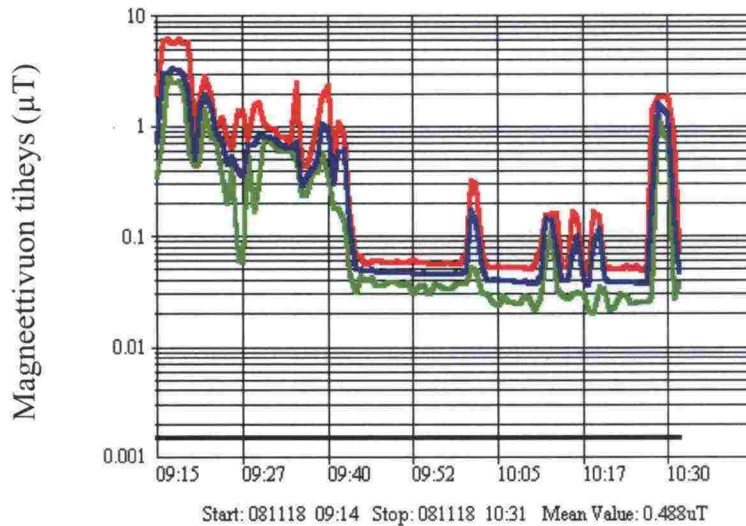
Riihimäen varavoimalaitoksen koekäytön yhteydessä mitattiin magneettivuon tiheydet sekä pistemittauksina että henkilökohtaisella mittarilla. Työntekijä työskenteli mm. varavoimahuoneessa (kuva 12) ja virranjakohuoneessa. Henkilökohtaisilla mittareilla mitattu magneettivuon tiheys oli suurimmillaan  $6 \mu\text{T}$  (kuva 13).

Suurimmat magneettivuon tiheydet olivat virranjakohuoneessa muuntajan (Siemens 10,5 kVA) lähellä. 0,2 m etäisyydellä magneettivuon tiheys oli 26 % ( $50 \mu\text{T rms}$ ) työntekijöitä koskevasta toiminta-arvosta. Etäisyyden kasvaessa myös altistumisen suuruus pieneni nopeasti: 0,5 m - 10 % ja 1,0 m - 3 %. Toisen muuntajan (muuntaja 5, 6 kVA) luona altistumisen suuruus oli 25 % 0,2 m etäisyydellä ja 2,5 % 0,5 m etäisyydellä ( $5,5 \mu\text{T}$  ja  $1,5 \mu\text{T}$ ). Varavoimakonetilassa altistumisen suuruus oli 12 % toiminta-arvoista 0,2 m etäisyydellä generaattorin päästä. Puolen metrin etäisyydellä altistumisen suuruus putosi alle 3 %.



Kuva 12. Varavoimakone, moottoripää.



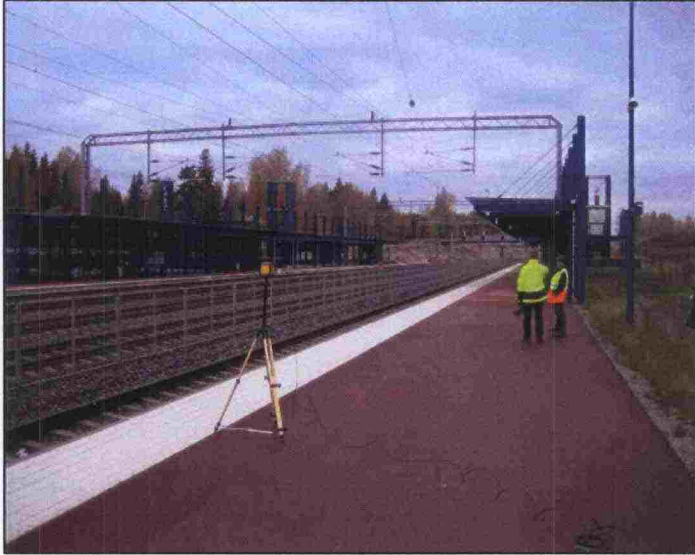


*Kuva 13. Magneettivuon tiheyden arvot varavoimalaitoksen huoltotyön yhteydessä. Punainen viiva on magneettivuon tiheyden huippuarvo ja vastaavasti sininen on keskimääräinen ja vihreä minimi keskiarvostusaikana. Huomaa logaritminen skaala.*

#### 4.5 Rautatieasemat

Sähkö- ja magneettikenttien voimakkuuksia mitattiin Käpylän ja Haarajoen asemilla. Haarajoki sijaitsee uudella Lahteen menevällä oikoradalla, jossa käytetään uudentyyppistä 2\*25 kV sähköratajärjestelmää. Molemmilla asemilla mittauspisteet valittiin siten, että ne kuvaavat hyvin matkustajien tai ohikulkijoiden tavanomaista reittiä tai oleskelupaikkaa.

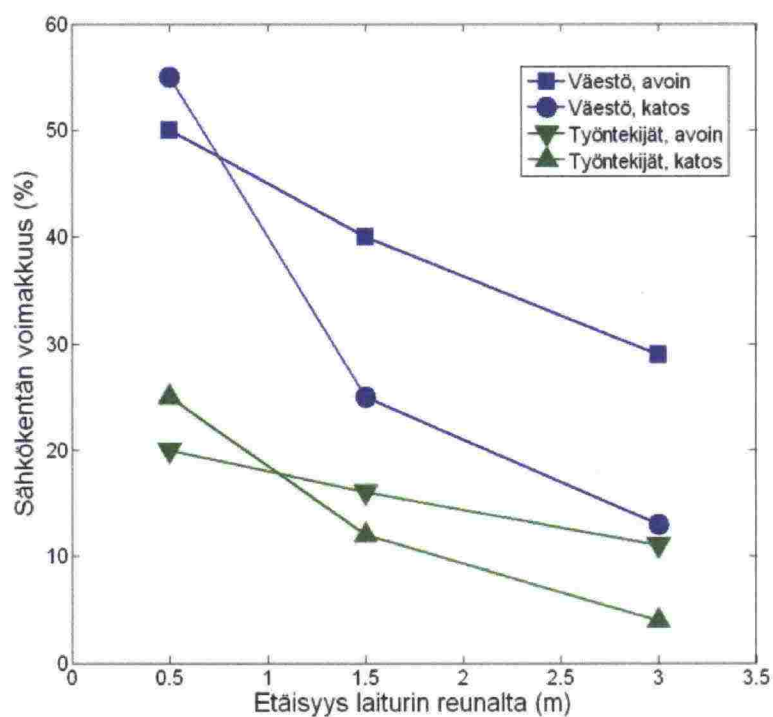
Sähkökentän voimakkuus mitattiin 0,5 m, 1,5 m ja 3,0 m etäisyydellä laiturin reunasta. Mittauskorkeus oli 1,5 m. Mittaukset tehtiin sekä avoimessa tilassa (kuva 14) että aseman suojakatoksen kohdalla (kuva 15). Painotettujen arvojen (kuva 16) lisäksi eri etäisyyksillä mitattiin sähkökentän voimakkuudet yksiköissä V/m (kuva 17), koska kenttä on lähes puhtaasti 50 Hz (kuva 18). Haarajoella laituri oli raidealueen reunassa.



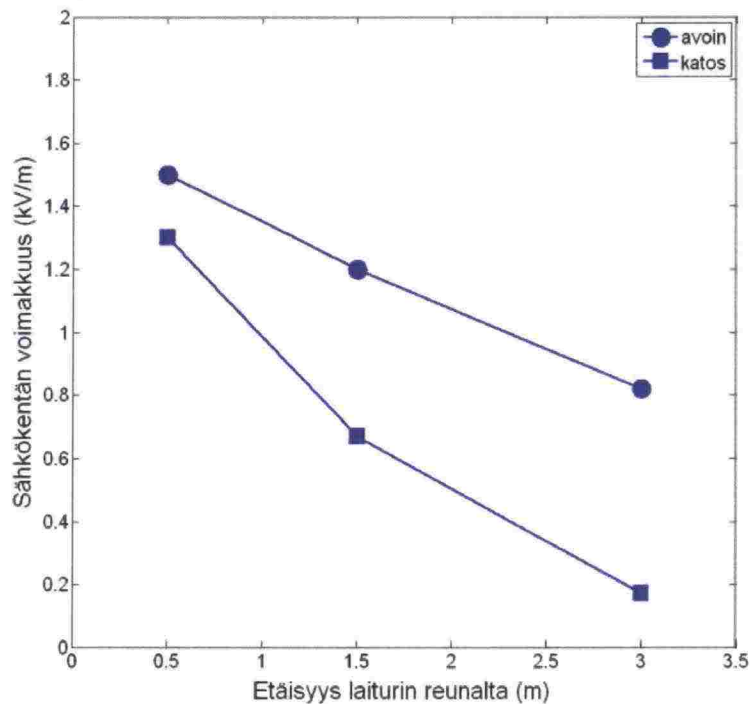
*Kuva 14. Sähkökentän mittaus avoimessa tilassa Haarajoella.*



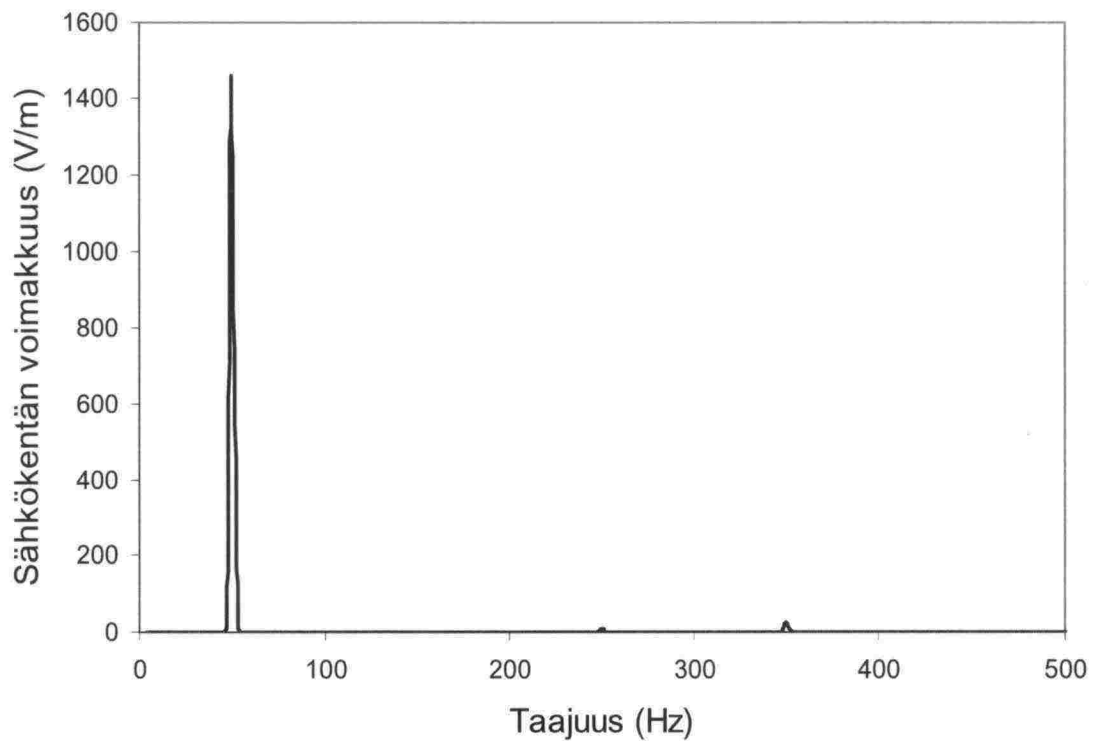
*Kuva 15. Sähkökentän mittaus suojakatoksen alla Haarajoella.*



Kuva 16. Sähkökentän voimakkuus suositusarvoilla painotettuna eri etäisyyksillä ja tilanteissa Haarajoen asemalla.



Kuva 17. Sähkökentän voimakkuus eri etäisyyksillä ja tilanteissa Haarajoen asemalla.

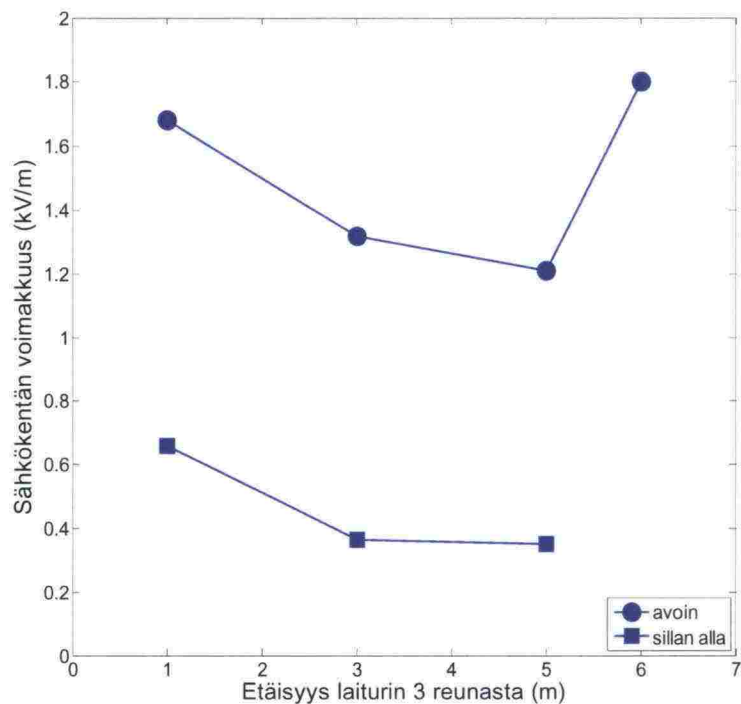


Kuva 18. Haarajoen asemalla mitattu sähkökentän taajuusspektri.

Käpylän asemalla mittaukset suoritettiin laiturilla 3, joka on keskellä ratapihaa (kuva 19). Tämän takia sähkökentän voimakkuudet nousevat lopulta etäännyttäessä laiturista, vastaan tulee toinen ajolanka. Mittaukset tehtiin 1,5 m korkeudella avoimessa tilassa ja ylikulkusillan alla (kuva 20).



Kuva 19. Sähkökentän mittaus laiturilla 3 Käpylän asemalla.



Kuva 20. Sähkökentän voimakkuus Käpylän asemalla laiturilla 3.

Sähkökentän voimakkuus mitattiin myös radan ylikulkevalla tiellä Ilmalassa (kuva 21). Kentänvoimakkuus oli suurimmillaan suoraan ajolankojen alla 1,9 kV/m.



Kuva 21. Sähkökentän mittaus radan ylityskohdalla.

Käpylän asemalla mitattiin sähkö- ja magneettikentät myös rata-alueen ylittävällä kevyen liikenteen ylikulkusillalla ja sinne johtavilla portailta. Kevyenliikenteen väylällä sähkökentän voimakkuus oli suurimmillaan 350 V/m ja magneettivuon tiheys 3  $\mu$ T. Vastaavasti portailta arvot olivat 56 V/m ja 1,4  $\mu$ T.

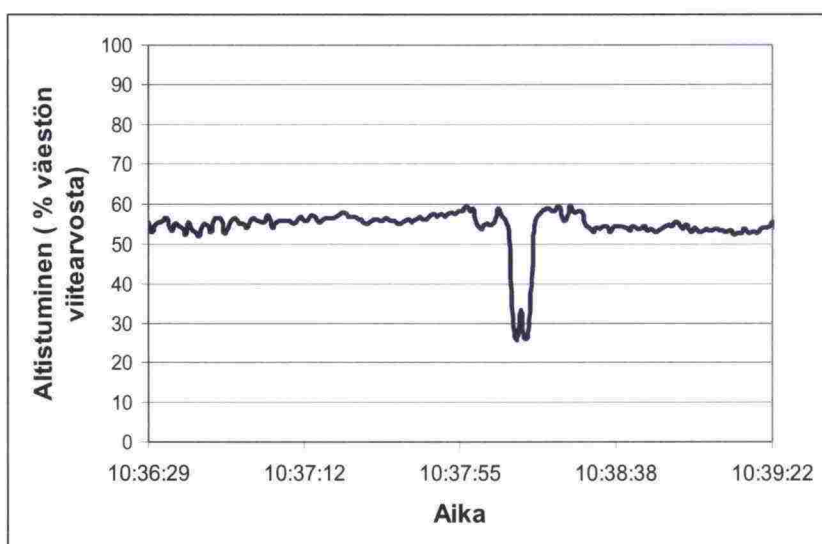
Molemmilla asemilla magneettivuon tiheys oli kaikissa mittauspisteissä suurimmillaan  $3 \mu\text{T}$ , mikä on alle 4 % väestön suositusarvosta. Keskimäärin magneettivuon tiheydet olivat alle  $2 \mu\text{T}$ . Junan ohittaessa aseman magneettivuon tiheys nousi vain vähän ( $< 1 \mu\text{T}$ ) lähellä laiturin reunaa.

Ohittavan junan vaikutusta sähkökentän voimakkuuteen tutkittiin sekä Käpylän että Haarajoen asemalla (kuva 22). Sähkökenttä laskee selvästi junan ohittaessa mittauspaikan. Haarajoen asemalla tehdyssä mittauksessa, 1,5 m etäisyydellä laiturin reunasta, kiihdyttävä juna pudotti sähkökentän voimakkuuden 1,25 kV:sta/m noin 100 V:iin/m. Käpylässä sähkökentän voimakkuus aleni vähemmän, koska ratapihalla on useampia ajolankoja, joihin ohi kulkeva juna ei vaikuta (kuva 23).

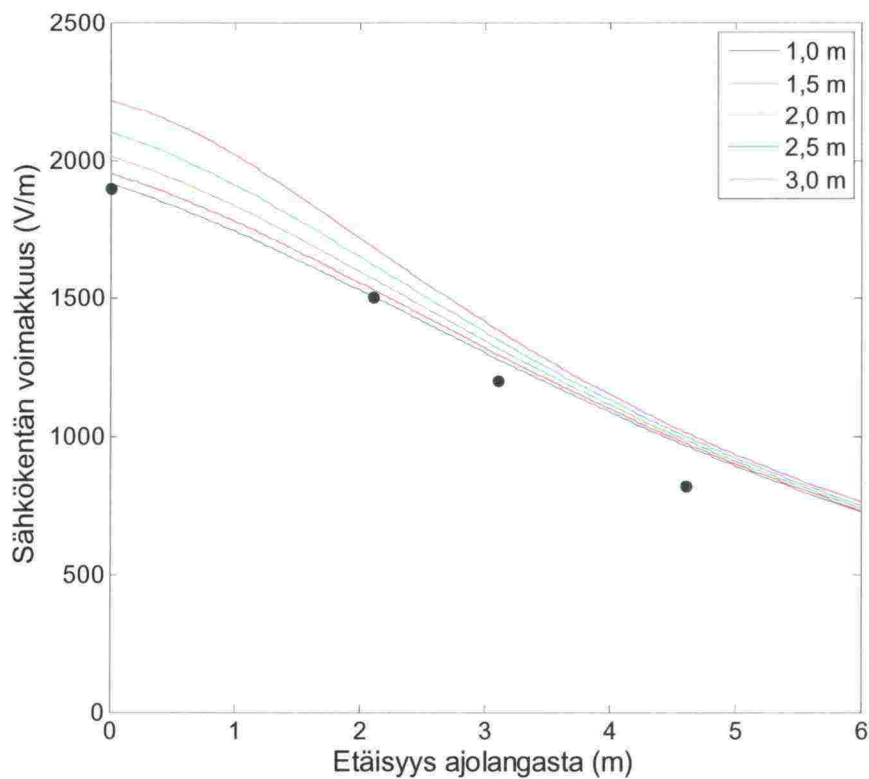


Kuva 22. Sähkökentän mittaus junan tullessa asemalle.

Kuvassa 24 on esitetty samassa kuvassa mitattuja ja numeerisesti laskettuja sähkökentän voimakkuuksia. Numeerinen malli on hyvin yksinkertainen, siinä ei ole huomioitu ajolankoja lukuun ottamatta mitään muita rata- tai ympäristörakenteita. Malli on tarkoitettu ainoastaan suunta-antavaksi ja vertailuksi mitatuille arvoille. Mittaukset tehtiin 1,5 m korkeudella ja ne ovat samansuuntaisia laskettujen arvojen kanssa.



Kuva 23. Sähkökentän voimakkuus Käpylässä laiturilla 3 suhteessa väestöä koskeviin viitearvoihin, kun Sm4-juna ohittaa paikan raiteella 2.



Kuva 24. Laskennallinen (viivat) ja mitattu (pallot) sähkökentän voimakkuus etäisyyden suhteen ajolangasta.

## 5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimus suoritettiin eri työtilanteissa ja -tehtävissä, joita esiintyy Ratahallintokeskuksen hallinnoiman rataverkon alueella. Mittauksia tehtiin sekä yleisölle avoimissa paikoissa (rautatieasemilla) että vain työntekijöille sallituilla alueilla (syöttöasemat, varavoimalaitokset, ratatyöt, jne.). Mittauskohteet valittiin siten, että ne edustivat mahdollisimman hyvin työntekijöiden osalta tyypillisiä työtilanteita sekä väestön osalta normaaleja tilanteita esimerkiksi odottaessa junan tuloa asemalaiturilla. Mitattuja sähkömagneettisten kenttien voimakkuuksia verrattiin erikseen työntekijöitä ja väestöä koskeviin suosituksiin.

Mittaustulokset osoittivat, että sähkömagneettisten kenttien voimakkuudet eivät ylitä työntekijöihin tai väestöön sovellettavia suositusarvoja. Siten ei ole tarvetta välittömiin jatkotoimenpiteisiin. Tuleva EU-direktiivi antaa kuitenkin velvoitteita erityisryhmien, kuten sydäntahdistimia käyttävien työntekijöiden suhteen. Tällaisissa tilanteissa työnantajan tulee selvittää liittyykö työtilanteisiin erityisiä riskejä.

Sähkömagneettisiin kenttiin liittyvät turvallisuusasiat on siten suositeltavaa huomioida uusien hankintojen tai teknologioiden käyttöönoton yhteydessä ja suorittaa siten turvallisuusriskien arviointi ennen laitteiden varsinaista käyttöönottoa.



**KIRJALLISUUS**

1. Juuti, P., Hietanen, M., Hämäläinen, A-M., Juutilainen, J. Rautateiden sähkö- ja magneettikentät. 1994.
2. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2004/40/EY. Terveyttä ja turvallisuutta koskevista vähimmäisvaatimuksista työntekijöiden suojelemiseksi altistumiselta fyysisistä tekijöistä (sähkömagneettiset kentät) aiheutuville riskeille. Euroopan unionin virallinen lehti L184/1.
3. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Phys 74: 494-522, 1998.
4. Euroopan Unionin neuvosto. Neuvoston suositus väestön sähkömagneettisille kentille (0 Hz – 300 GHz) altistumisen rajoittamisesta (1999/519/EY), Euroopan yhteisöjen virallinen lehti L199/59.
5. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistumisen rajoittamisesta. 294/2002.

## RATAHALLINTOKESKUKSEN JULKAISUJA A-SARJASSA

- 1/2007 Akselipainon noston tekniset edellytykset ja niiden soveltuminen Luumäki–Imatra-rataosuudelle
- 2/2007 Radan kulumisen rajakustannukset 1997–2005
- 3/2007 Marginal Rail Infrastructure Costs in Finland 1997–2005
- 4/2007 Ratarakenteen kuormituksen määrittäminen stabiliteettitarkasteluihin
- 5/2007 Pohjois-Suomen rataverkon tavaraliikenteen kehittäminen
- 6/2007 Suomen rataverkon tärinäselvitys.  
Kirjallisuuskatsaus ja tärinäkohteet vuosina 2000–2006
- 7/2007 Luvattomien radanylitysten välttäminen
- 8/2007 Maatutkatekniikan hyödyntäminen radan tukikerroksen kunnon arvioinnissa
- 9/2007 Markkinoilletulo ja rautatiemarkkinoiden muutos kotimaisen tavaraliikenteen avautuessa kilpailulle Suomessa
- 10/2007 Rautatieliikenne 2030 -suunnitelman liikenne-ennusteet
- 11/2007 Logistiikkakeskusten tie- ja ratayhteydet
- 1/2008 Aikataulusuunnittelu ja rautatieliikenteen täsmällisyys
- 2/2008 Rautatieliikenteen simuloinnin merkitys ratakapasiteettihakemusten yhteensovittamisessa
- 3/2008 Rautateiden liikkuvan kaluston kunnon valvonta runkoverkolla
- 4/2008 Raakapuukuljetusten tulevaisuuden haasteet
- 5/2008 Perussolmuratapihojen merkitys ja näkymät osana kuljetusjärjestelmää
- 6/2008 Tasoristeysten kansirakenteet
- 7/2008 Ratojen alusrakenteissa käytettyjen materiaalien routimisherakkyys
- 8/2008 Kolarin seudun kaivoshankkeet
- 9/2008 Rataverkon pohjavesialueiden riskienhallinnan kehittäminen
- 10/2008 Rautatieliikenteen pitkän aikavälin suunnitteluprosessin kehittäminen
- 11/2008 Rautatieliikenteen häiriöiden analysoinnin kehittäminen
- 12/2008 Junan pyörävikojen havainnointi raiteeseen asennetulla mittalaitteella
- 13/2008 A Collaborative Process of Product Lifecycle Management for Railway Signalling Infrastructure
- 14/2008 Rataverkon jatkosähköistyksen hankearvioinnin päivitys
- 15/2008 Rautatieliikenteen täsmällisyyden mittaaminen
- 16/2008 Ilmastonmuutokseen sopeutuminen radanpidossa. Esiselvitys
- 17/2008 Kehäradan kiintoraideselvitys
- 18/2008 Rautatiekuljetusten riskienhallinta. Esiselvitys
- 1/2009 Rataverkon kunnon ja sen liikenteellisten vaikutusten visualisoinnin lähtökohdat



**RATAHALLINTOKESKUS  
BANFÖRVALTNINGSCENTRALEN**

Julkaisija:  
Ratahallintokeskus  
Kaivokatu 8, PL 185, 00101 Helsinki  
puh. 020 751 5111, fax 020 751 5100  
[www.rhk.fi](http://www.rhk.fi)

ISSN 1455-2604  
ISBN 978-952-445-270-0