

# SÄTEILYLÄHTEET JA ALTISTUMINEN

Kari Jokela, Leena Korpinen, Maila Hietanen,  
Lauri Puranen, Laura Huurto, Harri Pättikangas, Tim Toivo,  
Ari-Pekka Sihvonen, Heidi Nyberg

## SISÄLLYSLUETTELO

9.1	Johdanto .....	360
9.2	Luonnossa esiintyvät kentät .....	363
9.3	Suomen sähköjärjestelmä .....	368
9.4	Sähkörautatiet .....	385
9.5	Induktiokuumentimet .....	391
9.6	Sähköhitsaus .....	393
9.7	Kaariuuni .....	394
9.8	Suurtaajuuskuumentimet .....	395
9.9	Tuotesuojaportit ja metallinpaljastimet .....	401
9.10	Magneettikuvauslaitteet .....	407
9.11	Yleisradioasemat .....	415
9.12	Ula- ja tv-asemat .....	421
9.13	Matkapuhelimet .....	425
9.14	Matkapuhelimien tukiasemat .....	429
9.15	Langattomat verkot .....	433
9.16	Tutkat .....	435
9.17	Mikroaaltouunit .....	439
9.18	Mikroaaltokuivurit .....	441

## 9.1 | Johdanto

Ihminen on alttiina elinympäristössään sekä ihmiskunnan toiminnasta peräisin oleville että luonnon synnyttämille sähkömagneettisille kentille. Sähkömagneettiset kentät voivat olla tarkoituksellisia kuten radio- ja tutka-laitteiden synnyttämät kentät, kun taas esimerkiksi sähköenergiaa hyödyntävissä teollisissa prosesseissa niitä syntyy tahattomasti haja- ja vuotosäteilynä. Luonnon kentät ovat useimmiten laajakaistaisia kohina-kenttiä tai satunnaisia piikkejä sisältäviä transienttikenttiä.

Sähkökenttä syntyy jännite-erojen välille ja sen voimakkuutta mitataan voltteina metriä kohti (V/m). Sähkökentän voimakkuus on sitä suurempi, mitä suurempi on jännite. Magneettikentän aiheuttaa laitteessa ja johtimissa kulkeva sähkövirta. Magneettikentän suuruus esitetään magneettivuon tiheytenä, jonka yksikkö on tesla (T). Sekä sähkökentän että magneettikentän voimakkuus heikkenee nopeasti etäännyttäessä laitteen pinnalta kauemmas. Radiotaajuisten kenttien voimakkuus ilmoitetaan tehotiheytenä, jonka yksikkö on watti neliometriä kohti (W/m<sup>2</sup>). Radiotaajuisen lähteen – kuten matkapuhelimen – ollessa lähellä keho suurena käytetään kuitenkin SAR-arvoa, jonka yksikkö on (W/kg).

### Altistuminen

Altistumisella tarkoitetaan kehon tai sen osan alttiina oloa fysikaaliselle tai kemialliselle haittatekijälle. Paras kuva altistumisen voimakkuudesta saadaan, kun tiedetään kuinka suuri fysikaalinen haittatekijä kohdistuu suoraan kudokseen. Sähkömagneettisen kentän ja säteilyn luonne ja vaikutukset ovat niin moninaisia taajuudesta riippuen, että niiden luonnehti-

#### FAKTALAATIKKO 9.1

#### **Kehon sisäiset suureet - ulkoiset kentänvoimakkuudet**

Käytännön altistumismäärittämisä helpottamaan on kehon sisäisistä suureista (perusrajoituksista) johdettu ulkoiset kentänvoimakkuudet (viitearvot), joihin vertaamalla voidaan altistumista arvioida kehon ulkopuolella suoritettavien suhteellisen yksinkertaisin mittauksin tai laskuin. Puhuttaessa työntekijöiden altistumisesta käytetään perusrajoitusten sijaan raja-arvoja ja viitearvojen sijaan toiminta-arvoja. Jos toiminta-arvot ylittyvät on varmistettava, että raja-arvot eivät ylity.

miseen tarvitaan useita erilaisia suureita kuten virrantiheys, pintasähkökenttä, SAR tai tehotiheys. Dosimetriaa käsittelevän luvun kolme perusteella on kuitenkin selvää, että kehon sisällä vaikuttavan fyysikaalisen haitatekijän voimakkuuden selvittäminen on käytännön altistumisolosuhteissa yleensä vaikeaa. Siten altistumisen voimakkuutta on useimmiten tyydyttävä kuvaamaan kehon ulkopuolella vaikuttavalla kentänvoimakkuudella tai tehotiheydellä.

Tunnetut SM-kenttien haitalliset vaikutukset, kuten hermostimulaatio tai kudosten lämpeneminen, esiintyvät vasta, kun kentänvoimakkuus tai tehotiheys ylittää tietyn kynnyksen, eivätkä vaikutukset määräydy suoraan viivaisesti ajan kuluessa kumuloituvasta annoksesta (aika  $\times$  voimakkuus). Radiotaajuisia kenttiä koskevissa altistumisrajoissa aikatekijä on huomioitu määrittämällä kuinka pitkän aikavälin yli altistumisen keskiarvo lasketaan. Suurimmillaan tämä aikaväli on kuusi minuuttia. On selvää, että altistumisen biologiset seuraukset riippuvat myös siitä kuinka kauan altistuminen kestää, joten myös aika on eräs tekijä arvioitaessa altistumista pitkällä aikavälillä. Yleisesti altistuminen on kuvattava niin, että esitetään altistumisen voimakkuutta, vaihtelua ja kestoa kuvaavia tunnuslukuja.

Tässä luvussa käsitellään ihmisen altistumista erilaisista lähteistä peräisin oleville sähkö- ja magneetikentille. Altistumistasoja verrataan ICNIRPin asettamiin perusrajoituksiin ja viitearvoihin, joita sovelletaan myös Suomessa (luku 8). Huomattava osa altistumista koskevista tiedoista on saatu Säteilyturvakeskuksen omista tutkimuksista, tarkastuksista ja palvelumittauksista, joita on kertynyt runsaasti vuosien mittaan. Lisäksi paljon mittaustietoa on saatu Tampereen teknillisen yliopiston ja Työterveyslaitoksen tutkimuksista sekä ulkomaisista tutkimuslaitoksista. Luku on pyritty kirjoittamaan niin, että sen voi omaksua ilman, että lukijalla olisi syvällisiä tietoja sähkö- ja radiotekniikasta. Altistumisen arvioinnissa sekä säteilyturvallisuustestauksissa tarvittavia mittaus- ja laskentamenetelmiä käsitellään tarkemmin luvussa 10 Säteilyturvallisuusmittaukset.

Taulukkoon 9.1 on koottu väestön ja työntekijöiden altistumisen kannalta merkittävien sähkömagneettisten kenttien lähteiden teknisiä tietoja ja tyypillisiä altistumistasoja. Suuritehoisten lähteiden lähellä vaikuttaville voimakkailla sähkömagneettisille kentille altistuvat käytännössä vain lähteiden välittömässä läheisyydessä olevat henkilöt. Väestön merkittävin altistaja radiotaajuuksilla on matkapuhelin, kun mittapuuna käytetään altistumisen voimakkuutta suhteutettuna altistumisrajaan sekä altistuneiden lukumäärään.

Lähde ja taajuusalue	Tyypillinen teho, jännite tai virta	Käyttötarkoitus	Suurimpia altistumisarvoja
Voimajohdot 50 Hz ja yliaallot	600–1 000 A 110–400 kV	Sähkönsiirto	1 m korkeudella maasta: Johdon alla 2–10 kV/m ja 5–20 $\mu$ T 50 m päässä: 0,1–0,4 kV/m ja 0,1–1,3 $\mu$ T
Kiinteistömuuntamo 50 Hz ja yliaallot	500 A	Sähkön jakelu	Harvinaisessa tapauksessa yläpuolisen asunnon lattian rajassa 100–200 $\mu$ T
Sähköjunat 50 Hz ja yliaallot	10–30 kV	Joukkoliikenne	Työntekijät: 10–800 $\mu$ T Matkustajat: 1–65 $\mu$ T
Valokaariuuni 50 Hz ja yliaallot	50 MW	Metallien sulatus	Muutaman metrin etäisyydellä elektrodista 1–5 mT
Tuotesuojaportti 100 Hz – 100 kHz	–	Varkauden esto	Porttien välissä 40–140 $\mu$ T (peak)
Magneettikuvauslaite 0–127 MHz Staattinen, pulssimainen ja radiotaajuinen magneetikenttä	–	Diagnostiikka	Potilas: 0,2–3T (staattinen magneetikenttä) 20 T/s (gradienttikenttä) 1 W/kg koko keholle (RF-kenttä)
Suurtaajuuskuumennin 13,56 MHz 27,12 MHz	10–250 kW 3–15 kW	Liimankuivaus, muovinsaumaus	Tehollisarvo 140 V/m, raajoissa paikallinen SAR yli 20 W/kg
Keskipitkäaaltoasema 0,525–1,605 MHz	600 kW	Yleisradiolähetyt	90 V/m 45 metrin etäisyydellä
Lyhytaaltoasema 5,95–26,1 MHz	500 kW	Yleisradiolähetyt	2 m korkeudella maasta: 0,16 A/m eli 10 W/m <sup>2</sup> 150 metrin etäisyydellä. 0,07 A/m eli 2 W/m <sup>2</sup> 250 metrin etäisyydellä.
ULA-asema 87,5–108 MHz	10–50 kW	Yleisradiolähetyt	Antennin sisällä 20–60 W/m <sup>2</sup>
TV-asema VHF III: 174–230 MHz UHF: 470–790 MHz digi-TV: 470–790 MHz	4–6 kW (VHF III) 15–50 kW (analoginen) 1–15 kW (digi-TV)	Tv-lähetyt	Antennin sisällä 20–40 W/m <sup>2</sup> Pääsy kielletty antennin sisälle Antennin sisällä 40–100 W/m <sup>2</sup>
Langattomat verkot	Vaihtelee sovelluksesta riippuen	Langaton tiedonsiirto	WLAN-päätelaitteella varustettu sylimikro reisien päällä 0,2 W/kg reisissä Bluetooth-laite 1m etäisyydellä 0,01 W/m <sup>2</sup>
Matkapuhelimen tukiasema 925–960 MHz 1 805–1 880 MHz ja 2 110–2 170 MHz	5–30 W	Viestintä	Pääkeillassa antennin (20 W) etupuolella kymmenen metrin päässä 1 W/m <sup>2</sup>
Matkapuhelin 880–915 MHz 1 710–1 785 MHz ja 1 920–1 980 MHz	0,25 W (GSM900) 0,125 W (GSM1800) 0,125 W(UMTS/WCDMA)	Viestintä	Päässä 0,5–2 W/kg
Tutka 0,150–15 GHz	1 kW	Ilma- ja merivalvonta, meteorologia	Alle 10 m etäisyydellä antennin edessä 500 W/m <sup>2</sup>
Mikroaaltouuni 2 450 MHz	1 500 W	Ruon lämmitys	Puolen metrin etäisyydellä alle 1 W/m <sup>2</sup>
Mikroaaltokuivuri 2 450 MHz	4 000 W	Betonirakenteiden kuivaus	Normaali kuivaustilanne: Puolen metrin päässä laitteesta 50 W/m. Varottava tilanne, jossa laite on päällä, mutta ei ole asennettuna vasten kuivattavaa kohdetta: Puolentoista metrin etäisyydellä säteilyaukosta 1 000 W/m <sup>2</sup>

Taulukko 9.1 Sähkömagneettisten kenttien lähteitä

## 9.2 | Luonnossa esiintyvät kentät

Luonnossa esiintyvät sähkömagneettiset kentät ovat yleensä varsin pieniä verrattuna ihmisen aikaansaamiin kenttiin. Niillä on kuitenkin oma mielenkiintonsa vertailukohteena. Elinympäristön sähkömagneettiset taustakentät ovat 1800-luvun lopulla alkaneen sähkö- ja radiotekniikassa tapahtuneen teknologisen mullistuksen myötä suuresti lisääntynyt luonnon omiin taustakenttiin nähden. Vaatisi melkoisen mullistuksen biologisten tieteiden alalla, jotta voitaisiin osoittaa, että laajoilla alueilla esiintyvillä taustakentillä, olivat ne sitten peräisin luonnosta tai ihmisen toimista, olisi biologista merkitystä. Nykyisen käsityksen mukaan biologisesti merkittävät kentänvoimakkuudet rajoittuvat vain hyvin lähelle voimakkaita sähkömagneettisia kenttiä synnyttäviä laitteita. Luonnon kentät ovat useimmiten laajakaistaisia kohinakenttiä tai satunnaisia piikkejä sisältäviä transienttikenttiä ja niissä on voimakasta satunnaista vaihtelua.

### Geomagneettinen kenttä ja muut luonnon magneettikentät

Kaikkialla maapallolla vaikuttaa staattinen tai hyvin hitaasti muuttuva magneettikenttä, joka pääasiassa aiheutuu maapallon nesteytimessä kiertävistä, maapallon pyörimisen synnyttämistä sähkövirroista. Geomagneettisen kentän suurimmat arvot ( $60 \mu\text{T}$ ) esiintyvät magneettisilla navoilla, joissa kenttä kaareutuu kohtisuoraan maanpintaa vasten. Päiväntasaajalla kenttä on pienimmillään ( $25 \mu\text{T}$ ) ja on maanpinnan suuntainen, kuva 9.1a.

Suomessa staattinen kokonaiskenttä on välillä  $51,0\text{--}53,5 \mu\text{T}$  ja se on noin tuhannesosa väestöä koskevasta enimmäisarvosta  $40 \text{ mT}$  (katso luku 8, taulukko 8.3). Ero on vieläkin suurempi, jos vertailukohteena pidetään arvoa  $1 \text{ T}$ , jonka yläpuolella staattinen magneettikenttä alkaa aiheuttaa aistein havaittavia fysiologisia ilmiöitä (katso kohta 9.10 Magneettikuvaslaitteet). Staattinen magneettikenttä suojaa biosfääriä auringosta ja galakseista tulevalta kosmiselta hiukkassäteilyltä. Kosmisesta säteilystä kerrataan tarkemmin tämän kirjasarjan osassa 2. Säteily ympäristössä.

Maapallon aiheuttamaan kenttään summautuu pieni, mutta nopeasti muuttuva magneettinen häiriökenttä, joka on peräisin ionosfäärissä ja magnetosfäärissä  $100\text{--}25\,000 \text{ km}$  korkeudella kulkevista sähkövirroista. Ne aiheutuvat auringon hiukkassäteilystä (aurinkotuuli) ja hyvin lyhytaaltoisesta ilmakehää ionisoivasta säteilystä. Voimakkaimpia magneettisia häiriöitä kutsutaan magneettisiksi myrskyiksi. Niiden aikana maapallon magneettikenttä saattaa muuttua jopa  $10$  prosenttia ( $5 \mu\text{T}$ ) ja nopeimmat

magneettivuon muutosnopeudet ( $dB/dt$ ) ovat luokkaa 10 nT/s. Magneettiset myrskyt korreloivat auringon aktiivisuuden ja auringonpilkkujen määrän kanssa, mutta korrelaatio ei ole aivan suoraviivainen.

Lisäksi maan magneettikentässä on pientaajuisia vaihteluja, jotka ovat taajuudeltaan verrattavissa ihmisen aiheuttamiin 50 hertsin kenttiin. Tällä taajuudella luonnon taustakenttä on suuruudeltaan luokkaa  $1 \times 10^{-6} \mu\text{T}$ , joka on häviävän pieni arvo verrattuna väestöä koskevaan 100  $\mu\text{T}$  enimmäisarvoon (katso luku 8, taulukko 8.4). Tyypillinen ihmisen aiheuttama pientaajuinen taustamagneettikenttä, esimerkiksi kodin laitteiden synnyttämä taustakenttä, on noin 0,1  $\mu\text{T}$  eli satatuhatkertainen luonnon kenttään verrattuna.

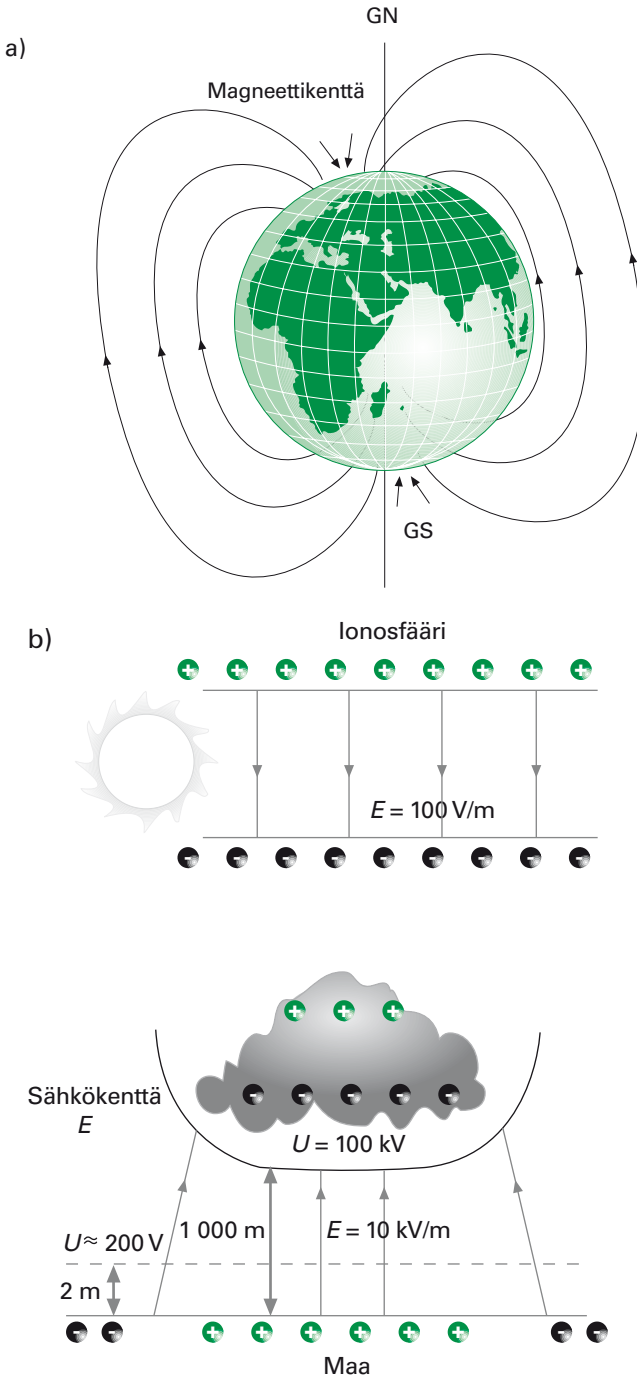
## Staattinen sähkökenttä

Maan pinnan ja johtavan ionosfäärin välissä on staattinen sähkökenttä, joka on voimakkuudeltaan 100–130 V/m ja suuntautuu kohtisuoraan maan pintaa vastaan. Kenttä aiheutuu ilmakehässä olevasta positiivisten varauksen pilvestä, joka kattaa koko maapallon. Ionisaation johdosta ilmassa on varauksenkuljettajia, jotka purkavat tätä globaalia varausta. Varaus ei kuitenkaan vähene, koska eri puolilla maapalloa on jatkuvasti käynnissä ukkosmyrskyjä ja salamaniskut pilvien ja maan välillä pumppaavat positiivisia varauksia takaisin ilmakehään.

Maan oma staattinen sähkökenttä kytkee maan ja ihmisen väliin jännitteen, jos ihminen seisoo maasta eristetyllä alustalla. Normaalkokoisen ihmisen yli kytkeytyvä jännite on noin 100 V. Laskeutuessaan maahan eristetyltä alustalta ihmisen ja maan väliin keräytynyt varaus purkautuu, mutta purkaus on niin pieni, että sitä ei huomaa. Ukkospilven alla staattinen kenttä voi kuitenkin olla yli 10 kV/m, (kuva 9.1b). Tällaisessa tilanteessa tukka voi sananmukaisesti nousta pystyyn ja hyvästä syystä – hengenvaarallinen salamanisku on lähellä.

## Salamat

Salamat ovat voimakkain sähkömagneettisten kenttien lähde luonnossa. Salama alkaa kehittyä, kun ukkospilveen kertyy riittävän suuri positiivinen tai negatiivinen varaus. Paikallisesti sähkökentän voimakkuus voi olla kymmeniä kV/m. Lopulta varaus purkautuu salamana. Sähkökenttä ionisoi virrankuljettajia ja synnyttää nopeasti etenevän purkaukskanavan,



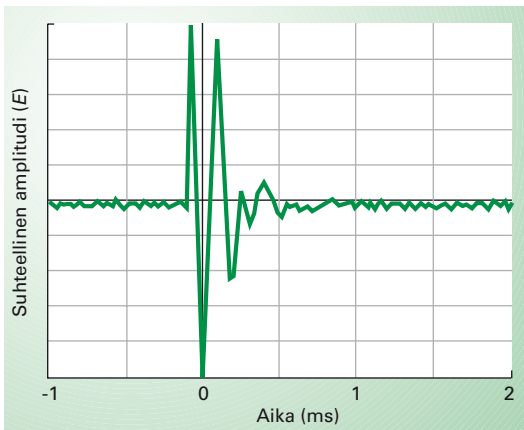
**Kuva 9.1 Maapalloa ympäröivä staattinen magneettikenttä ja staattinen sähkökenttä**

a) Maapallo on magneettinen dipoli, jonka magneettikenttää voidaan havainnollistaa kenttäviivoilla. Nuolet osoittavat kentän suunnan. GN on maantieteellinen pohjoisnapa ja GS on maantieteellinen etelänapa.

b) Maan pinnan ja ionosfääriin välissä esiintyy jatkuva staattinen sähkökenttä, joka on voimakkuudeltaan 100–130 V/m ja suuntautuu kohtisuoraan maan pintaa vastaan. Ukkospilven alla suunta muuttuu ja kentänvoimakkuus voi olla jopa 10 kV/m.

jota myöten osa varauksesta purkautuu sekunnin murto-osassa. Salama voi syntyä pilven sisällä, se voi syntyä pilvien välille tai pilven ja maan välille. Purkauskanavassa kulkeva virta voi olla hyvin suuri – tyypillisesti 30 kA ja suurimmillaan yli 100 kA. Tämä intensiivinen virtapulssi aiheuttaa laajakaistaisia pulssimaisia sähkö- ja magneettikenttiä. Salamapurkauksen synnyttämät sähkömagneettiset aallot etenevät tuhansia kilometrejä ionosfääriin ja maanpinnan muodostamassa aaltoputkessa.

Kuvassa 9.2 on esimerkki salaman aiheuttamasta sähkökenttäpulssista ja sen energiaspektristä. Intensiivisin sähkökenttäpulssi on noin  $50 \mu\text{s}$  mittainen ja voimakkaimmat spektrikomponentit löytyvät 5–10 kHz taajuuksilta. Salamapulslien muoto ja intensiteetti vaihtelevat suuresti riippuen salaman tyypistä, vuorokauden ajasta, vuodenajasta ja siitä, kuinka kaukaa ne tulevat. Salamankun synnyttämän laajakaistaisen sähkökentän huippuarvot voivat helposti ylittää väestöä koskevan sähkökentän viitearvon  $123 \text{ V/m}$  ( $\sqrt{2} \times 87$ ) taajuuksilla 3–150 kHz (taulukko 8.6). Lähelle iskevän salaman aiheuttaman sähkökentän pulssin huippuarvo voi olla luokkaa  $1 \text{ kV/m}$ , kun taas kauniilla ilmalla voidaan jatkuvasti rekisteröidä satojen ja jopa tuhansien kilometrien päästä tulevia pulsseja joiden huippuarvot ovat luokkaa  $1 \text{ V/m}$ . On kuitenkin kyseenalaista, voiko enimmäisarvoja soveltaa yksittäisiin transientteihin kuten salamaniskuun. Radiohäiriöiden kannalta merkittäviä salamahäiriöitä esiintyy aina 30 MHz taajuudelle asti.



**Kuva 9.2 Tyypillinen salaman iskusta aiheutunut sähkökenttäpulssi**

Mittauksen aikana vallitsi ukkostyyppinen kesäsää, jossa lähimmät ukkosrintamat olivat noin 100 km päässä. Mittaus on suoritettu yksinkertaisella salamapulsseja rekisteröivällä mittalaitteistolla, joka muodostuu 2 m mittaisesta monopoli antennista ja digitaalioskilloskoopista. Pientaajuiset hitaasti muuttuvat komponentit on suodatettu yksiasteisella yli-päästösuodattimella, jonka rajataajuus on 3 kHz. Suodatus vaikuttaa tässä pulssin muotoon, mutta ei huippuarvoon. (STUKin mittauksia)

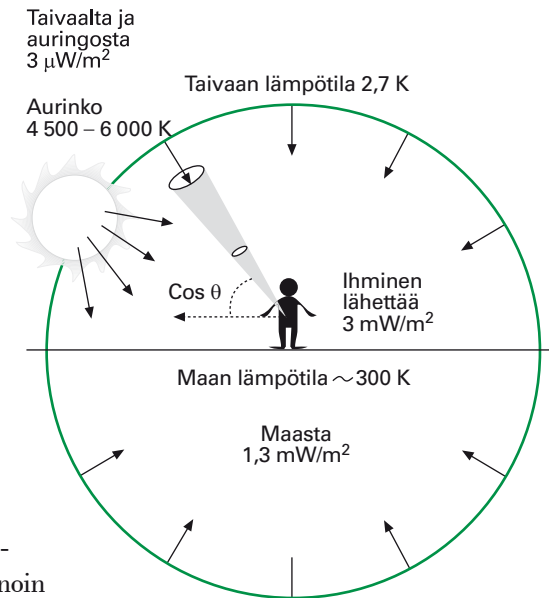


Salamapulssiin liittyy aina myös magneettikenttä, jonka pulssimuoto on kaukokentässä samanlainen kuin sähkökentän pulssimuoto. Tällainen altistus voi laukaista hermoimpulssin joissakin hermoissa, mutta yksittäisenä tapahtumana sillä ei ole muuta merkitystä. Suoraan salaman iskusta kehoon kytkeytyvät virtapulssit ovat paljon vaarallisempia.

## Maasta ja avaruudesta tuleva mikroaaltosäteily

Aurinko ja maa säteilevät laajakaistaista sähkömagneettista säteilyä, jonka intensiteetti ja spektri riippuvat näiden lämpötilasta. Kolmen kelvinin (2,7 K) mikroaaltosäteilyä tulee kaikkialta avaruudesta alkuräjähdyksen jäänteinä. Avaruudesta pääsee maanpinnalle vapaasti vain noin 10 MHz – 30 GHz taajuisia säteilyä; pienillä taajuuksilla sähkömagneettiset aallot eivät läpäise hyvin johtavaa ionosfääriä ja taas millimerialueella ilmakehä vaimentaa aaltoja merkittävästi useilla taajuuksilla.

Kuvassa 9.3 on esitetty kuinka paljon luonnollista radiotaajuista säteilyä maa (26 °C, 300 K) ja taivas säteilevät. Seisovaan ihmiseen kohdistuvan säteilyn tehotiheys alueella 30 MHz – 300 GHz on noin 1,5 mW/m<sup>2</sup> ja makavaan ihmiseen 3 mW/m<sup>2</sup>. Valtaosa tästä säteilystä tulee maasta; taivaan ja auringon taustasäteily on vain alle kymmenen mikrowattia neliometriä kohden. Vertailun vuoksi mainittakoon, että vierellä seisovasta ihmisestä lähtevän laajakaistaisen mikroaaltosäteilyn tehotiheys on sekin noin 3 mW/m<sup>2</sup>. On kiinnostavaa huomata, että nämä säteilytasot ovat hieman vähemmän kuin tuhannesosa väestöä koskevas- ta tehotiheysrajasta 10 W/m<sup>2</sup> taajuuksilla 10–300 GHz. Tehotiheysrajat on esitetty taulukossa 8.5.



**Kuva 9.3 Maasta ja avaruudesta saapuva radiotaajuinen säteily**

Maasta ja avaruudesta saapuu luonnollista radiotaajuista säteilyä, joka aistitaan lämpönä.

## 9.3 | Suomen sähköjärjestelmä

### Sähköntuotanto-, siirto- ja jakelujärjestelmä

Voimalaitoksissa kehitetty sähkö siirretään koko maan kattavan kantaverkon ja siihen liittyvän sähkönsiirto- ja jakelujärjestelmän välityksellä kuluttajille. Sähköverkossa tarvitaan siirto- ja jakelujohtojen lisäksi sähkö- ja muuntoasemia, joissa sähkönsiirto hajautetaan useampaan suuntaan, ja joissa tapahtuu siirrosta ja jakelussa käytettävän jännitteen muunto tarkoituksen mukaiseen arvoon. Käytettävät jännitteet on valittu siten, että verkon investointikulujen ja sähköverkossa ja jakelussa syntyvien häviöiden kustannukset minimoituvat.

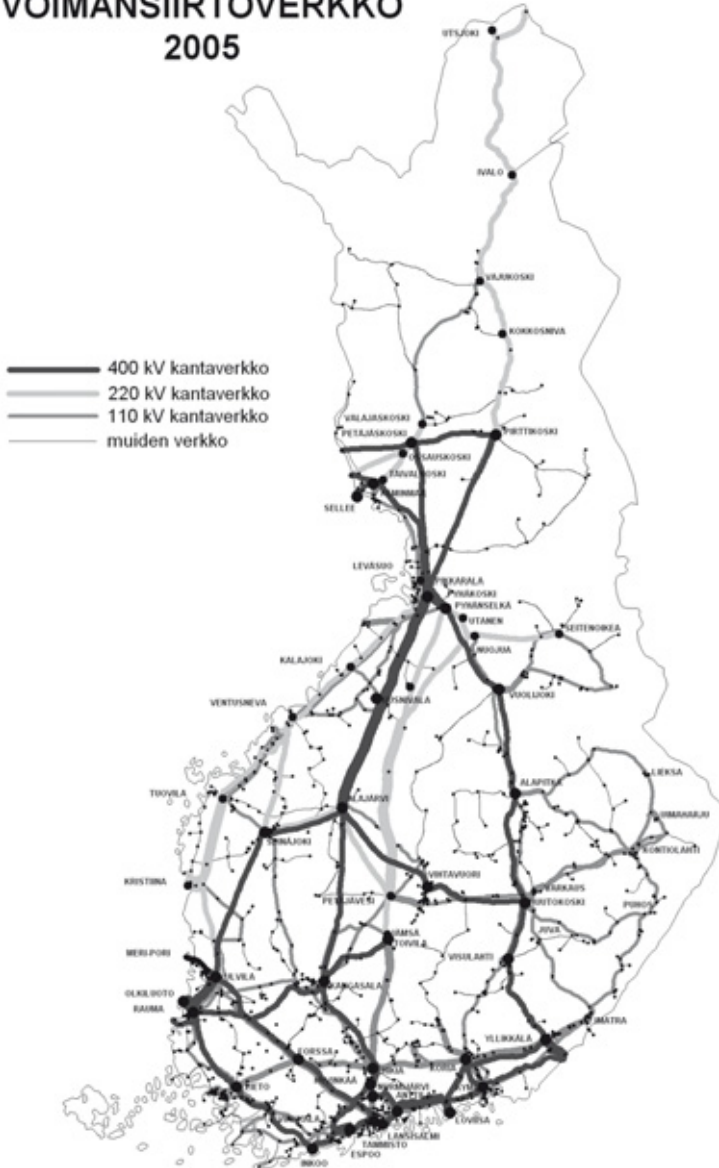
Sähköasemilta sähkö välitetään edelleen keskijännitteiseen jakeluverkkoon. Jakeluverkon jännite on yleensä 20 kV. Tavallisille sähkökäyttäjille jännite muunnetaan jakelumuuntamossa 20 kV keskijännitteestä 400 V pienjännitteeksi. Jakelumuuntamot ovat joko pylväsmuuntamoita, puistomuuntamoita tai rakennuksiin yhdistettyjä kiinteistömuuntamoita.

Kantaverkkoon kuuluvat kaikki 400 kV ja 220 kV johdot sekä tärkeimmät 110 kV johdot. Loput 110 kV johdot muodostavat alueverkon. Kaik-

#### FAKTALAATIKKO 9.2

- Suomen sähköjärjestelmä muodostaa yhdessä Ruotsin, Norjan ja Itä-Tanskan sähköjärjestelmien kanssa pohjoismaisen Nordel-järjestelmän. Sähköä tuodaan myös Venäjältä.
- Suomen kantaverkosta vastaa Fingrid Oyj. Sillä on suurjännitteisiä voimajohtoja yhteensä noin 14 000 km ja sähköasemia 100 kappaletta.
- Suomessa on keskijännitejohtoja noin 140 000 km, joista maakaapeleita noin 12 000 km. Vuoden 2003 alussa Suomessa oli 93 jakeluverkon haltijaa.
- Jakelumuuntamoita Suomessa oli vuonna 2001 yhteensä noin 126 000, joista rakennusten yhteydessä noin 9 100.
- Pienjänniteverkoissa johtoja on noin 220 000 km, joista maakaapeleita noin 62 000 km.

## FINGRID OYJ:N VOIMANSIIRTOVERKKO 2005



**Kuva 9.4 Suomen kantaverkko vuodelta 2005 (Fingrid Oyj)**

Suomen siirtojohtojen yhteenlaskettu pituus vuonna 2004 oli 21 700 km. Näistä 110 kV johtoja oli 15 300 km, 220 kV johtoja 2 400 km ja 400 kV johtoja 4 000 km. 400 kV kantaverkossa on 52 sähköasemaa ja alueverkoissa 740 sähköasemaa.

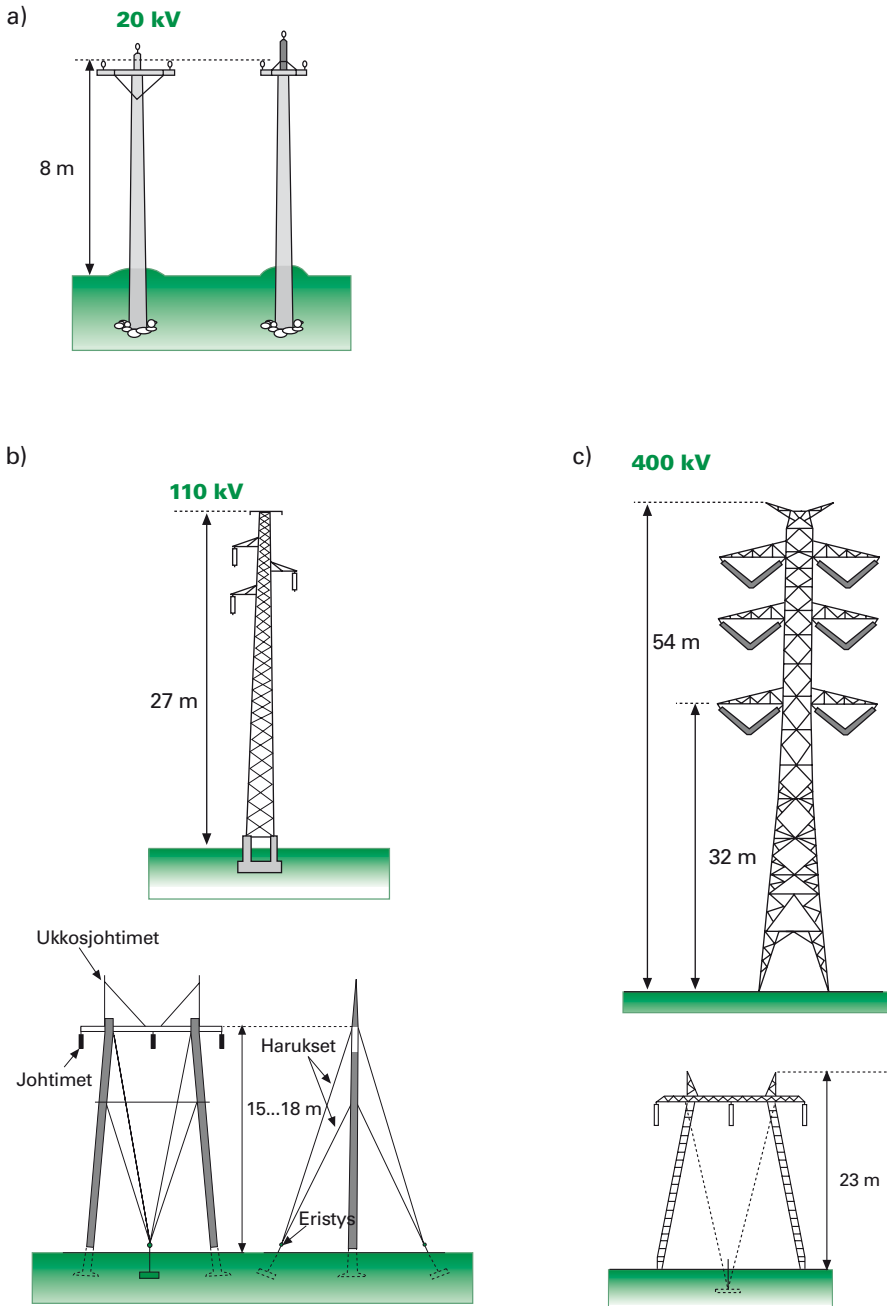
kia 110–400 kV johtoja kutsutaan suurjännitteisiksi voimajohdoiksi. Kuvassa 9.4 on esitetty Suomen kantaverkko vuodelta 2005 ja kuvassa 9.5 on valokuva kantaverkkoon liittyvästä sähköasemasta.

Kaupungeissa ja taajamissa jakeluverkot ovat yleensä maahan upotettuja kaapelivetoja. Ilma- ja avojohdot ovat yleisempiä maaseudulla. Maakaapelit kulkevat erityisissä kanavissa tai ne voidaan laskea suoraan maahan tai veteen. Mitä kauempana johtimet ovat toisistaan sitä laajemmalle alueelle sähkö- ja magneettikenttä leviää. Suurjännitekaapelit eivät yleensä levitä ympärilleen sähkökenttää metallivaipan takia. Ilmajohtojen kentät ulottuvat kauemmaksi kuin kaapeleiden synnyttämät kentät. Kaikkein paikallisimmaksi jäävät maakaapelien synnyttämät kentät, vaikka magneettivuon tiheys voi olla melko voimakas aivan kaapelin välittömässä läheisyydessä.

Kuvissa 9.6a–c on esitetty erilaisia johtojen pylväsrakenteita. Suomessa käytetään yleensä harustettuja portaalipylväitä, joiden etuna on pieni maanalan tarve. Pylväs on myös matala eikä näy metsäisessä maastossa kuin johtoaukean suunnassa.



**Kuva 9.5 Valokuva 400 kV sähköaseman pääkiskostosta**



**Kuva 9.6** Erilaisten johtojen pylväsrakenteita

a) 20 kV

b) 110 kV

c) 400 kV

Mitat ovat likimääräisiä ja riippuvat tapauksesta sekä olosuhteista.

## Altistumista koskevat suositusarvot 50 Hz taajuudella

Pientaajuisia sähkö- ja magneettikenttiä aiheuttavat sähkönsiirto- ja jakelujärjestelmä sekä niihin kytketyt sähkölaitteet. Nämä kentät ovat erityisasemassa, kun tarkastellaan sekä väestön että työntekijöiden altistumista pientaajuisille sähkö- ja magneettikentille, sillä ne ulottuvat käytännössä kaikkialle.

Väestön altistumiseen sähköjärjestelmistä peräisin oleville sähkö- ja magneettikentille sovelletaan luvussa kahdeksan esitettyä STM:n asetusta (294/2002), joka perustuu ICNIRPin ohjearvoihin ja EU:n neuvoston suositukseen. Koska taajuus (50 Hz) on sama kaikkialla yhteen kytketyssä vaihtosähköverkossa, samat suositusarvot altistumiselle pätevät niin voimansiirtojohtojen, jakelumuuntamoiden kuin yksittäisten sähkölaitteidenkin yhteydessä. Väestöä koskevat suositusarvot, joita ei saisi ylittää, on määritelty seuraavasti:

- Kun altistus kestää merkittävän ajan, suositusarvo on sähkökentän osalta 5 kV/m ja magneettikentän osalta 100  $\mu$ T.
- Ei-merkittävän ajan kestävässä altistuksessa suositusarvot ovat 15 kV/m ja 500  $\mu$ T.

Voimajohtojen sähkökenttä ei yleensä sisällä yliaaltoja ja siihen voidaan suoraan soveltaa 50 Hz taajuudella päteviä suositusarvoja. Magneettikentän osalta on kuitenkin huomioitava se, että kenttä on suoraan verrannollinen virtaan, jossa on yleensä huomattavasti yliaaltoja. Niitä aiheuttavat laitteet kuten televisiovastaanottimet, tietokonelaitteistot ja tasasuuntaajat. Myös teollisuusprosesseissa on usein yliaaltoja aiheuttavia komponentteja. Yliaaltojen merkitys kasvaa aina mentäessä alemmalle jänniteportaalle ja voivat 400 V jakeluverkossa lisätä altistumista tyypillisesti tekijällä 1,5–3 verrattuna sellaiseen tilanteeseen, jossa vain 50 Hz peruskomponentti vaikuttaisi. Yliaallot on helpointa huomioida luvussa 8 esitetyn painotetun huippuarvon menetelmällä.

Euroopan unioni antoi vuonna 2004 uuden direktiivin (2004/40/EY) työntekijöiden terveyttä ja turvallisuutta koskevista vähimmäisvaatimuksista. Tarkoituksena on rajoittaa työntekijöiden altistumista fyysikaalisista tekijöistä, kuten sähkömagneettisista kentistä, aiheutuville riskeille. Tämä sähkö- ja magneettikenttiä koskeva työsuojeludirektiivi tulee saattaa voimaan myös Suomessa siirtymäkauden jälkeen vuonna 2008. Siihen asti noudatetaan sosiaali- ja terveysministeriön päätöstä ionisoimattoman säteilyn altistuksen enimmäisarvoista (1474/1991).

Kentänvoimakkuuksia rajoittavien suositusten ja määräysten lisäksi tulee ottaa huomioon sähköturvallisuusmääräykset, jotka asettavat omat rajoitukset muun muassa voimajohtojen rakentamiselle.

## Laskettuja kentänvoimakkuuksia voimajohtojen läheisyydessä

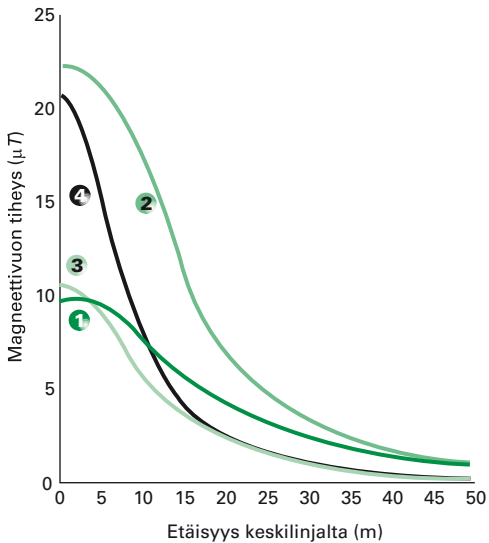
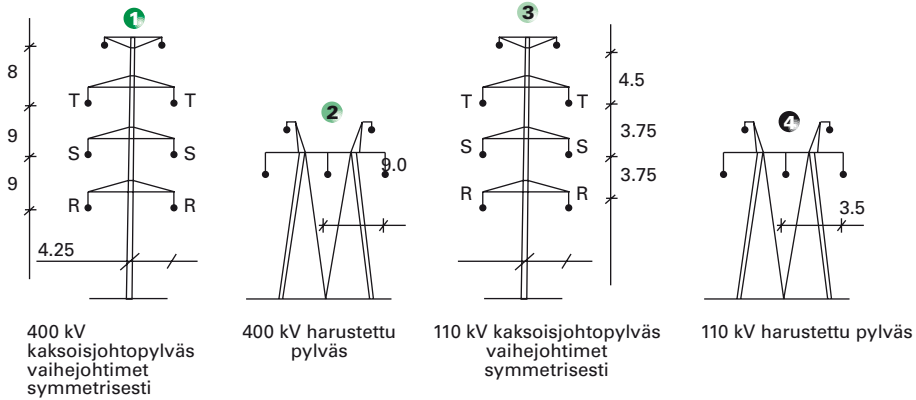
Voimajohtojen ja osin myös jakelujohtojen aiheuttamien sähkö- ja magneettikenttien suuruutta voidaan määrittää sekä mittauksin että suhteellisen yksinkertaisesti myös analyyttisin laskelmin. Analyyttisessä laskennassa tehdään erilaisia oletuksia ja yksinkertaistuksia, jotta kentät pystytään laskemaan. Voimajohtojen kenttiä laskettaessa oletetaan muun muassa, että johdon alla maa on tasainen, eikä siellä ole kasvillisuutta. Sähkö- ja magneettikentän kytkeytymistä kehoon voidaan tarkastella toisistaan erillisinä ilmiöinä, kun taajuus on pieni (kappale 3.3).

Analyyttisen laskennan lähtökohtana on se, että kenttää voidaan kuvata viivalähteistä muodostuvista usein suorista osista, joissa kulkeva virta ja varaukset voidaan määrittää johdon jännitteistä ja virroista sekä geometriasta. Lähteen jokaisen osan aiheuttama kenttäkomponentti lasketaan yksinkertaisilla analyyttisillä kaavoilla (Coulombin laki, Biot–Savartin laki) ja komponentit lasketaan yhteen vektoreina. Tällainen malli voimajohtojen kenttien laskemiseksi on esitetty liitteessä 1. Monimutkaisempaan laskentaan, jossa on huomioitava ympäristön ja kehon vaikutus kenttiin, on käytettävä Maxwellin yhtälöihin (kohta 2.4) perustuvia numeerisia menetelmiä kuten FEM-laskentamenetelmää (Finite Element Method).

Kuvissa 9.7 ja 9.8 on esitetty analyyttisellä laskentamallilla laskettujen sähkö- ja magneettikenttien arvoja voimajohtojen läheisyydessä. Suurimmat sähkökentän voimakkuudet esiintyvät 400 kV johdon alla, jossa kentät ovat suurimmillaan noin 10 kV/m. 110 kV johdon alla kentät ovat suurimmillaan 2–3 kV/m. Väestöraja 5 kV/m voi siten ylittyä 400 kV johdon alla, mutta ei 110 kV johdon alla. Kuvasta 9.8 voidaan todeta, että sähkökenttä pienenee varsin nopeasti siirryttäessä johdon keskilinjalta ulospäin. Johtoaukeaman reunassa kentänvoimakkuus on enää kymmenesosa maksimiarvosta. Sähkökentän voimakkuus ei juuri vaihtele, koska se riippuu verkon jännitteestä, joka pysyy varsin vakiona. Keski-jänniteverkossa (20 kV) sähkökentän voimakkuudet avojohtojen alla maanpinnan tasalla ovat vähäisiä (0,1 kV/m).

Magneettikentän voimakkuudet ovat suurimmillaan johdon alapuolella. 400 kV johdolla magneettivuon tiheyden suurin arvo on 10–20  $\mu\text{T}$  ja

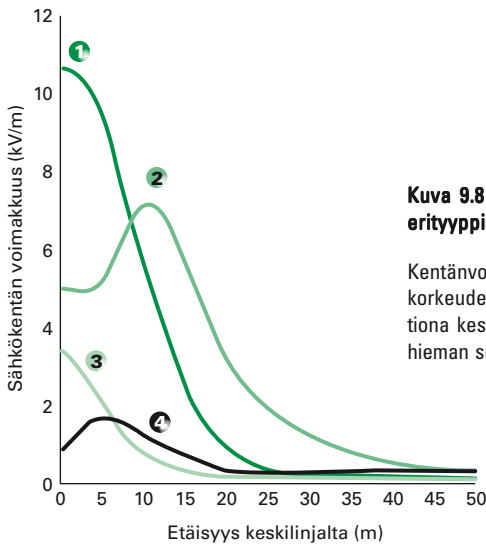
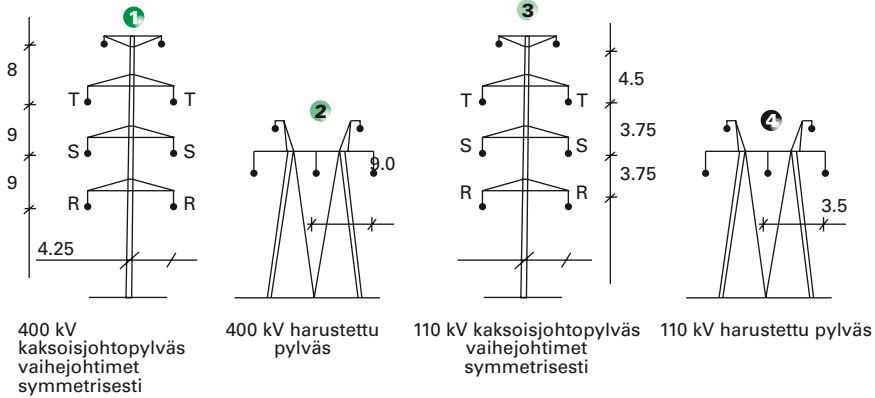
110 kV johdolla 5–8  $\mu\text{T}$ , kuten kuvassa 9.7 on esitetty. Väestöraja 100  $\mu\text{T}$  ei siten ylity. On kuitenkin huomattava, että magneettikenttä vai-  
menee etäisyyden funktiona hieman hitaammin kuin sähkökenttä. Keski-  
jänniteverkossa (20 kV) magneettikentän voimakkuudet ovat avojohtojen  
alla maanpinnan tasalla maksimissaan 3  $\mu\text{T}$ .



**Kuva 9.7 Laskettu magneettivuon tiheys erityyppisten voimajohtojen läheisyydessä**

Magneettivuon tiheys on laskettu yhden metrin korkeudella maan pinnasta etäisyyden funktiona (Valjus 1987). Magneettikentän voimakkuus riippuu johdon kuormitusvirrasta; kun virta on pienempi, myös magneettikenttä on pienempi. Laskennassa käytetty kuormitusvirta on tavallista hieman suurempi eli 1000 A. 110 kV johdolla suurimmat kuormitusvirrat ovat yleensä 500 A ja 400 kV johdolla 1000 A.





**Kuva 9.8 Laskettu sähkökentän voimakkuus erityyppisten voimajohtojen läheisyydessä**

Kentänvoimakkuus on laskettu yhden metrin korkeudella maan pinnasta etäisyyden funktiona keskilinjalta. Kuormitusvirta on tavallista hieman suurempi eli 1 000 A. (Valjus 1987)

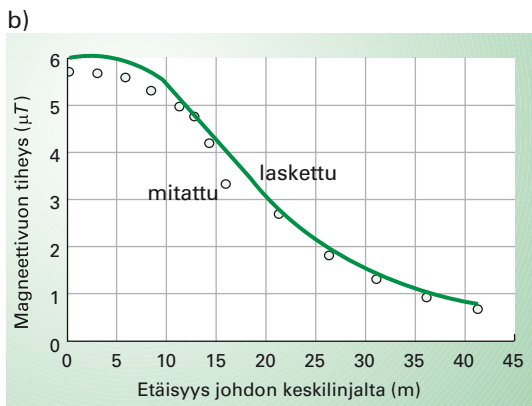
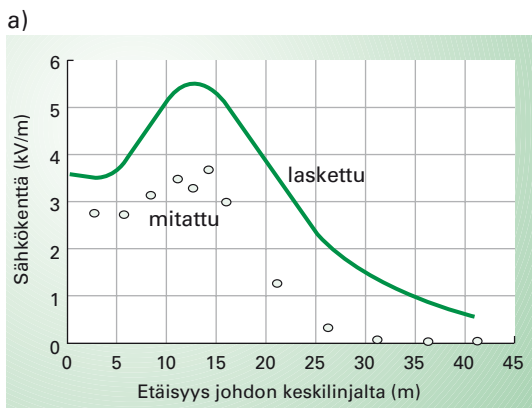
Magneettikentää määritettäessä verkon kuormitusvirta on tärkeä tekijä. Sen vaihdellessa myös magneettikenttä vaihtelee samassa suhteessa. Magneettikenttiä laskettaessa voi käyttää kuormitusvirran maksimiarvoja. Käytännössä ne ovat kuitenkin varsin harvinaisia. Paremman yleiskuvan magneettikenttien suuruuksista saa tarkastelemalla virtojen vuosikeskiarvoja. Johtojen läheisyydessä esiintyvät magneettikentät ovat yleensä paljon pienempiä, kuin johtotyyppien maksimivirroilla lasketut kentät. Suomessa 400 kV johtojen virrat vaihtelevat 50–1200 A välillä. 110 kV johdoilla vastaava vaihteluväli on 0–600 A. Tutkimusten mukaan magneettivuon tiheys 400 kV johtojen alla on käytännössäkin enintään 10–20  $\mu\text{T}$  ja noin 30 metrin etäisyydellä johdoista enintään

1–4  $\mu\text{T}$ . Noin 65 metrin etäisyydellä magneettivuon tiheys on lähes aina alle 1  $\mu\text{T}$ .

Virtojen ja jännitteiden lisäksi johtimien etäisyys maasta ja johdon rakenne vaikuttavat merkittävästi kenttiin. Mitä lähempänä johdot ovat maata ja mitä kauempana ne ovat toisistaan, sitä suurempia ovat kenttien voimakkuudet maanpinnan läheisyydessä.

### Mitattuja kentänvoimakkuuksia voimajohtojen läheisyydessä

Kuvassa 9.9 on esitetty erään 400 kV pylsävälin sähkö- ja magneettikenttien mittaustulokset sekä analyttisen laskennan tulokset. Magneetikentän tapauksessa mittaustulokset ja laskenta täsmäivät hyvin, sähkökentän tapauksessa kasvillisuus vaikuttaa mittaustulokseen merkittävästi. Maasta työntyvät puut ja pensaat oikosulkevat kenttää ja pienentävät kentänvoimakkuutta.



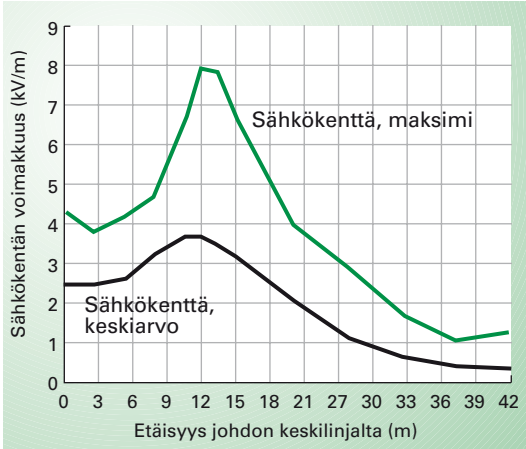
**Kuva 9.9 Mitattujen ja laskettujen sähkö- ja magneetikenttien vertailua voimajohdon alapuolella**

Pylsävälin jännite on mittauksen aikana ollut 410 kV ja kuormitusvirta 366 A. Mittaukset on suoritettu avojohtoa vasten kohtisuorassa linjassa pylsävälin keskeltä.

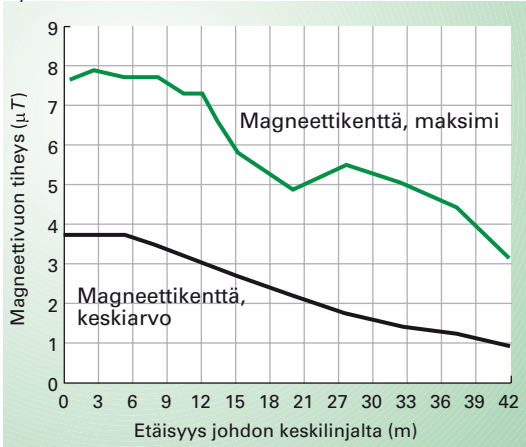
a) Sähkökenttä

b) Magneetikenttä (Korpinen 2003)

a)



b)



**Kuva 9.10 Yhteenveto sähkö- ja magneettikentistä 400 kV voimajohdon alla**

Mittaukset on suoritettu avojohtoa vasten kohtisuorassa linjassa pylväsvälin keskeltä. (Korpinen 2003)

a) Sähkökentät (maksimi- ja keskiarvot)

b) Magneettikentät (maksimi- ja keskiarvot). Mittausten aikana virrat vaihtelivat välillä 57–652 A.

Kuvassa 9.10a on esitetty yhteenveto Suomessa mitatuista 400 kV sähkökentän voimakkuuden mittaustuloksista, ja kuvassa 9.10b on yhteenveto magneettivuon tiheyden mittaustuloksista. Mittauskorkeus on ollut yksi metri ja mittaukset on tehty pylväsvälin keskikohdalla. Suurin mitattu sähkökenttä on ollut noin 8 kV/m, joka ylittää pitkäaikaiseen altistumiseen sovellettavan väestörajan 5 kV/m, mutta ei lyhytaikaiselle tilapäiselle altistumiselle sovellettavaa 15 kV/m rajaa. Suurin mitattu arvo magneettikentille on 8  $\mu\text{T}$ , joka jää selvästi alle kaikkien väestörajojen.

Mitattu jännite (kV)	Suurin mitattu sähkökentän voimakkuus, (kV/m)
115,0	0,7
115,5	0,52
115,3	0,49
117,5	0,31
117,9	0,63
117,0	1,02
117,0	1,21
116,8	0,54
116,0	0,56
116,3	1,48

**Taulukko 9.2 Esimerkkejä 110 kV voimajohtojen sähkökenttien mittaustuloksista (Korpinen 2000)**

Tarkasteltaessa kuvan 9.10b magneettikenttiä koskevia tuloksia tulee ottaa huomioon se, että pylväsvälit oli valittu ensisijaisesti sähkökenttäläistuksen näkökulmasta, sillä voimalinjojen sähkökentän arvot ovat lähempänä ohjearvoja kuin magneettikentän arvot.

110 kV johdoilla mitatut sähkökentän voimakkuudet jäivät selvästi alle 5 kV/m, (taulukko 9.2). Sähkökenttien voimakkuudet vaihtelivat välillä 0,3–1,5 kV/m.

Yhteenvedona voidaan sanoa, että sähkökenttä on magneettikenttää kriittisempi, kun arvioidaan ylittyvätkö STM:n asetuksen suositusarvot voimajohtojen lähellä. Mahdollisten terveyshaittojen tutkimuksessa magneettikenttien vaikutukset ovat olleet enemmän esillä kuin sähkökenttien vaikutukset, koska magneettikentät tunkeutuvat rakennusten sisälle toisin kuin sähkökentät.

Mittausten perusteella pitkäaikaiselle altistukselle sovellettava sähkökentän suositusarvo 5 kV/m ylittyy 400 kV voimajohtojen välittömässä läheisyydessä noin 30 prosentissa tapauksista. Korkeimmat arvot jäävät kuitenkin 10 kV/m tason alapuolelle eli ei-merkittävän ajan kestäväälle altistukselle asetettu raja 15 kV/m ei ylity. Asetus ei siten rajoita esimerkiksi marjojen poimimista tai maanviljely- ja metsätöiden tekemistä voimajohtojen alla. Johtoalueen ulkopuolella alimmatkaan suositusarvot eivät enää ylity. Sähkökentän voimakkuudet 110 kV ja 20 kV johtojen alla ovat huomattavasti alle suositusarvojen.

## Maan käyttö ja kaavoitus voimajohtojen läheisyydessä

Sosiaali- ja terveysministeriö on julkaissut vuonna 2003 oppaan yleisön altistumisesta pientaajuisille sähkö- ja magneettikentille (Korpinen 2003). Sen tarkoituksena on selventää, miten asetusta STM 294/2002 sovelletaan muun muassa voimajohtoihin. Kun arvioidaan asetuksen merkitystä maankäyttöön ja kaavoitukseen, tulee tarkastella erikseen vanhoja, jo olemassa olevia johtoja, ja uusia rakennettavia johtoja.

### **Nykyiset johdot**

Kun otetaan huomioon, että avojohtojen alla ei oleskella merkittävää aikaa, suositusarvot sähkö- ja magneettikentille eivät ylity johtoalueella ja sen ulkopuolella. Asetus ei edellytä jättämään kaavoituksessa suojaluettua johtoalueen ulkopuolelle. Kuitenkin asuntoja kaavoitettaessa olisi hyvä ottaa kentät huomioon ihmisten mahdollisten terveysvaikutuksiin liittyvien huolien tähden. Lisäksi olisi suotavaa, ettei ylimääräistä toimintaa kaavoiteta voimajohtoalueelle.

Voimajohtoalueelle kaavoittamisen edellytyksenä on joka tapauksessa, että asiasta on sovittu myös maanomistajien ja johdonomistajien kanssa. Vahvavirtailmajohdomääräyksien mukaan lämmitettäviä rakennuksia ei aikaisemmin saanut rakentaa johdon alle. Nyt EU:ssa asia on voimajohdon omistajan päätettävissä.

### **Uusien johtojen rakentaminen**

Suomessa ei ole olemassa virallisia voimajohtojen sijoittamista koskevia ohjeita, mutta johtoja suunniteltaessa pyritään yleensä siihen, ettei niitä rakenneta esimerkiksi asuntojen, päiväkotien, leikkikenttien tai koulujen läheisyyteen. Tämä perustuu muun muassa siihen, että julkisessa keskustelussa esiintyvät käsitykset avojohtojen aiheuttamista mahdollisista terveyshaitoista saattavat huolestuttaa ihmisiä.

## Sähköasemat

Vuonna 2005 Suomen 400 kV kantaverkkoon kuului 52 sähköasemaa. Niiden tehtävänä on kytkeä voimajohtoja verkkoon ja muuntaa jännitteitä. Sähköasemilla työskentelevät henkilöt voivat satunnaisia huolto- ja korjaustöitä suorittaessaan altistua 50 Hz sähkö- ja magneettikentille. Merkittävin altistuminen aiheutuu sähkökentästä. 400 kV kytkinkentällä

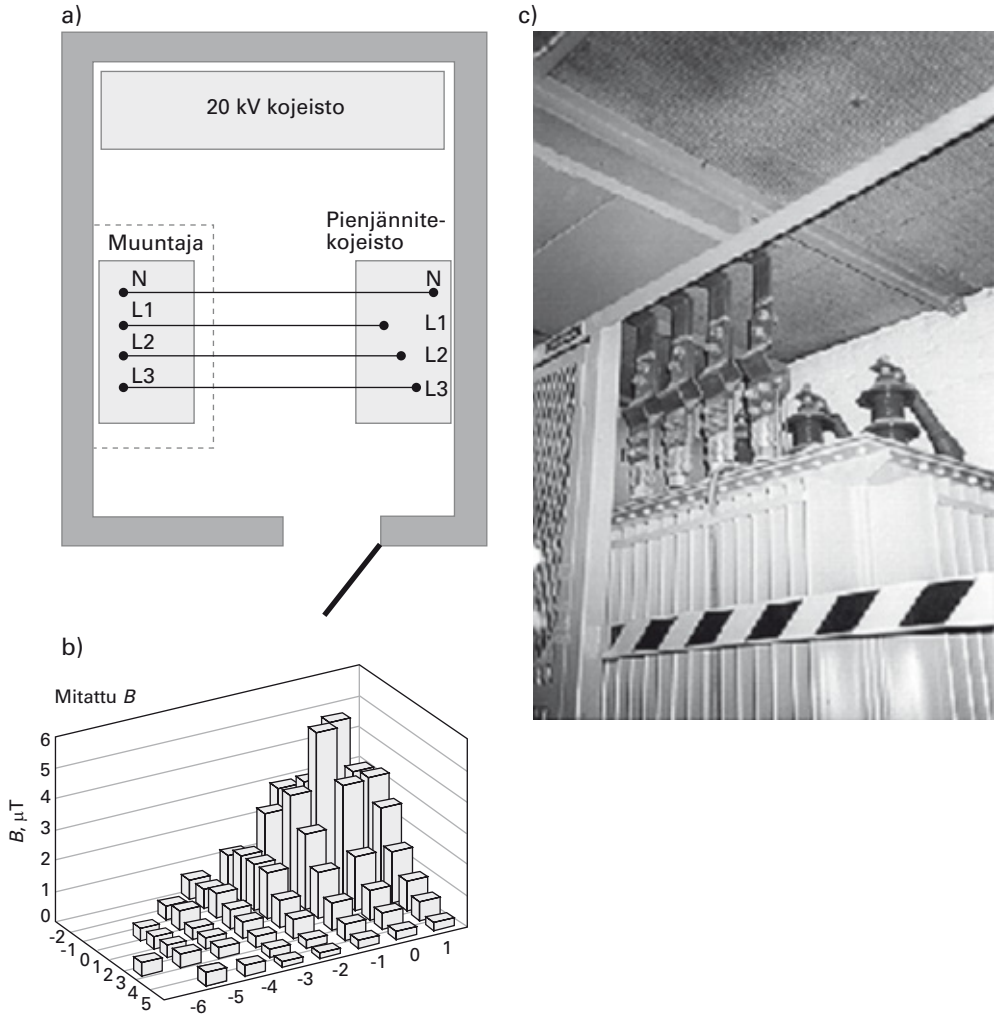
voi virtakiskojen alapuolella altistua kehon mittoihin nähden suhteellisen homogeeniselle sähkökentälle. Useimmilla asemilla voi sähkökenttä paikka paikoin ylittää direktiivin (2004/40/EY) toiminta-arvon 10 kV/m. Suurin Suomessa mitattu kentänvoimakkuus on ollut hieman alle 15 kV/m mitattuna yhden metrin korkeudella. Magneettikentät ovat kytkinkentällä yleensä alle 20  $\mu\text{T}$  eli huomattavasti alle toiminta-arvon 500  $\mu\text{T}$ . Suoja-aidan ulkopuolella oleskeleviin sivullisiin ei kohdistu merkittävää altistumista.

## Kiinteistömuuntamot

Rakennusten oma sähköjärjestelmä ja erilaiset sähköä kuluttavat laitteet aiheuttavat ympärilleen sähkö- ja magneettikenttiä. Lisäksi joissakin rakennuksissa kiinteistöön ja lähiseudun taloihin sähköä jakava 20/0,4 kV jakelumuuntamo voi aiheuttaa muuntamon yläpuolella olevissa työ- ja asuintiloissa tavallista isomman magneettikentän. Pahimmillaan tällaisen kiinteistömuuntamon aiheuttama magneettikenttä yläpuolisen huoneen lattian tasalla voi ylittää 100  $\mu\text{T}$ . Siten kiinteistömuuntamo on käytännössä voimakkaimpia 50 Hz magneettikenttien lähteitä, jolle ihmiset voivat kotiloissa altistua. Magneettikenttä on peräisin muuntajan ja pienjännitekeskuksen välisestä kolmivaihekaapeli- tai kiskosillasta, joissa kulkeva virta voi olla yli 500 A. Kuvaan 9.11a on piirretty muuntajan pienjännitekojeistoon yhdistävät kolmivaihekiskot L1–L3. Etenkin vanhemmissa muuntamoissa kaapeli tai kisko voi olla hyvin lähellä muuntamotilan kattoa. On huomattava, että ilman metallisuojausta katto ei yhtään vaimenna magneettikenttää, mutta johteita ei mielellään käytetä enempää kuin on välttämätöntä.

Taulukossa 9.3 on esitetty mittaustuloksia kiinteistömuuntamoiden magneettikentistä. Maksimiarvot esiintyvät hyvin paikallisesti lattian pinnassa kiskosillan tai kaapelin kohdalla. Selvästi taustakenttää suurempia magneettivuon tiheyden tasoja esiintyy kuitenkin laajemmalla alueella. On huomattava, että muuntamosta peräisin oleva magneettikenttä vaihtelee huomattavasti vuorokauden aikana seuraten kuormitusvirran vaihteluita. Näissä Tampereen teknillisen yliopiston tekemissä mittauksissa on jääty alle STM:n asetusten suositusarvon 100  $\mu\text{T}$ . Yliaaltojen vaikutusta ei kuitenkaan ole näissä mittauksissa huomioitu. Yliaallot voivat lisätä altistumista tyypillisesti kertoimella 1,5–3, joten joissakin kuormitusolosuhteissa on mahdollista, että väestöraja on voinut ylittyä.

Suositusarvon ylityksiä lattian tasalla on havaittu Säteilyturvakeskuksen ja jakeluyhtiöiden mittauksissa. Tällöin kyseessä on ollut vanha



**Kuva 9.11 Esimerkki kiinteistömuuntamosta ja sen yläpuolella tehdyistä magneettikentän mittauksista**

a) Muuntamon pohjapiirros. Muuntajan pienjännitekojeistoon liitävissä kolmivaihekeskoissa L1–L3 kulkevien vaihevirtojen keskiarvo oli 730 A. N on nollajohto, jossa käyttöaajuinen virta on pieni, mutta 50 Hz yliaaltovirta voi olla merkittävä.

b) Magneettivuontiheydet mitattiin yläpuolisessa huoneessa 1 m korkeudella. Mittauksissa ei ole huomioitu yliaaltoja. Muuntajatilassa on myös 20 kV suurjännitepuoli, mutta siinä kulkevat virrat ovat pieniä verrattuna pienjännitepuolen virtoihin. Virtojen suhde määräytyy muuntosuhteen 0,4/20 mukaan. Sähkökenttä on hyvin pieni sekä muuntamossa että yläpuolisessa tilassa. (Kotiniitty ym. 1999)

c) Valokuva muuntamosta

kiinteistömuuntamo, joka on sijainnut suoraan asunnon alla. Karkeasti voidaan arvioida, että tällaisia ongelmamuuntamoita on noin prosentti Suomen 9 000 kiinteistömuuntamosta eli alle sata kappaletta.

Kiinteistömuuntamon aiheuttamia magneettikenttiä voidaan periaatteessa vaimentaa esimerkiksi seuraavilla menetelmillä, mutta usein käytännön olosuhteet asettavat rajoituksia:

- Pienjännitesillan siirtäminen katosta lattialle
- Kiskojen muuttaminen kaapeleiksi
- Muuntajan vaihtaminen kahteen pienempään
- Rakennuksen harhavirtojen vähentäminen
- Kiskojen ja kaapelien ympäröinti alumiinikotelolla. Koteloinnin haittapuolena on se, että kotelointi aiheuttaa lisähäviöitä ja lämpenemistä ja rajoittaa kuormitettavuutta.

Uusissa muuntamoissa hajamagneettikentät on saatu niin pieniksi, että oikein asennettuna muuntamo ei lisää magneettikentän tasoa asuintiloissa. Lisää tietoa kiinteistömuuntamoiden magneettikentistä ja niiden mittaamisesta saa Säteilyturvakeskuksen julkaisusta Rakennusten magneettikenttien mittaaminen, STUK 1/2003.

Teho kVA	Virta A	Sijainti muuntamoon nähdän	Lattiasta 0 m max μT	Lattiasta 0 m ka μT	Lattiasta 1 m max μT	Lattiasta 1 m ka μT
800	730	Yläpuolella	41,6	4,25	5,51	1,30
1000	331	Yläpuolella	2,40	1,13	0,60	0,46
800	382	Yläpuolella	17,5	4,41	4,23	1,67
800	975	Yläpuolella	26,2	6,54	3,83	1,84
1 000	428	Sivulla	0,37	0,15	0,26	0,15
700	505	Yläpuolella	7,93	2,14	1,56	0,83
500	138	Yläpuolella	0,88	0,52	0,49	0,33
500	511	Yläpuolella	6,95	2,44	2,19	1,29
500	356	Yläpuolella	6,19	2,25	2,05	1,17
800	246	Yläpuolella	1,31	0,74	0,40	0,26
800/1 000/500 <sup>1</sup>	652	Yläpuolella	22,5	1,90	3,89	0,77
800	355	Yläpuolella	1,06	0,81	0,65	0,42
1 000/1 000	251+588	Yläpuolella	53,4	5,74	12,5	2,20

<sup>1</sup> Tilassa kolme muuntajaa. Mittaus on tehty vain 800 kVA muuntajan yläpuolella.

**Taulukko 9.3** Kiinteistömuuntamoiden lähellä olevien tilojen 50 Hz magneettikenttien suurimmat mitatut arvot ja keskiarvoja. Yliaaltoja ei ole huomioitu. (Korpinen 2000)



## Kodin laitteiden kentät

Sähköllä toimivat laitteet aiheuttavat osan rakennuksissa esiintyvistä taustamagneettikentistä. Kodinkoneille ja kodinelektronikalle on tyypillistä, että niiden magneettikenttä vaimenee voimakkaasti etäisyyden suhteen noudattaen likimain  $1/r^2$ -lakia. Vaikka magneettivuon aivan laitteen pinnalla olisi melko suuri, kenttä vaimenee taustakenttien tasolle jo alle metrin etäisyydellä laitteesta, katso taulukko 9.4.

Lähikentässä alle 30 cm etäisyydellä magneettivuon tiheys ei anna oikeaa kuvaa altistumisesta. Ainoa tapa arvioida altistumista realistisesti on määrittää magneettikentän indusoima virrantiheys kehossa ja verrata sitä perusrajaan. Tämä vaatii dosimetrista laskentaa eikä ole käytännössä helppo tehtävä. Vasta 30–100 cm etäisyydellä kenttä kohdistuu niin suureen osaan kehosta, että magneettivuon tiheyttä voidaan verrata vuontiheydelle määriteltyihin viitearvoihin. Muutamien senttimetrin etäisyydellä olevan laitteen aiheuttama virrantiheys kehossa on murto-osa homogeenisen magneettikentän perusteella arvioidusta virrantiheydestä.

## Kotien taustakentät

Taulukossa 9.5 on esitetty joitakin tyypillisiä tuloksia asunnoissa esiintyvistä magneettikenttien tasoista. Näiden ja muiden mittausten perusteella voidaan sanoa yleisesti, että asunnoissa esiintyvä taustamagneettikenttä on hieman alle  $0,1 \mu\text{T}$  (useimmilla työpaikoilla samaa luokkaa) eli hyvin pieni suositusarvoon  $100 \mu\text{T}$  suhteutettuna. Joskus harvoin magneettikentän tasoa nostaa asunnon ulkopuolella sijaitseva magneettikentän lähde, joka voi olla kiinteistömuuntamo tai voimajohto. Useimmiten magneettikenttä on peräisin kodin omaan sähköverkkoon kytketyistä sähkölaitteista sekä erityisesti sähköverkossa ja maadoituksissa kulkevista harhavirroista.

Harhavirrat aiheutuvat siitä, että sähkölaitteiden maadoitusten kautta pääsee karkaamaan pieni osa virrasta (tyypillisesti ampeereja), joka kulkeutuu lämpöpattereita ja metallirakenteita pitkin maahan. Vaikka virta on sähköturvallisuuden kannalta pieni, se voi olla merkittävä taustamagneettikentän lähde, koska paluuvirta ei kompensoi kenttää. Harhavirran aiheuttamalle magneettikentälle on tyypillistä, että se vaimenee suhteellisen hitaasti noudattaen Ampèren  $1/r$ -lakia.

Laite	Magneettivuon tiheys annetulla etäisyydellä $\mu\text{T}$		
	3 cm	30 cm	1 m
Tehosekoitin <sup>1</sup>	25–130	0,6–2	0–0,1
Kuivausrumpu	0,3–8	0,1–0,3	0
Pesukone	0,8–50	0,2–3	0–0,2
Kahvinkeitin	1,8 - 25	0,1–0,2	0
Astianpesukone	3,5–20	0,6–3	0,1–0,3
Pora <sup>1</sup>	400–800	2–3,5	0,1–0,2
Sähköuuni	1–50	0,2–0,5	0
Sähkölevy	6–200	0,4–4	0–0,1
Parranajokone <sup>1</sup>	15–1500	0,1–9	0–0,3
Tuuletin	2–30	0–4	0–0,4
Hiustenkuivaaja <sup>1</sup>	6–2000	0–7	0–0,3
Silitysrauta	8–30	0,1–0,3	0
Mikroaaltouuni	75–200	4–8	0,3–0,6
Jääkaappi	0,5–1,7	0–0,3	0
Televisio	2,5–50	0–2	0–0,2
Imuri <sup>1</sup>	200–800	2–20	0,1–2

<sup>1</sup> Näissä laitteissa on ohuen muovikuoren alla pienikokoinen sähkömoottori, jossa on suhteellisen suuri virrankulutus. Sähkömoottorin synnyttämät hajakentät voivat olla melko voimakkaita aivan laitteen pinnalla.

#### Taulukko 9.4 Magneettivuon tiheyksiä eri etäisyyksillä kodin sähkölaitteista

Verkosähkön taajuus on ollut tässä 60 Hz ja yliaaltoja ei ole huomioitu. (IEC 61000-2-7/1998).

Maadoitusvirrat voivat myös aiheuttaa sähköjohdoissa epäsymmetriaa, jonka seurauksena johdoissa kulkeva paluuvirta ei täysin kompensoi menovirtaa. Tästä aiheutuva magneettikenttä voi ilmetä esimerkiksi siten, että seinän sisälle asennettu nousujohto häiritsee lähellä olevaa näyttöpäätettä. Perinteiset näyttöpäätteet häiriintyvät jo muutaman mikrotieslan tasolla.

Harhavirrat ovat ongelma, kun rakennuksessa on vanhanaikainen nelijohdinjärjestelmä. Vanhoissa asennuksissa ei ole paluujohdinta, vaan kaikki virta palaa nollajohtimen ja niihin liitettyjen metallirakenteiden kautta syöttökohteeseen. Harhavirrat estetään nykyään viisijohdinjärjestelmällä. Uudemmassa viisijohdinjärjestelmässä maadoitusvirrat kerätään erilliseen maajohtoon, joka kulkee samassa nipussa vaihejohtimien ja nollajohtimen kanssa.

Asunto	Magneettivuon tiheys $\mu\text{T}$
1. Kerrostalohuoneisto	0,1
2. Kerrostalohuoneisto	0,2
3. Kerrostalohuoneisto	0,1
4. Kerrostalohuoneisto	0,4
5. Kerrostalohuoneisto <sup>1</sup>	2,9
6. Kerrostalohuoneisto <sup>1</sup>	1,6
7. Kerrostalohuoneisto	0,2
8. Kerrostalohuoneisto	0,1
9. Kerrostalohuoneisto	0,2
10. Kerrostalohuoneisto	0,1
11. Omakotitalo <sup>2</sup>	0,1

<sup>1</sup> kiinteistömuuntamo sijaitsee mitatun asunnon alapuolella  
<sup>2</sup> asunnossa lattialämmitys

#### Taulukko 9.5 Esimerkki kodeissa mitatuista taustamagneettikenttien tasoista

Mittaukset on tehty yhden metrin korkeudella lattiasta. Mittaustuloksista on esitetty suurin arvo. (Sauramäki ym. 2002)

Asunnoissa esiintyvien sähkökenttien voimakkuus on sekin pieni, alle 100 V/m. Huomattakoon, että kevytrakenteinenkin rakennus vaimentaa ulkopuolelta tulevan sähkökentän pieneen osaan, mutta käytännössä mikään rakennus ei vaikuta magneettikenttään.

## 9.4 | Sähkörautatiet

Rautatieliikenne aiheuttaa monimuotoisen sähkömagneettisen kenttäympäristön käytettävistä menetelmistä riippuen. Useimmissa Euroopan maissa nimellistaajuus on 50 Hz, mutta esimerkiksi Ruotsissa ja Norjassa junat toimivat 16 2/3 Hz taajuudella ja Italiassa tasavirtaa (DC) käyttäen. Rautateiden sähköistäminen aloitettiin Suomessa 1960-luvun loppupuolella.

Sähköistettyjen rataosuuksien pituus Suomessa on noin 2 000 km, ja rautateillä on liikenteessä yli 100 sähköveturia ja lähiliikenteessä on lähes saman verran sähkömoottorijunia (Sm-junia). Sähkökantaverkosta otettava suurjännite (110 kV/50 Hz) muunnetaan rautateiden syöttö-

asemilla 25 kV jännitteeksi, joka siirretään sähköradan ajojohtimiin. Sähköveturin ja sähkömoottorijunan ajomoottorien virta vaihtelee välillä 300–600 A ajettaessa eri nopeuksilla. Kiihdytyksen aikana moottorivirta on lähes 1 000 A.

Kansainvälinen tutkimustieto työntekijöiden tai matkustajien altistumistasoista sähkö- ja magneettikentille on vähäistä. Asian selvittämiseksi Suomessa Työterveyslaitos ja Kuopion yliopisto tekivät tutkimuksen, jossa selvitettiin eri ammattiryhmien ja matkustajien altistumista sähkörautateiden sähkö- ja magneettikentälähteille. Magneettikenttiä mitattiin veturinkuljettajien, sähkömoottorijunan kuljettajien, konduktöörin sekä rakennus- ja kunnossapitohenkilöstön työkohteissa. Myös matkustajien altistumista selvitettiin junien matkustajavaunuissa ja asemilla tehdyin mittauksin. Lisäksi määritettiin muutamien työntekijöiden henkilökohtainen altistuminen sähkö- ja magneettikentille.

Sähköjunissa tehdyt mittaukset pyrittiin ajoittamaan siten, että magneettikenttä olisi mahdollisimman voimakas. Tämä tapahtuu silloin, kun juna kiihdytetään tai ajetaan ylämäkeen, jolloin virta on suurimmillaan.



**Kuva 9.12 Sähköjunat (Kuva: VR)**

Sähkön syöttö katkeaa nopeutta hidastettaessa ja erotusjakson aikana. Mittaukset suoritettiin sellaisella magneettikentän mittarilla, joka antaa magneettikentän painottamattoman tehollisarvon eikä siten huomioi yliaaltoja.

## Sähköveturien magneettikentät

Sähköveturissa mitattiin magneettikenttiä ohjaamoissa ja niitä yhdistävällä välikäytävällä ajon aikana. Lisäksi mittauksia tehtiin veturivarikolla sähköasentajien työskentelykohdissa veturin ollessa joutokäynnillä, katso taulukko 9.6.

Mittauspaiikka	Mittauskohta ja -tilanne	Magneettivuon tiheys, $\mu\text{T}$ (rms)
Ohjaamo	joutokäynti	0,3–0,4
	tasainen ajo	1,1–3,6
	kiihdytys, välikäytävän ovella	7–40
Ohjaamojen välikäytävä	tasainen ajo, 1 m korkeudella	6–260
	tasainen ajo, 20 cm korkeudella	70–800
	joutokäynti, eri korkeuksilla	0,2–130

**Taulukko 9.6 Sähköveturissa mitattuja magneettivuon tiheyksiä**

## Sähkömoottorijunien magneettikentät

Sähkömoottorijunissa (Sm-1 ja Sm-2) moottorit ja merkittävimmät sähkölaitteet sijaitsevat vetovaunussa. Mittauksilla selvitettiin magneettikenttien voimakkuuksia ajon ja joutokäynnin aikana laitteiden lähiympäristössä, missä myös matkustajat voivat oleskella matkan aikana. Sähkömoottorijunien ollessa pysähtyneenä asemalla magneettivuon tiheys ohjaamossa oli 2–3  $\mu\text{T}$ . Ajon aikana magneettivuon tiheys nousi sähkölaitekaappien ja virtakiskojen kohdalla. Telin kohdalla, matkustajavaunuissa ja siinä vetovaunun osassa, joissa ei ollut sähkölaitteita, magneettivuon tiheys oli alle 1  $\mu\text{T}$  ajon aikana. Taulukossa 9.7 on esitetty Sm-1- ja Sm-2 -junissa ajon aikana mitattuja magneettivuon tiheyksiä.

Mittauspaikka	Mittauskohta ja -tilanne	Magneettivuon tiheys, $\mu\text{T}$ (rms)
<b>Sm-1</b>		
Ohjaamo	Tasainen ajo, kuljettajan puolella Rahastajan alue 15 cm seinästä, peltiseinä poistettu	0,1–0,9 10
Sähkölaitekaapit	Ovi auki, tasainen ajo ja kiihdytys	0,3–110
Virroitinrakenne	2 m korkeudella	2–6
25 kV kaapeli, vetovaunun eteistila	Kaapelikotelon pinnalla	40–100
<b>Sm-2</b>		
Sähkölaitekaapit	Ovi auki, tasainen ajo ja kiihdytys	0,5–260
Matkustajaosasto	Tasasuuntaussiltakaapin kohdalla	3–290
Matkustajaosasto	Kojekaapin kohdalla	10–78
Matkustajaosasto, akun ja muuntajan kohdalla	Istuvan matkustajan keskivartalo	3–10

**Taulukko 9.7 Sähkömoottorijunissa (Sm-1 ja Sm-2) ajotilanteessa mitattuja magneettivuon tiheyksiä**

Mittauspaikka	Magneettivuon tiheys, $\mu\text{T}$ (rms)
Matkustajaosastot (istuvan matkustajan keskivartalo)	0,1–0,3
Eteistila	2–8
Aggregaattivaunu yleisesti	0,2–2,7
Aggregaatin lähellä	45–65
Sähkökaapin lähellä	17–19
Välialue	4–10
Konduktööritila	0,2–0,5

**Taulukko 9.8 Sähköveturijunien matkustaja- ja aggregaattivaunuissa ajotilanteessa mitattuja magneettivuon tiheyksiä**

Väestön altistumista koskeva viitearvo 50 Hz taajuudella on 100  $\mu\text{T}$ .

## Matkustajavaunut ja aggregaattivaunut

Sähköveturijunien matkustajavaunuissa mitatut magneettivuon tiheydet olivat alle 0,3  $\mu\text{T}$ . Eteistiloissa mitattiin hieman suurempia vuontiheyksiä, joita aiheuttivat mittarikaappien virtajohdot, taulukko 9.8.

Aggregaattivaunua käytetään tuottamaan junan tarvitsema sähköenergia sähköistämättömillä rataosuuksilla. Aggregaatti on sijoitettu matkustajavaunun erilliseen osastoon. Aggregaatin lähellä mitatut kentät olivat suurimmillaan  $65 \mu\text{T}$ . Matkustajaosastossa aggregaattitilan seinän vieressä mitattiin  $15 \mu\text{T}$ , mutta puolen metrin etäisyydellä kenttä oli alle  $1 \mu\text{T}$ .

## Asemalaituri- ja hallit

Asemalaiturilla magneettivuon tiheys junan ohitushetkellä oli  $4\text{--}5 \mu\text{T}$  ja muina aikoina  $0,2\text{--}0,9 \mu\text{T}$ . Ajolankojen yläpuolella olevassa asemahallissa mitattiin  $0,2\text{--}0,8 \mu\text{T}$  vuontiheyksiä. Sähkömoottorijunan liikkeelle lähtiessä magneettivuon tiheys hallissa oli  $2,0\text{--}4,2 \mu\text{T}$  ja sähköveturin vetämän junan aiheuttama kenttä  $4,8\text{--}6,3 \mu\text{T}$ .

## Työntekijöiden henkilökohtainen altistuminen

Henkilökohtaisiin annosmittauksiin osallistui 27 koehenkilöä, joiden altistumista rekisteröitiin annosmittarilla 34 mittauspäivänä yhteensä lähes 270 tunnin ajan.

Veturinkuljettajien, sähköjunien kuljettajien ja konduktöörin työpäivän keskimääräiset magneettivuon mittaustulokset olivat keskenään samaa suuruusluokkaa. Magneetikenttäannokset olivat konduktööreillä kuitenkin selvästi muita ryhmiä suuremmat, taulukko 9.9.

	Työpäivän keskimääräinen magneettivuon tiheys, $\mu\text{T}$		
	Veturinkuljettaja	Sm-kuljettaja	Konduktööri
Keskiarvo <sup>a</sup>	0,46	0,34	0,51
Mediaani <sup>a</sup>	0,42	0,27	0,51
Maksimi <sup>b</sup>	13,5	4,6	22,5
Keskiarvo <sup>a</sup>	3,1	2,2	5,8
Mediaani <sup>a</sup>	3,5	1,7	6,1
Maksimi <sup>b</sup>	6,0	5,3	6,1

<sup>a</sup> yksittäisten työntekijöiden keskiarvoista laskettu  
<sup>b</sup> hetkellisten maksimiarvojen keskiarvo ammattiryhmässä

### Taulukko 9.9 Eri ammattiryhmien altistuminen magneetikentille

Työntekijöiden altistumista koskeva toiminta-arvo 50 Hz taajuudella on  $500 \mu\text{T}$ .

Sähkökentän voimakkuuden mittaustulokset eivät poikenneet merkittävästi eri ammattiryhmien välillä. Hetkelliset maksimiarvot olivat kuitenkin veturinkuljettajilla selvästi suuremmat kuin sähkömoottorijunankuljettajilla ja konduktööreillä, taulukko 9.10.

	Sähkökentän voimakkuus, (V/m)		
	Veturinkuljettaja	Sm-kuljettaja	Konduktööri
Keskiarvo <sup>a</sup>	30	21	14
Mediaani <sup>a</sup>	10	13	7
Maksimi <sup>b</sup>	1 900	1 000	1 200
Keskiarvo <sup>a</sup>	240	160	160
Mediaani <sup>a</sup>	50	80	80
Maksimi <sup>b</sup>	770	480	470

<sup>a</sup> yksittäisten työntekijöiden keskiarvoista laskettu  
<sup>b</sup> hetkellisten maksimiarvojen keskiarvo ammattiryhmässä

#### Taulukko 9.10 Eri ammattiryhmien altistuminen sähkökentille

Työntekijöiden altistumista koskeva viitearvo 50 Hz taajuudella on 10 000 V/m.

## Yhteenveto

Sähköjunien magneettikentille on ominaista suuri ajallinen vaihtelu, jonka aiheuttaa ajon aikana muuttuva virta. Kentät ovat voimakkaimpia kiihdytysten aikana ja erotusjakson jälkeen, jolloin moottorien käyttämä virta on suurimmillaan. Nopeutta hidastettaessa virran kulutus lakkaa, jolloin ei synny käyttötajuisia (50 Hz) magneettikenttiä.

Magneettivuon tiheydet junissa olivat yleensä pieniä verrattuna viitearvoihin. Väestön altistumista koskeva viitearvo 50 Hz taajuudella on 100  $\mu\text{T}$  ja työntekijöitä koskeva toiminta-arvo 500  $\mu\text{T}$ . Matkustajavauunuissa, joissa ei sijainnut merkittäviä sähkölaitteita, magneettikentän voimakkuus oli samaa suuruusluokkaa kuin kotien keskimääräiset kentänvoimakkuudet (0,07–0,5  $\mu\text{T}$ ). Sähkölaitteiden läheisyydessä magneettikentät olivat jopa kaksi kertaluokkaa suurempia. Matkustajatilojen suurimmat magneettivuon tiheydet mitattiin sähkömoottorijunan vetoauunussa tasasuuntaussilta- ja kojekaappia lähellä sijaitsevilla istumapaikoilla.

Sähköveturin ohjaamossa magneettikentät olivat hieman suurempia kuin sähkömoottorijunien ohjaamossa. Ajon aikana sähköveturin ohjaamossa



mitattiin yli  $3 \mu\text{T}$  vuontiheyksiä. Sähkömoottorijunan ohjaamossa kyseinen taso ylittyi vain sähkölaitekaapin läheisyydessä. Sähköveturin ohjaamoiden välisellä käytävällä magneettikenttä oli suurimmillaan käytävän keskiosassa tyristorisillan kohdalla.

Sähkömoottorijunissa suurimmat magneettikentät mitattiin tasasuuntausilta- ja kojekaappien sekä 25 kV kaapelin läheisyydessä. Magneettikentät olivat voimakkaimpia ajon aikana lähellä sähkölaitekaappeja ja kaappien ovien ollessa auki.

Asemalaiturilla ja -hallissa mitatut magneettivuon tiheydet olivat hieman suurempia kuin kotien taustakentät. Väestön altistumista koskevat viitearvot alittuivat kuitenkin selvästi kaikissa yleisötiloissa.

Yhteenvedona voidaan todeta, että sähkö- ja magneettikentistä ei aiheudu matkustajille tai muulle yleisölle terveydellistä haittaa, koska kentät ovat yleensä pieniä ja altistuminen on satunnaista ja lyhytaikaista. Junissa liikennöivien työntekijöiden keskimääräinen altistuminen magneettikentille on myös niin vähäistä, että akuutteja terveyshaittoja ei esiinny. Työntekijöiden altistumistasot vaihtelevat  $10\text{--}800 \mu\text{T}$ , joten osa työntekijöistä altistuu ajoittain toiminta-arvot ylittävälle magneettikentille. Mittauksissa ei kuitenkaan huomioitu yliaaltoja, joiden huomioiminen voi kasvattaa altistumisarviota.

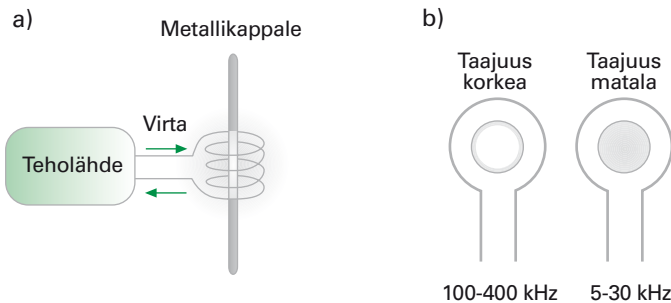
## 9.5 | Induktiokuumentimet

Induktiokuumentimet ovat laajasti teollisuudessa käytettäviä työvälineitä. Induktiokuumentimet ja -uunit toimivat useilla eri taajuuksilla (50 Hz – 3 MHz) ja niitä käytetään metallin kuumentamiseen erilaisissa teollisuusprosesseissa, joita ovat metallin sulattaminen, teräksen karkaisu, juottaminen, esi- ja jälkilämmitys hitsauksen yhteydessä, liimaliitoksen kuumennus sekä metallipintojen muovitus. Induktiokuumentinta voidaan käyttää myös muovattavien materiaalien lämmitykseen.

Induktiokuumennin rakentuu teholähteestä, voimansiirto johdoista ja induktiosilmukasta. Induktiosilmukat sulkevat sisälleen tilan, johon kuumentettava materiaali asetetaan, katso kuva 9.13. Virtasilmukan läpi kulkee suuri virta, joka puolestaan synnyttää magneettikentän välityksellä pyörrevirtoja kuumennettavassa materiaalissa. Johtavassa materiaalissa syntyy tehohäviöiden myötä lämpöä. Virtasilmukan koko ja muoto, virran suuruus ja käytetty virran taajuus riippuvat kaikki sovel-

luksesta. Matalataajuisia virtoja käytetään tyypillisesti silloin, kun metallinpaloja lämmitetään ennen takomista. Suurempia taajuuksia käytetään, kun tarvitaan pinnallisempaa käsittelyä. Tyypillinen tehoalue on 2–500 kilowattia. Uunit saattavat toimia täysin automaattisesti, mutta osassa työpisteitä työntekijän on ladattava ja purettava uuni käsin. Vaikka uunia voidaan käsitellä kauko-ohjaimien avulla, ajoittain käyttäjä saattaa joutua työskentelemään laitteiston läheisyydessä, kun tehot ovat päällä.

Induktiokuumentimien ympärille syntyvät kentät ovat teollisuudessa esiintyvistä kentistä voimakkaimpia ja käyttäjät voivat altistua suhteellisen voimakkaille magneettikentille laitteiden läheisyydessä. Tyypillinen magneettikentänvoimakkuus yhden metrin päässä 10 kHz taajuudella toimivasta laitteesta on 30–500  $\mu\text{T}$ , ja magneettivuon tiheys saattaa nousta jopa viiteen milliteslaan kymmenen sentin päässä virtajohtimista. Vastaavasti 50 Hz laitteistolla viisi milliteslaa ylittyy jo 20 senttimetrin päässä ja 100  $\mu\text{T}$  ylittyy vielä monen metrin päässä laitteesta. Altistumisen raja-arvot saattavat siis ylittyä moninkertaisesti uunin lähellä tapahtuvien työvaiheiden aikana. Työntekijöitä koskevat toiminta-arvot ovat 30,7  $\mu\text{T}$  10 kHz taajuudella ja 500  $\mu\text{T}$  50 Hz taajuudella. Voimakkaiden magneettikenttien ohella myös sähkökentän voimakkuus voi olla suuri virtajohtimien läheisyydessä



**Kuva 9.13 Induktiokuumentimien**

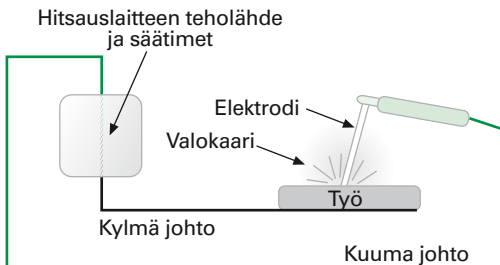
a) Induktiokuumentimien periaate. Teholähde syöttää virtaa induktiosilmukan läpi. Virran synnyttämä magneettikenttä indusoi pyörrevirtoja johtavaan materiaaliin, joka kuumenee nopeasti.

b) Virran taajuus valitaan sen mukaan, kuinka syvälle lämmittävien pyörrevirtojen halutaan tunkeutuvan. Korkeampia taajuuksia käytetään pienten osien lämmittämiseen tai jos halutaan lämmittää vain pintaosia. Matalia taajuuksia käytetään silloin, kun halutaan lämmittää paksuja kappaleita, tai halutaan lämmön tunkeutuvan syvälle.

## 9.6 | Sähköhitsaus

Hitsaus on yleisnimitys monelle erilaiselle prosessille, joilla liitetään materiaaleja, usein metalleja, toisiinsa. Erilaisia sähköhitsauksen tyyppejä ovat MIG-, MAG-, TIG- ja PAW-kaarihitsaukset sekä pistehitsaus. Kaarihitsauksessa metalliosien yhteen liittämiseen käytetään sähkökaarta, joka voidaan tuottaa tasavirralla tai vaihtovirralla. Sähköhitsauslaitteiden käyttäjä altistuu hitsausvirran synnyttämälle magneetikentille, altistuminen sähkökentälle on huomattavasti merkityksellisempi.

Kaarihitsauksessa käytettävät virrat vaihtelevat 50 ampeerista yhteen kiloampeeriin, tyypillisesti 50 hertzin taajuudella. Myös korkeampia taajuuksia käytetään. Altistumiseen vaikuttavat monet tekijät, kuten kuumentimen teho, sen käyttöaika, työtavat ja työntekijän etäisyys elektrodeista, elektrodien suojaus, muoto ja koko. Suurten virtojen synnyttämä magneettikentän vuontiheys kaapelin ja teholähteen pinnalla voi olla jopa yhdestä kahteen milliteslaan, jolloin vähintäänkin hitsaajan käsien kohdalla altistuminen on voimakasta. Hitsaajan kehon kohdalla kentänvoimakkuudet ovat tyypillisesti suuruusluokkaa 100–200 mikrotesslaa. Altistumisen kannalta pahin tilanne syntyy silloin, kun virtakaapeli koskettaa hitsaajaa tai se voi olla jopa kiertyneenä hitsaajan ympärillä. Vaikka hitsausvirta toimisi nimellisesti 50 Hz taajuudella, sisältää virta ja sen synnyttämä magneettikenttä aina voimakkaita harmonisia komponentteja. Altistumisarviossa on aina otettava huomioon laajakaistainen altistuminen.



**Kuva 9.14** Kaarihitsauslaitteisto

Tyypillisen kaarihitsauslaitteiston periaate. Tasajännite- tai vaihtojännitelähde on yhdistetty säätölaitteiden välityksellä hitsattavaan kappaleeseen (kylmä johto) ja toista kautta hitsauselektrodiin (kuuma johto). Näiden välille syntyvä kipinäkontakti kasvaa valokaareksi. Hitsauskaaren lämpötila voi olla jopa 10 000 astetta, ja kaari sulattaa hitsattavan kohteen välittömästi ja tuloksena on kestävä sidos.

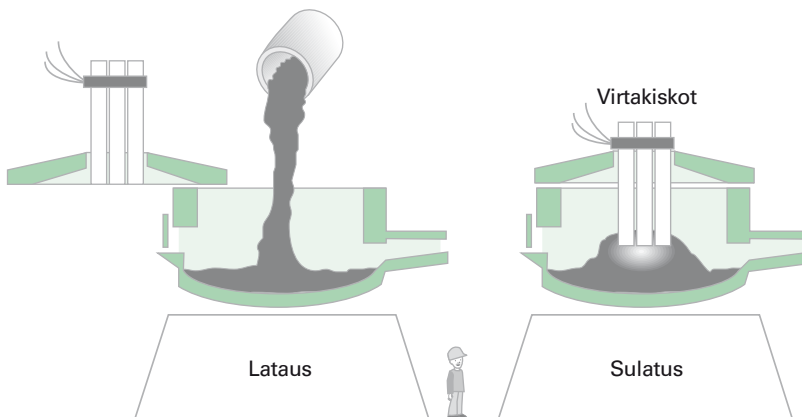
Hitsaukseen tarvittavat jännitteet ovat suhteellisen pieniä, joten sähkökentille altistuminen jää selvästi alle toiminta-arvojen.

Seuraavilla suojaustoimenpiteillä voi hitsatessa vähentää altistumista magneetikentille:

- Pidä kaapelit yhdessä kiertämällä ne tai teippaamalla ne yhteen.
- Järjestä kaapelit kehon toiselle puolelle osoittamaan kohtisuoraan pois päin.
- Älä anna kaapeleiden kiertyä ympärillesi.
- Pidä teholähde ja kaapelit mahdollisimman kaukana kehosta ja päästä.
- Yhdistä työpöydä työstettävään kappaleeseen mahdollisimman lähelle hitsauskohtaa.

## 9.7 | Kaariuuni

Tehokas tapa sulattaa kerralla suuria määriä raakametallia tai valmistaa terästä on käyttää valokaariuunia. Nykyaikaiset valokaariuunit voivat sulattaa jopa 150–200 tonnia metallia 90 minuutissa, ja uunien tehot vaihtelevat muutamasta megawatista jopa sataan megawattiin. Valokaariuunissa metallin sulatus tapahtuu grafiittielektrodien ja raakametallin välillä syntyvällä valokaarella. Grafiittielektrodit (halkaisija 25–30 cm) sijaitsevat usein valokaariuunin päällä sijaitsevassa kannessa, joka siirretään syrjään uunia ladattaessa, kuva 9.15.



**Kuva 9.15 Valokaariuunia käytetään terästehtaissa metalliromun sulattamiseen**

Lämmitettävä materiaali laitetaan ensin uuniin ja lämmitetään sitten valokaaripurkauksen avulla. Kun sulaminen on tapahtunut, tuote jalostetaan ja kaadetaan ulos. Tämän jälkeen lisätään uuniin seuraava lasti. Tällaisia uuneja käytetään teräksen ja valuraudan valmistuksessa. Valokaariuuni voi tyypillisesti sulattaa 50–200 tonnia metalliromua kerralla.

Suurimmat magneettivuon tiheydet esiintyvät elektrodeja syöttävien kaapeleiden lähellä. Myös muuntajan läheisyydessä esiintyy huomattavia kentänvoimakkuuksia. Taulukossa 9.11 on esitetty mitattuja magneettivuon tiheyksiä 50 MW valokaariuunin läheisyydessä ja taulukossa 9.12 17 MW valokaariuunin läheisyydessä.

**Taulukko 9.11**  
Magneettivuontiheyksiä 50 MW valokaariuunin läheisyydessä, STUKin mittauksia

Työntekijöiden altistumista koskeva toiminta-arvo 500  $\mu\text{T}$  (50 Hz) voi ylittyä syöttökaapeleiden lähellä.

Mittauspaikka	Etäisyys, m	Magneettivuon tiheys, $\mu\text{T}$ (rms)
Valvomo		13
Syöttökaapeleiden vieressä	1	4 000
	2	1 400
	4	500
	5	260
Kaatopulpetin lähellä	0,5	300
	1,5	200
	2	100
Muuntajahuone		100–500

**Taulukko 9.12**  
Magneettivuontiheyksiä 17 MW kaariuunin läheisyydessä, STUKin mittauksia

Altistumista koskeva toiminta-arvo 500  $\mu\text{T}$  (50 Hz) voi ylittyä syöttökaapeleiden lähellä.

Mittauspaikka	Etäisyys, m	Magneettivuon tiheys, $\mu\text{T}$ (rms)
Valvomo		20
Syöttökaapeleiden vieressä	1	3 000
	2	1 000
	3	500
Tikkaat uunin edessä		500
Näyteluukku		900

## 9.8 Suurtaajuuskuumentimet

Radiotaajuusalueella toimivia suurtaajuuskuumentimia käytetään muovi- ja puunjalostusteollisuudessa erityisesti muovinsaumaukseen ja liimankuivaukseen. Laitteiden toiminta perustuu siihen, että lämmitettävään materiaaliin kytketään voimakas radiotaajuinen sähkökenttä, joka lämmittää materiaalia dielektristen häviöiden johdosta. Liimankuivaajat toimivat yleensä 13 MHz taajuuksilla ja muovinsaumaajat 27 MHz taajuuksilla, mutta myös 40 MHz taajuus on sallittu. RF-tehot vaihtelevat tyypillisesti kilowatista kymmeneen kilowattteihin. Liimankuivaajan teho voi olla jopa muutama sata kilowattia. Valtaosa tästä tehosta menee lämmitettävään kohteeseen, mutta pieni osa absorboituu myös laitteen käyttäjään, joka usein joutuu työskentelemään hyvin lähellä hajakenttiä aiheuttavaa työterää eli elektrodiä, kuva 9.16. Vanhat käsikäyttöiset laitteet ovat ongelmallisempia kuin uudet, usein automaattisesti toimivat laitteet, joiden hajasäteily on voitu minimoida jo suunnitteluvaiheessa.

## Altistuminen

Suurtaajuuskuumentimien hajakentille altistuu Suomessa arviolta muutamia tuhat työntekijää. Kenttien voimakkuus, altistumisen kesto ja altistuneiden työntekijöiden määrä huomioiden kyseessä on merkittävä RF-säteilyn aiheuttama altistumisongelma. Altistumiseen vaikuttavat monet laitteesta ja työtavoista riippuvat tekijät, kuten kuumentimen radiotaajuinen teho, työterän (elektrodin) suojaus ja geometria, kuumennettavan materiaalin määrä ja sähköiset ominaisuudet, työntekijän etäisyys työterästä ja kuumennusjakson osuus koko käyttöjaksosta.

Suurtaajuuskuumentimen avoimen työterän ympärille syntyy voimakas sähkökenttä, joka indusoi kehoon käsien ja jalkojen kautta kulkevia pitkittäissuuntaisia virtoja. Ne voivat aiheuttaa huomattavaa lämpenemistä käsissä ja jaloissa, joissa virta ahtautuu, katso luku 3. Kuvassa 9.17 on esitetty tyypillisen muovinsaumaajan synnyttämä sähkökenttä työntekijän kohdalla ja kuvassa 9.18 on esitetty kentän kehoon indusoima RF-virta. Sähkökenttä on suurimmillaan keskivartalon alueella työterän kohdalla. Virran jakauma ei noudata lainkaan sähkökentän jakaumaa, vaan riippuu oleellisesti siitä kuinka hyvin jalat on eristetty maasta. Kun ihmisen jalat ovat hyvässä yhteydessä maahan, pääosa kehoon kytkeytyneestä virrasta oikosulkeutuu maahan ja on suurimmillaan nilkoissa. Virran ahtautumista lisää vielä se, että nilkoissa on paljon huonosti johtavaa luuta ja vähän hyvin johtavaa lihaskudosta.

Kun jalat on hyvin eristetty maasta, sähkökenttä tuo kapasitiivisesti virtaa ylävartaloon ja vastaavasti paluuvirta poistuu kapasitiivisesti sähkökenttään alavartalon kautta. Tällöin virta on suurimmillaan keskivartalon alueella, jossa kuitenkin virran tiheys ja sen myötä myös absorptio on suhteellisen vähäistä lukuun ottamatta hyvin lähellä työterää olevaa pientä kudosaluetta.

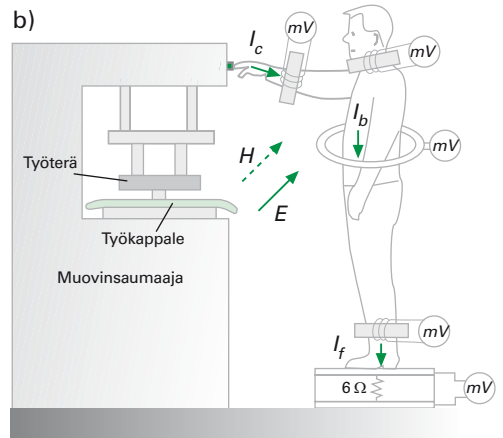
Sähkökenttä vaimenee nopeasti etäisyyden funktiona, kun taas indusoitunut virta vaimenee huomattavasti hitaammin. Se johtuu siitä, että kauempana suurempi osa kehosta kerää virtaa homogeenisemmasta sähkökentästä ja siten osittain korvaa kentänvoimakkuuden pienenemisen. Magneettikenttä aiheuttaa kehon pintaosien kautta kiertäviä virtoja, mutta yleensä niiden vaikutus absorptioon jää vähäisemmäksi kuin sähkökentän, koska virta ei ahtaudu raajoihin.



**Kuva 9.16 Suurtaajuuskuumennin ja elektrodin rakenne (työterä)**

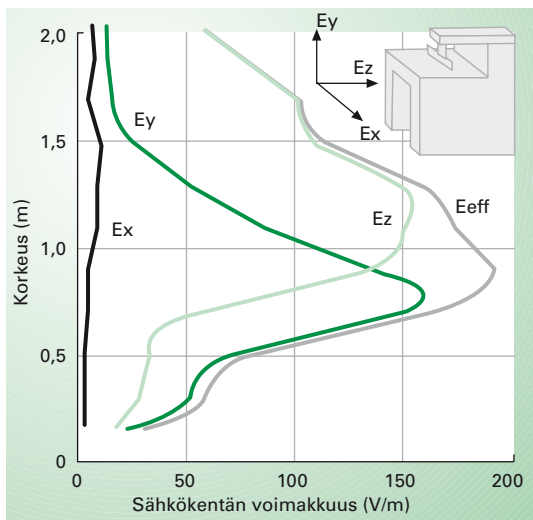
a) Kuumennettava materiaali, esimerkiksi kaksi toisiinsa liitettävää PVC-kalvoa asetetaan elektrodin väliin ja elektrodiin kytketään suuri, satojen volttien RF-jännite. Dielektristen häviöiden johdosta kalvot lämpenevät ja hitsautuvat toisiinsa.

b) Avoimen elektrodin läheisyyteen syntyy voimakkaita radiotaajuisia sähkö- ja magneettikenttiä. Sähkökenttä indusoi kehoon pitkittäisiä virtoja ( $I_b$ ), jotka kulkevat kengänpohjien läpi maahan ( $I_f$ ). Kehoon tulee myös kosketusvirtoja suoraan laitteen rungosta. Kehovirrat voidaan mitata esimerkiksi RF-virtamuuntajan avulla, katso luku 10.

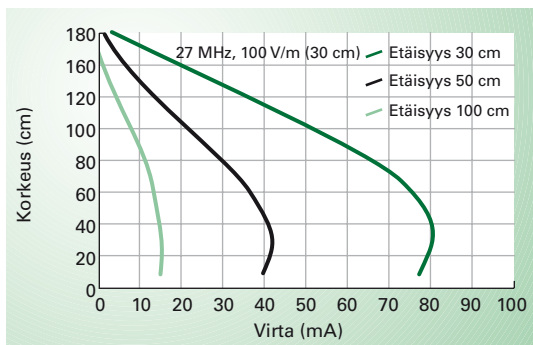


Käsitöissä käytettävät muovinsaamaajat ovat usein ongelmallisimpia, koska työntekijä joutuu jatkuvasti seisomaan tai istumaan alle puolen metrin päässä työterästä pitäessään käsillä kiinni kuumennettavasta työkappaleesta. Tällaisia laitteita ovat tyypillisesti sadevaatteiden ja suojapeitteiden valmistukseen käytettävät saamaajat. Näiden työterää ei voida yleensä suojata ilman, että se vaikeuttaisi oleellisesti työskentelyä.

Taulukossa 9.13 on esitetty eräitä mittaustuloksia käsitöissä käytettävien muovinsaamaajien aiheuttamasta altistumisesta. Mittausarvot ovat vartalon



**Kuva 9.17** Muovinsaamaajan työalueella mitattu sähkökentän huippuarvo saumauksen aikana (Allen ym. 1991)



**Kuva 9.18** Muovinsaamaajan lähikentässä seisovaan ihmiseen indusoitunut RF-virta (Kännälä 2005)

eri alueella mitattujen kentänvoimakkuuksien keskiarvoja, joissa on huomioitu se, että saumain ei ole koko ajan päällä. Toimintasuhde eli Duty Factor ( $DF = t_{on} / (t_{on} + t_{off})$ ) on se suhteellinen osa ajasta, minkä laite on päällä ( $t_{on}$ ) toimintajakson ( $t_{on} + t_{off}$ ) aikana. Useimmiten saumaus kestää alle kymmenen sekuntia ja tehot on kytketty pois suuremman osan työskentelyajasta. Muovinsaamaajan DF vaihtelee tyypillisesti välillä 0,07–0,5 ja liimankuivaajan välillä 0,3–0,8.

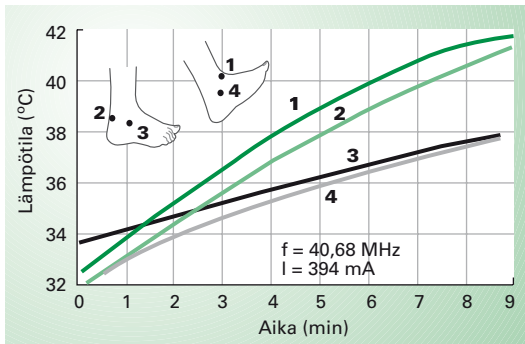
Tehollinen kentänvoimakkuus ja jalkavirta saadaan kertomalla saumausjakson aikainen arvo toimintasuhteen neliöjuurella, jolloin kentänvoimakkuutta ja indusoitunutta virtaa voi verrata ICNIRP:n ohjevoihin. Taulukon 9.13 tuloksista huomataan, että laitteella 2 viitearvot ylittyvät sekä sähkökentän että jalkavirran osalta. Suurimmat saumauksen aikaiset hetkelliset sähkökentänvoimakkuudet ovat olleet yli 600 V/m ja suurimmat mitatut jalkavirran tehollisarvot ovat olleet 122 mA. Tällaisen virran ai-



Laite	Sähkökentän tehollisarvo vartalon alueella V/m Mitattu	Magneettikentän tehollisarvo vartalon alueella A/m Mitattu	Jalkavirran tehollisarvo mA Mitattu
1	57	0,16	14,8
2	137	0,3	122 (kaulassa 192 mA)
3	27	0,05	30

**Taulukko 9.13 Työntekijän altistuminen käsikäyttöisen muovinsaamaajan sähkö- ja magneettikentälle 27 MHz taajuudella**

Kenttien ja jalkavirran tehollisarvot on laskettu saumausjakson yli, jolloin ne ovat 40–70 % saumausjakson aikaisista huippuarvoista (toimintasuhde välillä 0,2–0,5). Tuloksia voi verrata toiminta-arvoihin, jotka ovat sähkökentälle 61 V/m, magneettikentälle 0,16 A/m ja yhdestä jalasta mitatulle virralle 100 mA, (Säteilyturvakeskuksen mittauksia).



**Kuva 9.19 Radiotaajuisen virran aiheuttama lämpötilan nousu ihon pinnalla nilkassa**

Nilkassa kulkeva virta on 394 mA taajuudella 40,68 MHz. Lämpötila nousee nopeimmin nilkan etu- ja takapinnalla. (Chen ym. 1998)

heuttama SAR ylittää helposti 20 W/kg nilkassa ja voi nostaa alle kymmenessä minuutissa nilkan lämpötilaa useita asteita. Ääritapauksessa lämpötila voi nousta lähelle kudosten vaurioitumiskynnystä 41 °C, kuva 9.19.

Automaattisten muovinsaamaajien sähkökentän saumauksen aikainen huippuarvo on yleensä alle 60 V/m, koska työntekijän ei tarvitse olla kuumennuksen aikana elektrodin lähellä. Puoliautomaattisissa laitteissa, joissa työntekijä latoo käsin kuumennettavan materiaalin, saumausaikainen huippuarvo voi ylittää 60 V/m, mutta tehollisarvo saumausjakson yli jää useimmiten sen alle. Liimankuivaajilla altistuminen on yleensä vähäisempää kuin muovinsaamaajilla, koska työntekijän ei tarvitse kuumennuksen aikana olla elektrodin lähellä.

## Terveyshaitat

Suurtaajuuskuumentimien käyttäjillä ei ole havaittu merkittäviä terveyshaittoja lukuunottamatta joitakin selväpiirteisiä onnettomuustapauksia, joissa käsi on jäänyt työterän väliin. On myös esiintynyt pienempiä kosketusvirtojen aiheuttamia palovammoja käsissä. Kehon lämpeneminen voi myös aiheuttaa havaittavaa lämpörasitusta. Pitkäaikaisen altistumisen vaikutuksista ei kuitenkaan aivan varmoja johtopäätöksiä voida tehdä, koska käytössä oleva epidemiologinen tutkimusaineisto on varsin suppea ja sähkömagneettisten kenttien vaikutukset voivat peittyä muiden työympäristössä esiintyvien fysikaalisten ja kemiallisten haittatekijöiden alle.

Ruotsissa tehdyssä tutkimuksessa muovinsaumaajien käyttäjillä on todettu joitakin silmäoireita (kuin hiekkaa silmissä, vuotavat silmät) ja tuntoherkkyyden vähentymistä sormenpäissä sekä palovammoja. Silmäoireita voivat tosin aiheuttaa myös saumauksen yhteydessä muoveista vapautuvat kaasut. Hajasäteilyn vaikutusta hedelmällisyyteen ja sikiön kehitykseen on myös tutkittu. Australialaisen tutkimuksen mukaan yli 30 °C lämpötilassa muovinsaumaajan hajasäteily voi nostaa kehon lämpötilaa siinä määrin, että se voisi olla haitallista sikiölle.

Sydämentahdistimien ja metallia sisältävien kehonsisäisten lääketieteellisten istutteen osalta tulisi ottaa huomioon se, että elektroniset laitteet voivat häiriintyä radiotaajuudessa kentässä ja kentät voivat myös absorboitua keinomateriaaleihin tehokkaammin kuin biologiseen kudokseen aiheuttaen paikallista lämpenemistä.

## Suojautumisohjeet

Suurtaajuuskuumentimen käyttäjän altistumista voidaan vähentää työtapoja muuttamalla. Siirtymällä esimerkiksi kauemmaksi työterästä. Useimmiten laitteen käyttötilanne on kuitenkin sellainen, että etäisyyden lisääminen ei ole mahdollista. Tällöin on mahdollista vaimentaa hajakenttää yksinkertaisin teknisin suojarakentein.

Rakenteellisen suojauksen avulla säteily voidaan sulkea rajatulle alueelle, jossa kuumennusprosessi tapahtuu. Tärkeimmät suojattavat kohteet ovat suurtaajuusenergian siirtojohdot, työterät ja metallirakenteiset syöttö- ja ohjauslaitteet. Työterien suojaukseen tulisi käyttää hyvin johtavia materiaaleja, kuten kuparia tai alumiinia. Radiotaajuuksilla ohutkin me-

tallilevy, reikälevy tai metalliverkko on hyvä suoja, jos vain huolehditaan, että saumat ovat sähköisesti tiiviit ja läpiviennit on varustettu suodattimilla. Suojan maadoitus pitää yhdistää saumausyksikön maapisteeseen leveällä ja lyhyellä maadoitusliuskalla, jonka impedanssi on pieni. Työtertiin menevien avoimien kytkentäliuskojen tulisi olla niin lyhyitä ja toisiaan lähellä kuin mahdollista, mikä pienentää kytkentäliuskojen synnyttämää magneettikenttää.

Hajakenttien tehokas vaimentaminen ei kuitenkaan aina ole mahdollista erityisesti silloin kun työkappaletta joudutaan pitelemään käsissä. Jaloissa kulkevia virtoja voidaan tällöinkin vähentää merkittävästi eristämällä työntekijän jalat maasta 10–20 cm paksuisella eristeaineesta tehdyllä korokkeella ja käyttämällä eristeaineesta tehtyä jalkakytkintä. Eristeaineeksi sopii esimerkiksi puu, muovi ja styroksi. Kosketusvirroilta suojaudutaan välttämällä koskettamista saumajan metalliosiin ja varustamalla laite erillisellä kaukokäynnistyskytimellä.

Suurtaajuuskuumentimia koskevat toistaiseksi Valtioneuvoston päätöksessä (1985/473) esitetyt määräykset altistumisen rajoittamisesta ja mittauksesta. Päätöksen mukaan suurtaajuuskuumennin on mitattava ennen käyttöönottoa ja uudelleen, jos rakennetta, suojausta tai toimintatapoja muutetaan. Hajasäteilyn raja-arvot tulevat kuitenkin vuoteen 2008 mennessä korvautumaan direktiivin 2004/40/EY (katso luku 8) raja-arvoilla. Samalla tarkistettaneen altistumisen mittaamisesta annettuja vaatimuksia.

## 9.9 | Tuotesuojaportit ja metallinpaljastimet

Sähkömagneettisia kenttiä käytetään elektroniseen tuotesuojaukseen, metalliesineiden paljastamiseen sekä monenlaisten esineiden tarkempaan tunnistukseen. Erilaiset valvonta-, seuranta- ja tunnistamislaitteet ovat yleistymässä. Niitä käytetään muun muassa suurissa yrityksissä, lentokentillä sekä kirjastoissa.

Laitteiden aiheuttamille kentille altistuvat laitteiden läheisyydessä työskentelevät työntekijät ja satunnaisesti kenttien vaikutuspiiriin joutuvat asiakkaat ja muut henkilöt. Joidenkin tuotesuojaporttien sisällä kentänvoimakkuudet voivat hieman ylittää ammatillisen altistumisen viitearvot, joita myös sovelletaan laitteiden läpi kulkeviin yksityishenkilöihin. Altistuminen on kuitenkin varsin lyhytaikaista ja satunnaista.

## Tuotesuojaportit

Elektroninen tuotesuojajärjestelmä EAS (Electronic Article Surveillance) perustuu tuotteisiin tai itse pakkaukseen sijoitettavaan hälyttiimeen (tag), joka aktivoituna vääristää magneetikenttää tai reagoi siihen muuten kulkeutuessaan tuotesuojaportin läpi. Tuotesuojaportti asennetaan usein liikkeiden uloskäyntien läheisyyteen tai kassan lähelle riippuen kaupan toimitiloista. Jos tuote yritetään viedä porttien läpi ilman, että hälytyn on poistettu tai muutettu epäaktiiviseen tilaan, tulee hälytys. Ensimmäiset tuotesuojaportit tulivat käyttöön jo 1960-luvun lopulla.

Tuotesuojaportit synnyttävät ympäristöönsä sähkömagneettisia kenttiä laajalla taajuusalueella, taulukko 9.14. Alle 10 MHz taajuuksilla hälytyn reagoi magneetikenttään, kun taas mikroaaltolaitteiden (yli 900 MHz) toiminta perustuu lähettimestä emittoituvaan mikroaaltoon. Hälyttimen tunnistuksessa käytetään useimmiten jatkuvaa sinimuotoista signaalia (katso kuva 8.4a), muutaman sinimuotoisen jatkuvan signaalin yhdistelmää (katso kuva 8.4c), pulssimuotoista signaalia (katso kuva 8.4 b) tai tietyn taajuusalueen yli pyyhkäisevää signaalia. Lisäksi käytössä on staattisia ja pulssimaisia magneetikenttiä tuottavia hälyttimien deaktivointi- tai reaktivointilaitteita, joiden kenttä kohdistuu toimenpiteen suorittavaan työntekijään.

Taulukkoon 9.15 on koottu tuloksia pientaajuisten tuotesuojaporttien keskellä tehtyjen magneetikenttämittausten tuloksista. Mitattuja vuontiheyksiä on verrattu sekä työntekijöitä että väestöä koskeviin viitearvoihin, jotka riippuvat voimakkaasti taajuudesta alle 1 kHz alueella. Magneettivuon tiheys tuotesuojaportin keskellä ylittää usein väestöraajat ja useimmiten myös työntekijäraajat.

	Taajuusalue	Ensisijainen hälyttimen (TAG) tunnistustapa
Sähkömagneettinen (EM=Electro Magnetic)	20 Hz – 18 kHz	Magneettinen liuska tai johdin
Akustomagneettinen (AM=Acousto Magnetic)	58–60 kHz	Resonoiva magnetostriktiivinen liuska
Radiotaajuinen (RF=RadioFrequency)	1,8–10 MHz	Resonoiva LC-piiri
Mikroaalto	902–928 ja 2400–2500 MHz	Diodi

Taulukko 9.14 Eri EAS-teknologioita (ICNIRP 2003)

Tyyppi	Taajuus ja aaltomuoto	B μT <sub>peak</sub>	Viitearvo μT <sub>peak</sub>		Etäisyys lähetinkelasta, cm	Viite
			Työntekijät	Väestö		
EM	sini, 73 Hz	146	484	97	31,5	1 )
	sini, 219 Hz	122	161	32,2	36	2 )
	sini, 230 Hz	93	154	30,8	42	1 )
	sini, 535,7 Hz	72	66	13,2	36	2 )
	sini, 6,250 kHz	39	44	8,8	45	1 )
	16,6 Hz/5 kHz/7,5k Hz	43	44	8,8	48,5	1 )
	pulssimainen, 1 kHz	100	44	8,8	41	1 )
AM	pulssimainen 58 kHz	65	44	8,8	36	2 )
	pulssimainen, 58 kHz	62,2	44	8,8	36	2 )
	pulssimainen, 58 kHz	61,7	44	8,8	36	2 )
	pulssimainen, 58 kHz	17,4	44	8,8	62,5	1 )

<sup>1)</sup> Säteilyturvakeskuksen mittauksia. <sup>2)</sup> Casamento J.P. Characterizing electromagnetic fields of common electronic article surveillance systems. Compliance Engineering European Edition. Sept./Oct. 1999.

### Taulukko 9.15 Tyypillisiä mitattuja magneettivuon tiheyksien arvoja pientaajuusalueella (alle 100 kHz) toimivien tuotesuojaporttien sisällä

Esitetyt magneettivuon tiheyden arvot ovat huippuarvoja. Viitearvot on saatu kertomalla taulukossa 8.6 tehollisarvoina esitetyt ammatillista altistumista ja väestöä koskevat viitearvot tekijällä 2. Portin läpi kulkeva asiakas altistuu käytännössä niin lyhyen aikaa magneettikentälle, että asetuksen 294/2002 mukaisesti voidaan soveltaa työsuojelurajoja.

## Väestön altistuminen

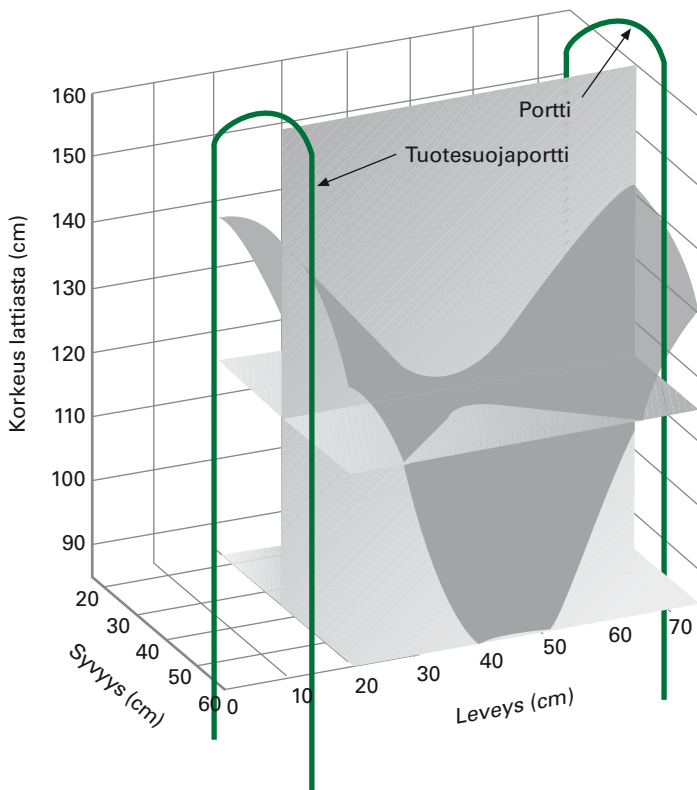
Portin läpi kulkevaan asiakkaaseen sovelletaan kuitenkin asetuksen (294/2002) mukaisesti työntekijärajoja, koska altistuminen on hyvin lyhytaikaista. Yksittäisessä pisteessä suoritettu magneettikentän mittaus antaa kuitenkin vain arvion altistumisarviolle. Tarkemmassa standardin EN 50357 mukaan suoritettussa altistumismäärittämisessä mitataan magneettivuon tiheyden keskiarvo koko keskikehon alueella tai selvitetään laskennallisesti ylittyvätkö virrantiheysrajat. Virrantiheyslaskelmat viittaavat siihen, että altistuminen on todellisuudessa pienempi kuin mitä magneettivuon tiheyden perusteella voidaan arvioida.

## Työntekijöiden altistuminen

Lähellä porttia työskentelevä kassatyöntekijä voi altistua magneettikentälle jatkuvasti. Magneettikentän voimakkuus ei kuitenkaan yleensä ylitä työperäisen altistuksen viitearvoa eli toiminta-arvoa työntekijän kohdalla, mutta satunnainen kurkottelu portin suuntaan tai kävely työpisteeseen portin läpi voi aiheuttaa lyhytaikaisia viitearvon ylityksiä useita kertoja

päivässä. Akustomagneettisen järjestelmän deaktivointi- ja kirjastojen reaktiivintilaitteet aiheuttavat suhteellisen voimakkaita käsiin kohdistuvia magneettikenttäpulsseja, joille ei kuitenkaan ole erikseen määritelty viitearvoja. Radiotaajuusalueella (1,8–10 MHz) toimivien laitteiden synnyttämä altistuminen on huomattavasti vähäisempää kuin pientaajuusalueella.

Henkilöiden, joilla on sydäntahdistin tai muita sähköllä toimivia elintärkeitä apuvälineitä, tulisi välttää pitempiaikaista oleskelua tuotesuojaporttien välittömässä läheisyydessä.



**Kuva 9.20 Magneettivuontiheyden jakauma tuotesuojaportin keskellä**

Standardin EN 50357 mukaan altistuminen voidaan arvioida yksinkertaisimmin mittaamalla magneettivuontiheyden maksimi porttien välissä, ei kuitenkaan lähempänä kuin 20 cm etäisyydellä lähetinpaneelistä. Jos viitearvo ylitetään, mitataan pistejoukko keskikehon alueella, ja tästä lasketaan keskiarvo, jota verrataan viitearvoon. Jos viitearvo edelleen ylittyy, laskeaan kehon sisälle indusoituvien virrantiheyksien suuruus analogisen mallin tai numeerisen menetelmän avulla (luku 3), ja verrataan tulosta perusrajoihin. Kuvassa viitearvo ylittyy harmaan verhokäyrän alapuolella.

## Metallinpaljastimet

Metallinpaljastimia käytetään turvallisuussyistä: aseiden paljastamiseen lentoasemilla, oikeussaleissa, vankiloissa, tärkeissä hallintorakennuksissa ja joissakin maissa jopa kouluissa. Magneetikuvaukseen menevät potilaat voidaan tarvittaessa tarkastaa, jos epäillään, että kehossa on metallikappaleita kuten verisuonipuristimia tai kranaatinsirpaleita, jotka voivat liikahtaa voimakkaassa magneetikentässä.

Metallinpaljastimet ovat yleensä joko portteja tai pieniä kädessä pidettäviä laitteita. Metallinpaljastimessa lähetinyksikkö synnyttää ympärilleen magneetikenttiä, jotka vastaanottimena toimiva kela tunnistaa. Jos lähettimen ja vastaanottimen välistä kulkee metalliesine, magneetikenttä synnyttää metallissa indusoituneita pyörrevirtoja. Pyörrevirrat synnyttävät sekundaarisen magneetikentän, joka summautuu alkuperäiseen kenttään vääristäen sitä. Muutos alkuperäisessä kentässä on merkki metalliesineestä ja tämä laukaisee hälytyksen. Metallinpaljastinporttien kentät ovat usein hyvin pulssimaisia ja laajakaistaisia (kuva 2.10d).

Taulukkoon 9.16 on kerätty esimerkkejä mitatuista magneettivuon tiheyksistä metallinpaljastinporttien sisällä. Työntekijöiden viitearvoja sovelletaan väestön lyhytaikaiseen altistumiseen. Joissakin mittauspisteissä ollaan lähellä työntekijöiden viitearvoja ( $B$ ,  $\mu\text{T}$ ). Viitearvon kaksinkertainenkin ylitys on mahdollista. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että kehon sisäiset raja-arvot eli perusrajat ( $J$ ,  $\text{mA}/\text{m}^2$ ) ylittyisivät. Käsi-käyttöisissä paljastimissa käytettävät magneetikentät ovat huomattavasti heikompia kuin portteissa tarvittavat kentät.

Laite	$B$ , $\mu\text{T}_{\text{peak}}$	Altistumisen suhde viitearvoon
1	43	0,98
2	33	0,75
3	17	0,39

**Taulukko 9.16 Metallinpaljastinporttien sisällä mitattuja magneettivuon tiheyksiä**

Mittaukset suoritettiin porttien välissä standardin EN 50357:2001 ja EN 50364:2001 mukaan. Laajakaistaisen magneetikentän mittausta tehtiin painotetun huippuarvon menetelmällä, kappale 8. Työntekijöiden viitearvoja sovelletaan myös koko väestön lyhytaikaiseen altistumiseen. Tässä mittauksessa viitearvo oli  $44 \mu\text{T}$ .

## Radiotaajuinen etätunnistus (RFID)

Radiotaajuiset etätunnistuslaitteet eli RFID-laitteet (Radio-Frequency Identification) pystyvät lähettämään havaitusta kohteesta monipuolista tunnistetietoa vastaanottimeen. Se vaatii tunnistimelta esimerkiksi IC-piirejä hyödyntävää teknologiaa. Laitteistoon kuuluu usein erillinen lähetinantenni (interrogator), joka aktivoi tunnistimen sen tultua tunnistusvyöhykkeelle. Passiivinen tai pariston sisältävä tunnistin (tag, transponder) lähettää lyhyen tunnistetietoja sisältävän viestin lukijalle. Tunnistetietoihin voidaan liittää tietoja esimerkiksi tavaran kuljetuksesta, kuljetustavasta sekä saapumisajankohdasta. Tunnistetietoja voidaan myös päivittää.

Laitteiden teknisiä ominaisuuksia, kuten taajuusaluetta, tehoa ja modulaatiota ei ole vielä täysin standardisoitu. Tyypilliset lähetintehot lienevät 0,1–1 W ja maksimitehot on annettu standardeissa EN300220, EN300330 ja EN300440. RFID-laitteet kehittyvät nopeasti eikä niiden aiheuttamista kentistä ole kattavaa tietoa. Yleisimmin käytössä olevien laitteiden teknisten tietojen perusteella voidaan arvioida, että väestön ja

Taajuusalue	Taajuus
Pientaajuus	125-134 kHz
Suurtaajuus	13,56 MHz
UHF	868 MHz
Mikroaalto	2,45 GHz

Taulukko 9.17 RFID sovelluksiin yleisimmin Euroopassa käytettäviä taajuusalueita

Laite	Taajuus	Altistumisen suhde viitearvoon	Etäisyys, cm
Kortinlukija	120 kHz	1,2 0,6	7,5 12
Antenni	120 kHz	0,6	7,5
Antenni	134 kHz	2,5 5	1,6 0,5
Antenni	154 kHz	2,5 5 10	1,1 0,4 0,09
Kortinlukija	4,9 MHz	5 10 20	20 5,1 0,7

Taulukko 9.18 Magneettivuon tiheyden suhde viitearvoihin RFID laitteiden ympärillä, (Cooper, 2002)



työntekijöiden altistuminen on hyvin satunnaista ja jää silloinkin pieneen osaan voimassa olevista viitearvoista ja toiminta-arvoista. Englantilaisen tutkimuslaitoksen NRPB:n tutkimuksissa on todettu, että vaikka magneettikentän voimakkuus laitteiden lähetyvillä ylittää viitearvot, todellinen altistuminen jää perusrajoja koskevien enimmäisarvojen alapuolelle.

## 9.10 | Magneettikuvauslaitteet

### Periaate ja tekniikka

Magneettitutkimus eli magneettikuvaus (MRI, Magnetic Resonance Imaging) on lääketieteessä käytetty kuvantamismenetelmä, jolla voidaan muodostaa kehosta tai sen osista sekä kaksiulotteisia leikekuvia että kolmiulotteisia kuvia. Magneettitutkimus perustuu kehon kudosten vetyatomien ytimien eli protonien ydinmagneettisiin ominaisuuksiin ja se soveltuu erityisesti aivojen, selkärangan ja nivelten tutkimuksiin. Magneettikuvauslaitteiden nopea kehitys on tuonut mukaan muun muassa angiografiat eli verisuoniston kuvaukset, funktionaaliset tutkimukset ja vartalon alueen tutkimukset. Tekniikan kehittyminen myötä laitteistoja käytetään koko kehon tutkimiseen.

Tavanomaisessa magneettitutkimuslaitteessa potilas makaa tutkimuksen ajan putkimaisessa tilassa magneettikenttiä tuottavien kelojen ympäröimänä. Käytössä on myös niin sanottuja avoimia laitteita, joiden muoto muistuttaa kulmikasta C-kirjainta, kuva 9.21b. Magneettikuvauksessa käytetään kolmea erilaista magneettikenttää. Putken sisällä vallitsee koko ajan voimakas staattinen magneettikenttä, joka on voimakkuudeltaan tyypillisesti 0,6–3 T. Tutkimuksen aikana magneettikenttään kytketään pieniä muutoksia, gradientteja, joiden muutosnopeudet ovat suuruusluokkaa 20 mT/ms, sekä pulssimaisia radiotaajuisia 10–128 MHz kenttiä.

### Altistuminen staattiselle kentälle

Suomessa kliinisessä käytössä olevien magneettikuvauslaitteiden staattiset magneettikentät ovat voimakkuudeltaan välillä 0,2–3 T. Teknisellä korkeakoululla on kokeellisessa tutkimuskäytössä 3 T -laite ja muutamia kliinisiä 3 T:n laitteita on myös Suomessa. Muualla maailmassa on tutkimuskäytössä jopa 9,4 T -laitteita. Staattinen kenttä on aina päällä, toisin kuin muut kentät, joita käytetään vain kuvausprosessin aikana.

a)



b)



c)



**Kuva 9.21 Eri tyypisiä magneettikuvaslaitteita ja leikekuva ihmisen päästä**

- a) Avomagneettilaite
- b) Putkimagneettilaite (Kuvat a ja b: GE)
- c) Magneettikuvaslaite tuottaa ihmisen sisältä leikekuvia poikkileikkauspinoista, joista voidaan konstruoida kolmiulotteinen leikekuva. Magneettitutkimus soveltuu erityisen hyvin aivojen, selkärangan ja nivelten tutkimuksiin.

Hyvin voimakkaat staattiset magneettikentät voivat aiheuttaa pahoinvointia, päänsärkyä ja huimausta, raudanmakua suussa sekä näköaistimukse-  
na valonvälähdyksiä eli magnetofosfeeneja. Metallin makua ja magne-  
tofosfeeneja havaittiin alun perin 4 T -laitteen lähellä työskennelleillä  
henkilöillä, mutta myöhemmin myös 1,5 T kliinisillä kuvauslaitteilla.  
Magnetofosfeeni-ilmio syntyy staattisen magneettikentän vaikutuksesta,  
kun pään tai silmien nopeat liikkeet indusoivat virtoja silmän verkkokal-  
volle. Magnetofosfeenit liittyvät nimenomaan silmien nopeisiin liikkei-  
siin, eikä niitä esiinny potilaan levätessä rauhallisesti paikallaan. Ky-  
seessä on sama ilmiö, jonka voimakas 10–50 Hz vaihtomagneettikenttä  
aiheuttaa paikallaan olevassa ihmisessä (kohta 4.4). Fosfeenivälähdyk-  
set ovat hyvin heikkoja ja ne katoavat helposti ympäristön valaistukseen.

Myös muut magneettikuvauslaitteiden yhteydessä havaitut tuntemukset,  
kuten pahoinvointi ja huimaus, näyttävät liittyvän nopeisiin liikkeisiin staat-  
tisessa magneettikentässä. Normaalissa tutkimustilanteessa eli hitaassa  
liikkeessä tai paikalla ollessa aistimukset katoavat tai ovat lievempiä.

Alle 10 T vuontiheyksillä suora magneettinen voimavaikutus ei ole mer-  
kittävä, sillä kudokset ovat diamagneettista tai paramagneettista väliai-  
netta, joka reagoi äärimmäisen vähän magneettikenttään. Kehossa voi  
kuitenkin olla pieniä määriä ferrimagneettisia kiteitä, jotka voisivat rea-  
goida muita kudoksia voimakkaammin magneettikenttään. Magneettiku-  
vauksessa toistaiseksi käytetyillä vuontiheyksillä tällaisiin molekyylei-  
hin kohdistuvilla voimilla ei ole biologista merkitystä.

Magneettikentällä on kuitenkin havaittu olevan kemiallisia vaikutuksia  
vapaiden radikaalien muodostukseen. Kuten kappaleessa 4.2 on esitetty,  
tällainen vaikutus kemiallisiin reaktioihin ei mitenkään edellytä ajan funk-  
tiona vaihtelevaa kenttää ja se on havaittu jo niinkin alhaisella kuin 1 mT  
tasolla. Kentän kasvaessa vaara ei suinkaan lisääntynyt suoraviivaisesti,  
mutta kemiallisen vuorovaikutuksen mekanismi muuttuu.

Ennen kuvausta on selvitettävä potilaan kehossa olevat vähänkin mag-  
neettiset metallinkappaleet ja istutteen. Homogeeninen magneettikenttä  
pyrkii vääntämään niitä kuten maan magneettikenttä kompassineulaa ja  
epähomogeeninen kenttä magneettikuvauslaitteen hajakentän reunalla  
pyrkii vetämään metallikappaleita. Magneettiset voimat voivat olla niin  
suuria, että vakavat kudosvauriot ovat mahdollisia, esimerkkinä verisuo-  
nipuristimen repeytyminen. Lähes kaikkien nykyisin käytössä olevien is-  
tutteen kanssa voidaan kuitenkin magneettikuvaukseen mennä. Todella  
vanhojen istutteen osalta voi tilanne olla toinen.

## Altistuminen magneettikentän gradienteille

Magneettitutkimuksissa käytettävät magneettikentän gradientit synnyttävät tutkittavan potilaan kehossa sähköisiä induktiokenttiä ja -virtoja. Nämä voivat ilmetä esimerkiksi hermo- ja lihassolujen stimulaationa, jotka tuntuvat kihelmöintinä tai lihasten nykimisenä. Induktiovirtojen syntymekanismia ja vaikutuksia on kuvattu luvuissa 3 ja 4.

Tyypillisessä magneettikuvauslaitteessa gradientit ovat kohtisuorassa toisiinsa nähden ja potilas on makuulla staattisen magneettikentän suuntaisesti. Tällaisessa tilanteessa kehon pituussuuntaan nähden poikittaiset gradientit aiheuttavat hermostimulaatioita herkemmin kuin kehon pituus- akselin suuntaiset gradientit.

Hermostimulaation kynnys vaihtelee suuresti eri henkilöiden välillä ja samalla koejärjestelyllä eri henkilöt aistivat ne kehon eri osissa. Lääketieteellisissä magneettitutkimuksissa käytettävät nopeat kuvaussekvenssit voivat olla riittävän voimakkaita ja nopeita aiheuttamaan hermostimulaatioita. Toisaalta, osa potilaan kokemista hermo- ja lihasaistimuksista voi johtua magneettikentän gradienttien aiheuttamista stimulaatioista, mutta osaan on ilmeisesti syynä potilaan kokema jännitys tai muu magneettitutkimukseen liittyvä epämukavuus.

## Altistuminen radiotaajuisille (RF-) kentille

RF-kenttä absorboituu kuvattavan henkilön kehoon lämmöksi. Eri kudostyypeillä on erilainen johtavuus ja ne myös absorboivat kenttiä eri tavoin, jolloin RF-tehon aiheuttama lämmön nousu jakautuu kehossa hyvin epätasaisesti. Lämmön nousu on suurimmillaan ihossa ja pinnallisissa kudoksissa, ja vaikutukset kehon sisäosien lämpötilaan ovat vähäisemmät.

Keho kompensoi lämmön nousua lisäämällä lämmön haihdutusta ympäristöönsä. Kudoksissa, joissa verenkierto on heikkoa, voi esiintyä lämmön nousua, koska lämmönsiirto ympäröiviin kudoksiin on vähäistä. Lisäksi tietyt kudokset, kuten mykiö ja kivekset sekä kehittyvä sikiö, voivat olla erityisen herkkiä liiallisen lämmön aiheuttamille vaurioille.

Kliinisissä tutkimuksissa on todettu, että ominaisabsorptionopeuden (SAR) ollessa 0,4–1,2 W/kg potilaalle voi aiheutua havaittavaa lämmöntunnetta ja näkyvää hikoilua, mutta ihon ja kehon lämpötilan nousu ovat pienempiä kuin normaalin vuorokausirytmien aiheuttama lämpötilanvaihtelu.

Kehon lämmönnousua voisi olettaa esiintyvän useammin korkeataajuisilla kuin matalataajuisilla kentillä, koska RF-tehon aiheuttama energian absorptiionopeus SAR on tässä tapauksessa neliöllisesti riippuvainen taajuudesta ja siten myös laitteen staattisen magneettikentän voimakkuudesta<sup>1</sup>. Magneettikuvauksessa lopulliseen SAR-altistukseen vaikuttavat RF-taajuuden lisäksi kuvaussekvenssistä riippuvat seikat kuten RF-pulsin muoto, amplitudi, kesto ja toistotaajuus. Potilaan kokemaan lämpökuormaan vaikuttavat RF-kenttien lisäksi myös muut seikat kuten tutkimushuoneen lämpötila, tuuletuksen tehokkuus sekä potilaan vaatus. Lämpörasituksen kokemiseen vaikuttavat myös kuvauslaitteesta tai -menetelmistä riippumattomat seikat kuten potilaan ylipaino ja tietyt sairaudet, jotka voivat heikentää lämmönsäätelyjärjestelmän toimintaa. Magneettitutkimus voi myös aiheuttaa potilaiden aistimaa paikallista kudosten kuumotusta sähköä johtavien implanttien ympärillä. Myös tatuoidut ihoalueet voivat kuumottaa, jos tatuointiväriä on metalliyhdistettä kuten rautaoksidia. Lisää tietoa radiotaajuisien kenttien lämpövaikutuksista löytyy kohdasta 4.3.

## Potilasturvallisuutta koskevat standardit ja suositukset

Magneettikuvauslaite on voimakkaimpia pientaajuisen ja radiotaajuisen magneettikentän lähteitä, jonka aiheuttamille kentille ihminen voi käytännössä altistua. Siksi magneettikuvauslaitteille ja niiden käytön turvallisuudelle on ollut suosituksia jo 1990-luvun alusta lähtien. Keskeisimmät potilaiden ja koehenkilöiden turvallisuutta koskevat kansainväliset turvallisuusstandardit ja suositukset on laadittu vuonna 2002 IEC:n ja vuonna 1994 ICNIRPin ja toimesta. STUK on julkaissut vuosina 1995 ja 2000 kansainvälisiin suosituksiin perustuvia magneettikuvauslaitteiden käyttöä ja turvallisuutta koskevia ohjeita.

Normaalissa kuvauksessa altistus on vähäinen eikä erityisiä varotoimenpiteitä tarvita. Valvotussa käytössä altistus on sen verran suuri, että se voi aiheuttaa fysiologista rasitusta ja lääkärin on arvioitava tutkimuksesta saatava hyöty suhteutettuna rasitukseen. Potilaan tilaa on myös seurattava. Jos valvottua käyttöä koskevat altistusrajat ylittyvät, altistus voi aiheuttaa merkittävän riskin potilaalle. Tällaista altistusta käytetään yleensä vain tarkasti valvottuun lääketieteelliseen tutkimukseen, jolle on

<sup>1</sup> Magneettikuvauslaitteissa käytettävän RF-säteilyn taajuus on suoraan verrannollinen staattisen kentän voimakkuuteen. RF-taajuus on 42,6 MHz, kun staattinen kenttä 1 T ja 63,75 MHz, kun kenttä on 1,5 T.

saatava eettisen toimikunnan hyväksyntä. Taulukkoon 9.19 on koottu IC-NIRPin ja IEC:n suositusten pohjalta keskeisimpiä altistumista rajoittavia ohjearvoja. Ominaisabsorptionopeutta pyritään radiotaajuusalueella rajoittamaan niin, että kehon keskiosien lämpötila ei nouse enempää kuin 0,5 °C normaalissa ja 1 °C valvotussa altistuksessa.

Kenttä	Kehon osa	Enimmäisarvo	Valvottu käyttö,	Huomioita
		Normaali käyttö	koetilanne	
Staattinen kenttä	ei määritelty	2 T	4 T	
Gradientti kenttä	ei määritelty	16 · kT/s	20 · kT/s	$k = (1 + 0,36/\tau)^3$
RF-kenttä <sup>1</sup>	koko keho <sup>2</sup> koko pää kehon osa <sup>4</sup> paikallinen paikallinen	2 W/kg 3 W/kg 2-10 W/kg 10 W/kg 20 W/kg	4 W/kg 3 W/kg 4-10 W/kg 10 W/kg 20 W/kg	muu kuin pää pää ja vartalo (10 g) raajat (10g)

<sup>1</sup> SAR- arvot ovat 6 minuutin keskiarvoja.

<sup>2</sup> Koko kehon SAR voidaan määrittää mittaamalla RF-kelaan menevä ja siitä heijastunut teho.

<sup>3</sup>  $\tau$  on tehollinen gradientin kytketymsaika

<sup>4</sup> Määräytyy siitä kuinka suuri osa kehosta altistuu.

**Taulukko 9.19 ICNIRPin suosituksissa vuodelta 2004 ja IEC:n standardissa vuodelta 2002 esitetyt enimmäisarvot magneettitutkimuksessa potilaalle tai koehenkilölle aiheutetun altistuksen rajoittamiseksi**

## Hoitohenkilökunnan ja sivullisten turvallisuus

Magneettikuvauslaitteiden staattinen magneetti synnyttää ympärilleen hajakentän, joka ulottuu kuvauslaitteen ulkopuolelle. Hajakenttä vaimenee nopeasti, kun etäisyys magneettiin kasvaa. Henkilökunta ja sivulliset henkilöt altistuvat normaalisti ainoastaan tälle hajakentälle, koska RF-kentät ja gradienttien kentät rajoittuvat kuvauslaitteen sisälle. Uusia avomagneetteja voidaan käyttää myös kirurgisten toimenpiteiden yhteydessä ja tällöin on mahdollista, että osa hoitohenkilökunnasta voi altistua lähes yhtä voimakkailla kentillä kuin potilas. Henkilökunnan altistumista koskevat enimmäisarvot perustuvat EU:n sähkö- ja magneettikenttiä koskevaan työsuojeludirektiiviin 2004/40/EY, jota on selostettu luvussa 8. On kuitenkin huomattava, että staattisen magneettikentän osalta voimassa on toistaiseksi vain ICNIRPin suositus vuodelta 1994.

ICNIRPin ohjearvo työntekijöitä koskevan staattisen magneettikentän altistuksen rajoittamiseksi on asetettu 2 T hetkellisenä huippuarvona ja 200 mT työpäivän aikaisena keskiarvona. Työntekijöiden altistumi-

nen on suurinta silloin, kun potilasta asetellaan laitteeseen tutkimusta varten ja työntekijä seisoo vuoteen vieressä lähellä magneetin suuaukkoa. Kuvauslaitteen rungon ja potilasvuoteen kulmauksessa seisovan henkilön keskikehon kohdalla staattinen hajakenttä on suuruudeltaan luokkaa 40–200 mT. Magneetikuvauksessa työntekijän käsiin kohdistuu suurin altistus tilanteissa, joissa työskennellään kädet magneetin suuaukossa tai aivan sen lähellä. STUKin magneetikuvausta koskevan raportin mukaan käsien hetkellinen altistus voi olla 200–700 mT eli suuruusluokaltaan kymmenesosa ICNIRPin ohjeavosta. Poikkeuksellisissa tilanteissa, jos esimerkiksi hoitaja ryömii magneetin sisään poimimaan magneettiin lennähtänyttä esinettä, altistuminen on myös ohjeavojen puitteissa, koska altistuminen on hetkellinen ja kenttä on alle 2 T.

Potilaan saattajaan, esimerkiksi lapsen äitiin sovelletaan työsuojelunormeja. STUKin tutkimuksen mukaan väestön altistumisen enimmäisarvo staattiselle magneetikentälle 40 mT (taulukko 8.3) ei yleensä ylity esimerkiksi potilasvuoteen vierellä seistessä.

## Riskit ja vaaratilanteet

Sähköisesti tai magneettisesti aktiivisten istutteen eli implanttien kuten sydäntahdistimen toiminta voi häiriintyä magneetikenttien vaikutuksesta. Siksi potilaille, joilla on sydäntahdistin tai defibrillaattori, ei saa tehdä magneetikuvausta eikä heitä saa päästää alueelle, jossa staattinen magneetikenttä on yli 0,5 mT.

Ferromagneettisia metalleja sisältävät verisuonipuristimet ja muut kirurgiset istutteen voivat kiertyä tai irrota staattisen magneetikentän vaikutuksesta. Ennen magneettitutkimuksen tekoa on varmistettava, että potilaalla oleva istute on tyypiltään sellainen, että se ei aiheuta riskiä magneetikentässä. Kehonsisäiset metalliesineet voivat myös lämmitä magneetikuvauksen vaikutuksesta ja aiheuttaa kuvausvirheitä.

RF-kenttien indusoimat virrat ovat aiheuttaneet paikallista kudosten lämpenemistä ja jopa palovammoja tilanteissa, joissa sähköä johtavaa materiaalia on joutunut kosketuksiin ihon kanssa tai jos potilaan keho on koskettanut magneetikuvauslaitteen RF-lähetinkelaa. Palovammoja voi syntyä myös silloin, kun potilaan keho muodostaa johtavan silmukan esimerkiksi siten, että kädet koskettavat lonkkia tai nilkat toisiaan. Tällöin ihon kosketuspinnan suuren resistanssin takia RF-virrat aiheuttavat ihossa kuumenemista ja edelleen palovamman.

Magneettikuvauslaitteiden staattiset magneetit vetävät puoleensa ferromagneettisia esineitä. Tämä voi aiheuttaa vaaratilanteita ja vahinkoja, jos magneetin liikkeelle tempaisema esine ruhjoo ihmisiä. Yhdysvalloissa kuvaushuoneeseen erehdyksessä tuotu vääränlainen happipullo on aiheuttanut potilaan kuoleman sinkoutuessaan kohti magneettia. Myös Suomessa on sattunut vaaratilanteita, kun painona käytettävät haulipussit ovat sisältäneet vaarattomien lyijyhaulien sijasta teräspellettejä ja ne ovat lentäneet magneettiin läheltä tutkittavan potilaan päätä. Lisäksi ihmisiä on jäänyt puserruksiin magneettikuvauslaitteen ja erehdyksessä kuvaushuoneeseen tuodun raskaan metalliesineen väliin.

Magneettikuvauksessa ongelmia voivat aiheuttaa niinkin yllättävät asiat kuin tatuoinnit ja meikit. Näissä käytettävät pigmentit voivat sisältää rautaoksidia tai muita sähköä johtavia metalliyhdisteitä. Pigmentin metalliyhdisteet synnyttävät RF-tehon absorptioon paikallisen tihentymän. Magneettitutkimuksessa ihoalue, jolla on tällaista pigmenttiä, voi ärtyä tai siinä voi esiintyä kuumotusta. Lisäksi nämä virran tihentymät aiheuttavat kuvausvirheitä, jos pigmentoitunut ihoalue on lähellä kuvattavaa kohdetta. Näiden ongelmien välttämiseksi meikit olisi poistettava ennen magneettitutkimusta. Tatuointien ja pigmentoinnilla tehtyjen kesto-meikkien aiheuttamat ongelmat ovat kuitenkin niin harvinaisia ja lieviä, että ne eivät rajoita magneettitutkimuksen tekoa.

Lisäksi on huomioitava, että magneettikuvauslaitteiden käyttöön liittyy myös muita kuin suoranaisesti magneettikentistä aiheutuvia riskejä. Magneettikuvauslaitteen sisällä voi esiintyä voimakasta melua ja vuotava nestehelium voi syrjäyttää hapen.

## Magneettikuvauslaitteita koskevia turvallisuussuosituksia

Diagnostisessa käytössä olevien magneettikuvauslaitteiden ja niiden käyttöpaikan on täytettävä standardissa IEC-601-2-33 esitetyt turvallisuutta koskevat vaatimukset.

Potilaan altistuminen magneettikentille tulisi pitää IEC:n standardissa esitettyjen ohjeiden mukaisena ja potilaan tilaa on seurattava standardissa esitetyn mukaisesti.

Työntekijöiden altistumiselle magneettikuvauslaitteen staattiselle kentälle ei ole toistaiseksi annettu ajanmukaisia kansainvälisiä ohjeistoja. Vuodelta 1994 peräisin olevaa ICNIRPin suositusta on hyvä noudattaa



ennen kuin uusi saadaan valmiiksi. Sellaisissa poikkeuksellisissa tilanteissa, joissa työntekijä altistuu magneettikuvauslaitteen aiheuttamille gradienttikentille tai radiotaajuisille kentille, altistus ei saisi ylittää direktiivissä 2004/40/EY esitettyjä altistumisen enimmäisarvoja.

Magneettikuvauslaitteen ympärille on rajattava valvonta-alue siten, että staattinen magneettikenttä sen ulkopuolella on vähemmän kuin 0,5 mT. Valvonta-alue on merkittävä selkeästi ja varustettava voimakkaasta magneettikentästä kertovilla varoituskilvillä.

Pääsyä valvonta-alueelle on valvottava siten, ettei alueelle pääse henkilöitä, joilla on sydäntahdistin, ferromagneettinen klipsi, esimerkiksi verisuonipuristin tai muu istute tai proteesi, jonka toiminta voi häiriintyä tai joka voi liikkua magneettikentän vaikutuksesta.

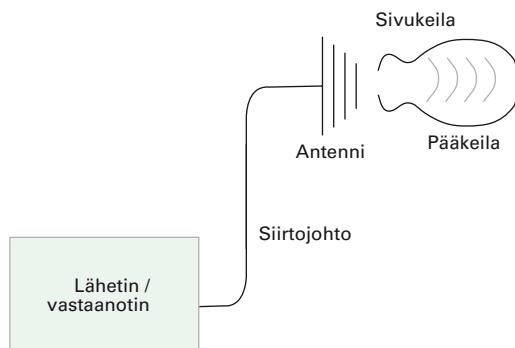
On varmistettava ettei kuvaushuoneeseen tuoda esineitä, joita magneetti voi vetää puoleensa.

On huolehdittava siitä, että ei synny tilanteita, joissa on vaara saada RF-kenttien aiheuttama palovamma.

Magneettitutkimusta ei suositella tehtäväksi raskauden ensimmäisen kolmanneksen aikana, ellei potilaan tila sitä erityisesti vaadi tai jos vaihtoehtona on röntgentutkimus.

## 9.11 | Yleisradioasemat

Suurtehoinen yleisradioasema on voimakkain radiotaajuisen säteilyn lähde ihmisen elinympäristössä. Asemilla olevien lähetyksantennien (kuva 9.22) säteilytehot ovat tyypillisesti kymmeniä kilowatteja ja suurimmillaan jopa 600 kW. Säteily ei kuitenkaan yleensä ole radioaseman ympäristössä asuvan väestön kannalta ongelma, koska antennikentälle ei pääse ja antennit on sijoitettu korkeisiin mastoihin. Sen sijaan antennien läheisyydessä työskentelevät voivat joutua alttiiksi voimakkaalle säteilylle. Antennien huolto- ja asennustyöt ovat pääasiallisesti erikoistuneiden mastotyöntekijöiden vastuulla, mutta myös asemien henkilökunta joutuu käymään satunnaisesti mastoissa. Lähetykskatkosten välttämiseksi mastoissa joudutaan usein työskentelemään lähetyksen aikana. Maan tasalla lähetinhalloissa sijaitsevat radiolähettimet ja kaapelit ovat käytännössä niin hyvin suojattuja, että altistuminen ei ole siellä ongelma.



**Kuva 9.22 Radiolähetin ja lähetysantenni yleisradioasemalla**

Asemarakennukseen sijoitetusta lähettimestä radiotaajuinen teho johdetaan siirtojohton välityksellä antenniin, jonka tehtävänä on säteillä teho haluttuun suuntaan. Antennin säteilyyn vaikuttavat eniten lähetysteho, taajuus ja antennin säteilyominaisuudet. Alle 3 MHz taajuuksilla antennit säteilevät suhteellisen tasaisesti eri suuntiin. Suurilla, yli 3 MHz taajuuksilla RF-teho pyritään keskittämään haluttuun sektoriin säteilevään pääkeilaan, joka suuntautuu yleensä hieman horisontin alapuolelle (ULA/TV) tai hieman yläpuolelle (lyhytaalto-lähetykset). Muissa suunnissa esiintyy sivukeiloista peräisin olevaa hajasäteilyä, joka on yli 100 MHz taajuuksilla huomattavasti heikompaa kuin pääkeilan säteily. Hyvin lähellä antennia pääkeilan ja sivukeilojen välinen ero kuitenkin hämärtyy. Liitteissä 2 ja 3 on esitetty miten tehoteho voidaan laskea lähettimen ja antennin teknisistä tiedoista.

## Porin yleisradioasema

Suomen suuritehoisimmat radiolähettimet sijaitsevat Porin AM-asemalla Preiviikissä. Siellä toimii 600 kW keskipitkäaaltoasema sekä lyhytaaltoasema, jossa on useita 500 kW lähettimiä ja antennejä. Lisäksi Helsingin Santahaminassa on pieni 50 kW keskipitkäaaltoasema.

### Keskipitkäaaltoasema

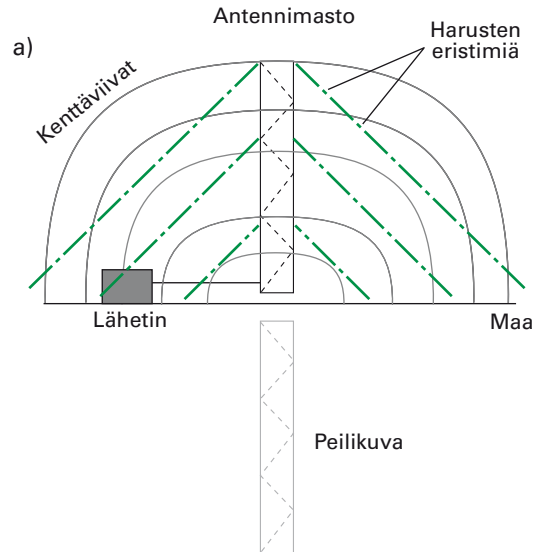
Porin keskipitkäaaltoasema lähettää tehoa 963 kHz taajuudella. Antennina toimii maasta eristetty 185 m korkuinen monopolimasto, jonka alapuolelle syntyy peilikuva, kuva 9.23a. Maa johtaa sen verran hyvin, että sitä voidaan pitää metallipintaa muistuttavana tasaisena peilipintana. Dipoliantennin toimintaa on tarkemmin selostettu luvussa kymmenen.

Keskipitkäaaltoaseman antenni aiheuttaa maan pinnalle antennin läheisyyteen suhteellisen voimakkaita pystysuuntaisia sähkökenttiä. Kuvassa 9.23b on esitetty mitattu ja laskettu sähkökentän voimakkuus etäisyyden funktiona antennista. Kentänvoimakkuus on varsin tasainen koko kehon alueella. Väestöä koskeva sähkökentän voimakkuuden viitearvo 87 V/m

ylittyy noin 45 m etäisyydellä mastosta ja työntekijöitä koskeva viitearvo 614 V/m ylittyy vasta kymmenen metrin etäisyydellä mastosta. Sähkökenttä on kymmenien metrien etäisyydelle saakka niin suuri, että koskettaminen maasta eristettyyn, sähkökentässä varautuneeseen metallikapaleeseen voi aiheuttaa sinänsä vaarattomia, mutta häiritseviä kosketusvirtoja. Antenniin koskettaminen on hengenvaarallista, koska antennissa on useiden kilovolttien RF-jännite. Kosketuskohtaan syntyy valokaari ja ihmisen kehon läpi purkautuu suuri virta jalkojen kautta maahan. Sen johdosta antenni on ympäröity suoja-aidalla eikä työskentely sen sisäpuolella ole sallittua lähetyksen aikana.

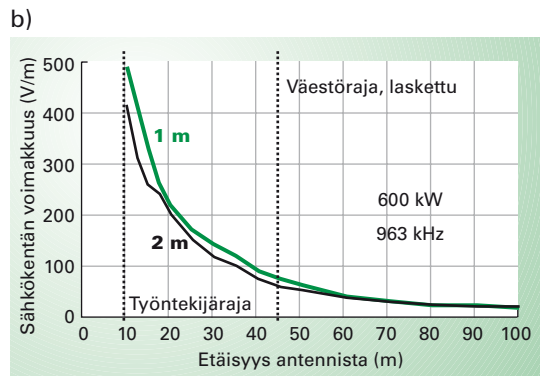
Sähkökenttä aiheuttaa ihmiseen ilman galvaanista kytkentääkin pituus-suuntaisen RF-virran, joka purkautuu jalkojen kautta maahan. Virta on suurimmillaan, kun jalat ovat hyvässä yhteydessä maahan. Hyvin ohuet kenkien pohjat eivät anna suojaa, koska virta kulkeutuu maahan kapasitiivisesti. Virta ei kuitenkaan ylitä toiminta-arvoa 200 mA yli 10 m etäisyydellä, kuva 9.26.

Maston ympärillä on myös magneetikenttä, mutta viitearvoihin suhteutettuna se on pienempi kuin sähkökenttä.



**Kuva 9.23 Porin keskipitkäaaltoantenni ja sen läheisyydessä esiintyvä sähkökenttä**

- a) Antennina toimii maasta eristetty 185 m korkeinen monopolimasto, jonka alapuolelle syntyy peilikuva. Antenni-maa-yhdistelmää voidaan pitää dipoliantennina, jonka toimintaa on tarkemmin selostettu luvussa 10. Lähetysteho kytketään maston alaosaan ja maan väliin. Maston harusten täytyy olla eristettyjä, jotta ne eivät säteile.
- b) Sähkökentän mittaukset on suoritettu yhden ja kahden metrin korkeuksilla ja sähkökentästä on mitattu sen pystykomponentti, joka on vaakakomponenttia huomattavasti suurempi, STUKin mittauksia.



Keskeisin keskipitkääaltosemaa koskeva turvaohje on, että suoja-aidan sisäpuolelle ei saa mennä, kun tehot ovat päällä. Muutaman kymmenen metrin etäisyydellä antennista on hyvä käyttää eristäviä käsineitä ja paksupohjaisia jalkineita kosketus- ja kehovirtojen pienentämiseksi.

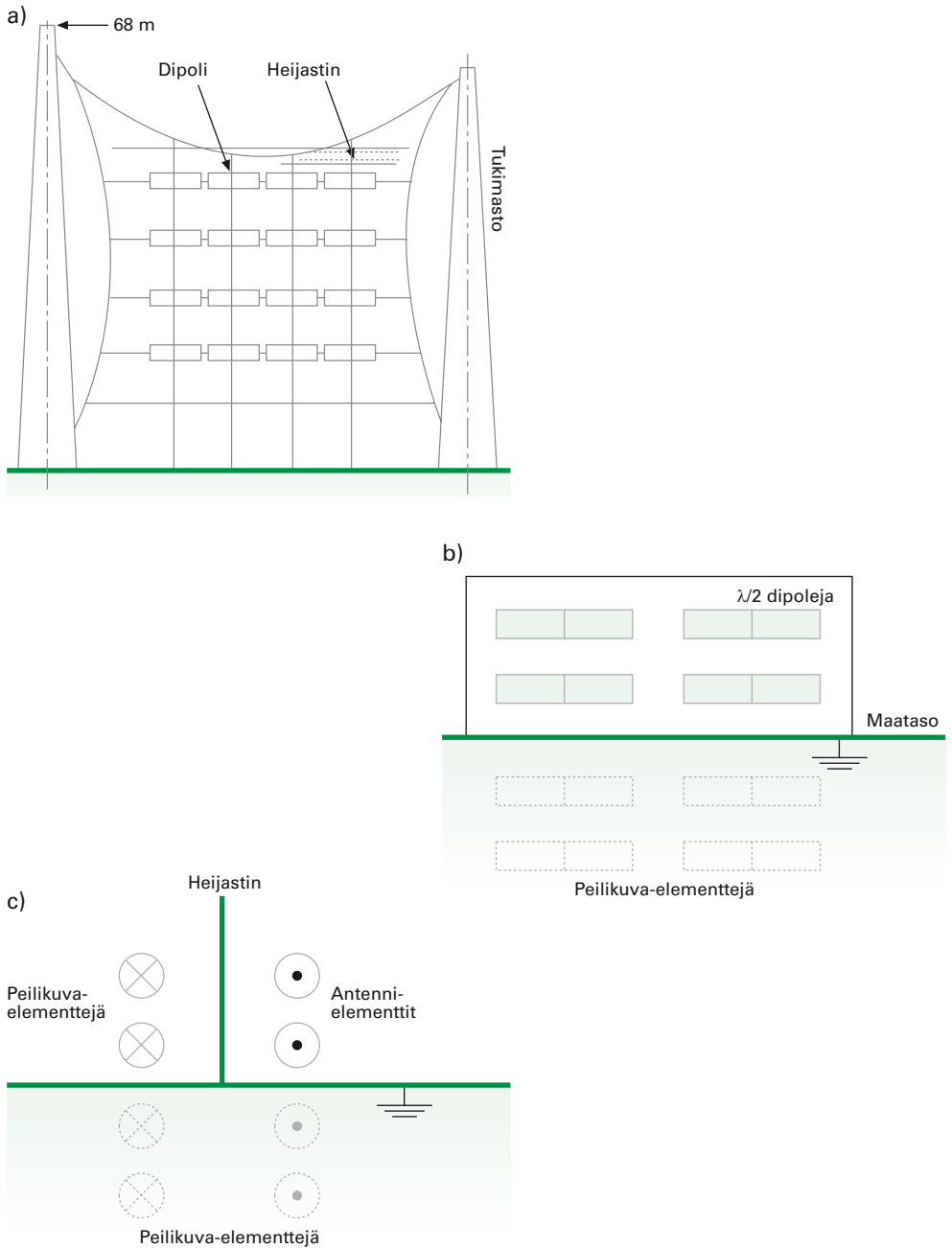
## Lyhytaaltoasema

Porin lyhytaaltoasema toimii taajuuksilla 5,95–26,1 MHz. Useimmat lyhytaaltoantennit ovat verhoantenneja, jotka ovat puolialtrodipoleista muodostuvia antenniryhmiä, kuva 9.24a. Dipolien takana on vajereista muodostuva metalliverkko tai -verho, joka toimii peilimäisenä heijastimena muodostaen peilikuvan dipoleista. Myös maa toimii heijastavana peilipintana muodostaen alapuolelle peilikuvan yläpuolella olevista dipoleista ja niiden kuvista (kuva 9.24b ja c). Antennin edessä sähkö- ja magneettikenttä muodostuu dipolien ja niiden peilikuvien säteilemien sähkö- ja magneettikenttien summasta. Säteily lähtee antennista leveänä keilana muutaman asteen kulmassa maahan nähden ionosfääriä kohti, josta se heijastuu takaisin maahan.

Dipolit säteilevät vaakasuuntaista sähkökenttää, mutta antennin edessä esiintyy myös suhteellisen voimakas pystykomponentti, joka on peräisin pystysuuntaisiin antennirakenteisiin indusoituneista virroista. Kentät ovat ihmisen mittoihin verrattuna varsin homogeenisia, joten kyseessä on koko kehon altistumistilanne.

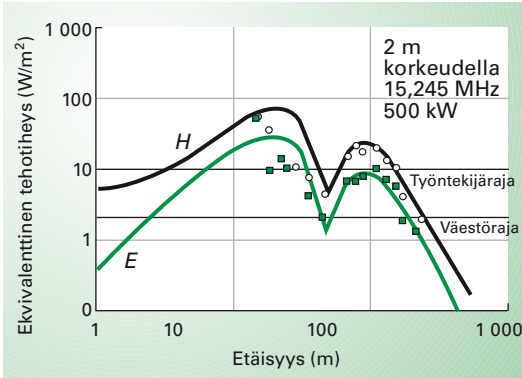
Säteilyturvakeskuksen mittausten mukaan ekvivalenttiset tehotiheydet ovat suurimmillaan 30–80 W/m<sup>2</sup> noin 20 m etäisyydellä antennista ja pienenevät lähempänä antennia. Pieneneminen selittyy sillä, että säteilylähkentässä (luku 10) dipoleista ja niiden peilikuvista emittoituvat aallot summautuvat eri vaiheessa eivätkä huiput siten enää summaudu samalla ajan hetkellä.

Työntekijöitä koskeva toiminta-arvo 10 W/m<sup>2</sup> ylittyy noin 150 m etäisyydellä ja väestöä koskeva viitearvo 2 W/m<sup>2</sup> ylittyy noin 250 m etäisyydellä maanpinnan tasolla, kuva 9.25. Tehotiheys kasvaa huomattavasti, jos nousee maatasoa korkeammalle. Laskujen mukaan 100 W/m<sup>2</sup> voi ylittyä vielä 150 m etäisyydellä, jos nousee yli 20 m korkeudelle. Metallikappaleista purkautuvien polttavien kosketusvirtojen vaara on suuri, kun sähkökentän ekvivalenttinen tehotiheys on näin suuri. Antennikenttä ja aseman alue on ympäröity suljetulla aidalla, mutta aseman sisääntulotien läheisyydessä työntekijäraja ylitetään jo ennen aidatulle alueelle saapumista. Porin lyhytaaltoaseman ympäristössä onkin rajoitettava myös



**Kuva 9.24** Lyhytaaltolähteyksiin käytettävä verhoantenni ja sen peilikuvat

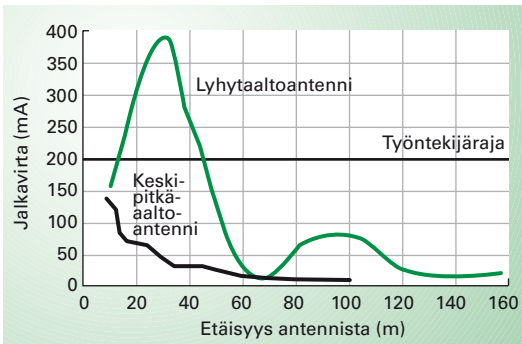
- a) verhoantennin rakenne  
 b) antennielementtien peilikuvat maan suhteen  
 c) antennielementtien peilikuvat heijastimen ja maan suhteen



**Kuva 9.25** Mitatut ja lasketut sähkö- ja magneettikentän ekvivalenttiset tehoiteheydet lyhytaaltoantennin edessä, STUKin mittauksia

muiden kuin työntekijöiden altistumista, mikä aiheuttaa rajoituksia maan-  
käytölle.

Voimakas pystysuuntainen sähkökenttä aiheuttaa kehoon jalkojen kautta purkautuvia RF-virtoja kuten kävi myös keskipitkäaalloantennin tapauksessa. Kuvassa 9.26 on esitetty mitattu jalkavirta etäisyyden funktiona sekä lyhytaaltoantennin että keskipitkäaalloantennin edessä. Työntekijöitä koskeva toiminta-arvo 200 mA ylittyy noin 50 m etäisyydellä lyhytaaltoantennista ja altistuminen on suurimmillaan 30 metrin etäisyydellä antennista. Kaavan (3.32) mukaisesti jalkavirta kasvaa suoraan verran-



**Kuva 9.26** Mitattu jalkavirta Porin keskipitkäaallo- ja lyhytaaltoantennin lähellä, STUKin mittauksia

Virta noudattelee hyvin luvussa kolme esitetyn kaavan 3.32 mukaista oikosulkuvirtaa, kun käytetään Gandhin esittämää empiristä virtavakiota  $0,108 \text{ nA}/(\text{m}^2\text{HzVm}^{-1})$  STUKin mittaukset suoritettiin luvussa 10 esitetyllä levymittarilla, joka mittaa ihmisen molemmista jaloista maahan purkautuvaan yhteisvirran.

nollisesti taajuuteen, minkä johdosta virta on lyhytaalloilla selvästi suurempi kuin keskiaalloilla.

Keskeisimmät lyhytaaltoasemaa koskevat Säteilyturvakeskuksen turvaohjeet on esitetty seuraavassa:

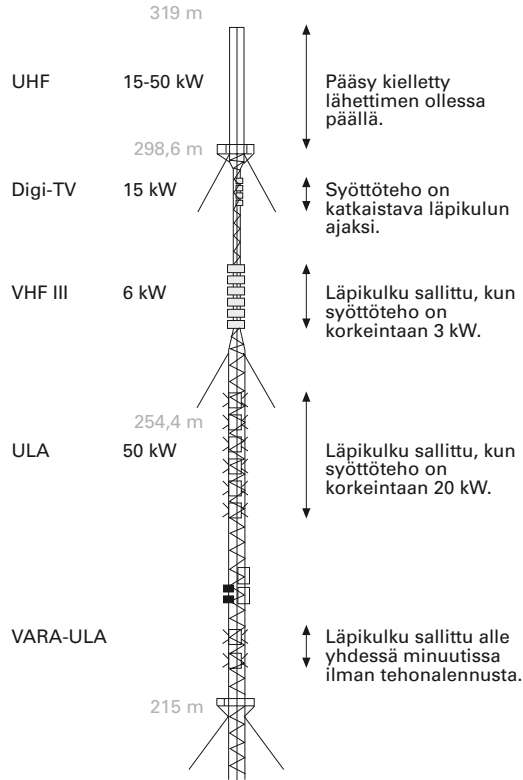
- Niillä alueilla, joilla sähkö- tai magneettikentän ekvivalenttinen tehoitiheys on yli  $10 \text{ W/m}^2$  ei saa työskennellä ja alueille johtavat kulkureitit on varustettava RF-säteilyvaarasta ilmoittavalla varoituskilvellä.
- Lähettävässä antennissa ei saa työskennellä ilman, että lähetys katkaistaan. Myös viereisten antennien tehonsyöttö on syytä katkaista työskentelyn ajaksi, jos mittauksin ei ole varmistettu, että  $10 \text{ W/m}^2$  ei ylity.
- Antennikentällä suositellaan käytettäväksi eristäviä suojakäsitteitä ja paksupohjaisia jalkineita kosketus- ja jalkavirtojen pienentämiseksi.
- Suurtehoisten verhoantennien eteen ei saa rakentaa asuinrakennuksia alle 400 m etäisyyksillä. Kerrostalojen osalta suojavyöhyke on tätäkin suurempi, sillä tehoitiheys on sitä suurempi mitä ylemmäs nouseaan maan tasalta.
- Lisäksi on huomioitava, että säteily voi häiritä kehon sisäisten istutteen kuten sydämentahdistimien toimintaa.

## 9.12 | Ula- ja tv-asemat

### Tekniikka

Suomessa on tällä hetkellä 38 suurta ULA- (radio) ja TV-lähetysasemaa. Lisäksi lähetysverkkoon kuuluu suuri määrä suhteellisen pienitehoisia alilähettimisiä ja linkkiasemia. ULA-alueella toimii myös paikallisradioita. Radiolähetykset on sijoitettu ULA-alueelle ja TV-lähetykset kolmelle erilliselle taajuusalueelle. Perinteellinen analoginen TV lähettää VHF I, VHF III ja UHF-alueella, kun taas uusi digi-TV on sijoitettu UHF-alueelle. Taajuudet ja antenneihin syötetyt tehot löytyvät tämän luvun alusta taulukosta 9.1.

ULA- ja TV-antennit sijaitsevat tyypillisesti noin 300 m korkean maston yläosassa yli 200 m korkeudella maan pinnasta. ULA- ja VHF III -antennit muodostuvat lähes poikkeuksetta maston kolmelle tai neljälle sivulle asennetuista päällekkäisistä dipoliantenneista, joiden takana on peilikuivan muodostava heijastin. Tällainen antenni säteilee vaakatasossa suhteellisen tasaisesti joka suuntaan, mutta pystytasossa säteilykeila on kapea ja suuntautuu hieman horisontin alapuolelle.



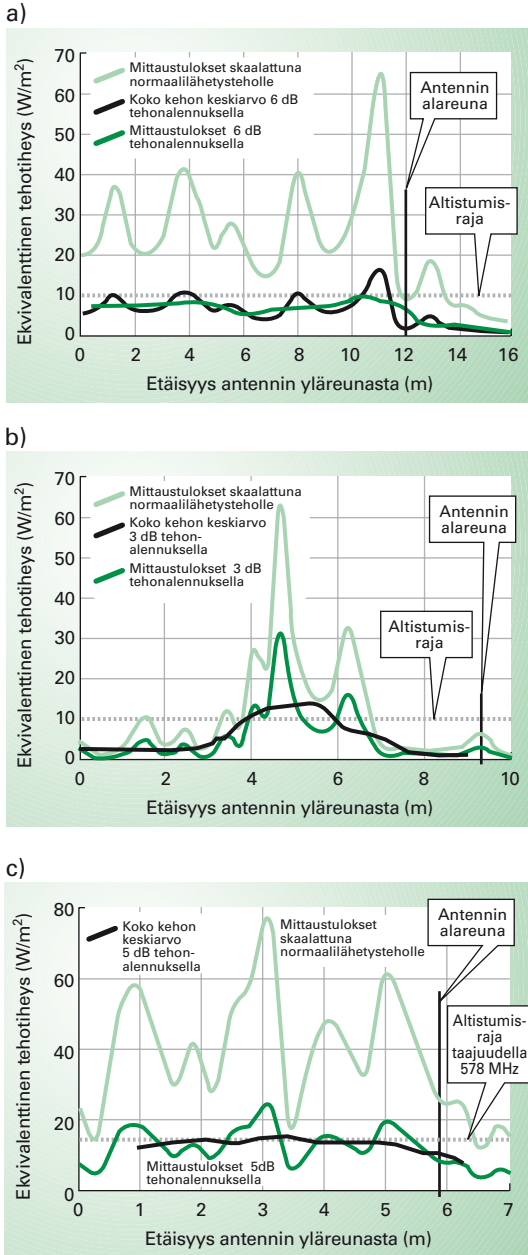
**Kuva 9.27 Tyypillisen ULA- ja TV-maston yläosan rakenne**

Maston huipulla on antennisuoja eli radomin suojaama UHF-antenni analogisia ja digi-TV lähetyksiä varten. Uusissa mastoissa nouseaan hissillä aina UHF-antennin juurelle, mutta vanhemmissa joudutaan kiipeämään viimeiset 100 m ULA- ja VHF III TV-antennin läpi. Hissi vaimentaa merkittävästi sähkömagneettista hajakenttää maston sisällä. Joissakin mastoissa lyhyt digi-TV-antenni on sijoitettu VHF III ja UHF-antennien väliin. Lyhyen antennin sisällä kentät ovat tavallista suurempia, koska lähetysteho keskittyy pienelle alueelle. Lähivuosien aikana analogiset TV-lähetykset lopetetaan ja digi-TV antennit sijoitetaan maston huipulle.

## Altistuminen

Rakennus-, huolto- ja asennustöitä mastoissa tekevät työntekijät voivat altistua voimakkaalle radiotaajuisille sähkö- ja magneettikentille. Kriittisiä työtilanteita ovat säteilevien antennien läpi kiipeäminen ja jatkuva työskentely antennin läheisyydessä. Yleensä työskennellään samassa mastossa toimivan antennin ylä- tai alapuolella, mutta on mahdollista altistua kentille jopa antennin etupuolen voimakkaassa pääkeilassa, kun uutta mastoa rakennetaan vanhan viereen. Maston juurella ja asemarakennuksessa altistuminen on vähäistä.





**Kuva 9.28 ULA- ja TV-asemien antennien tehotiheyksiä maston sisällä**

Anjalankosken maston

a) ULA-antennin

b) VHF III -antennin ja

c) digi-TV:n antennin sisältä mitattuja sähkökentän ekvivalenttisia tehotiheyksiä. Tehotiheyden toiminta-arvoon  $10 \text{ W/m}^2$  verrannollinen tehotiheys saadaan, kun otetaan tehotiheyden liukuva keskiarvo koko kehon pituudelta eli noin 1,8 metrin matkalta.

Säteilyturvakeskuksen mittausten mukaan suurimmat keskimääräiset sähkö- ja magneetikentän ekvivalenttiset tehotiheydet ovat yleensä olleet ULA-antennien sisällä; tyypillisesti 10–100 W/m<sup>2</sup> ja paikalliset maksimit yli 300 W/m<sup>2</sup>. VHF III -antennin sisällä tehotiheydet ovat usein jonkin verran pienempiä alhaisemman lähetystehon vuoksi. UHF-antennin läpi joudutaan kiipeämään antennielementtien ja suojan välissä, jolloin ollaan lähes kiinni antennissa. Tehotiheys voi olla tällöin selvästi yli 100 W/m<sup>2</sup> eikä UHF-antennin sisälle saa mennä lähetystehon ollessa päällä.

Anjalankosken ULA- ja TV-aseman maston sisältä mitattuja sähkökentän ekvivalenttisia tehotiheyksiä on esitetty kuvassa 9.28. Kuvista havaitaan, että normaalilähetystehoilla työntekijöiden altistusraajat ylittyvät kaikkien antennien sisällä. Siten antennien läpi kiivetäessä lähetysteho on pienennettävä ULA-antennissa neljännekseen, VHF III -antennissa puoleen ja digi-TV-antennissa kolmannekseen normaalista.

## Turvallisuussuositukset

Säteilyturvakeskus on antanut turvallisuusohjeet ULA- ja TV-asemien mastotöiden säteilyturvallisuuden varmistamiseksi (Ohje ST 9.3). Yleisenä vaatimuksena on, että altistumisen enimmäisarvoja ei saa ylittää ja on mittaamalla selvítettävä ne työalueet, joilla tehotiheyden viitearvot voivat ylittyä. Muita ohjeita ovat:

- Säteilevän antennin sisällä tai ulkopuolella ei saa työskennellä. Erityisen vaarallista on koskea säteilevään dipoliin. Asemalta on oltava luotettava radiopuhelinyhteys työntekijöihin, jotta voidaan varmistaa, että tehoa ei kytketä vahingossa työn alla olevaan antenniin.
- Turvetäisyys ylä- tai alapuolella olevaan lähettävään ULA-antenniin on 15 m ja VHF III -antenniin 5 m. Turvaetäisyys antennien etupuolella on 100 m.
- UHF-antennin antennisuojan eli radomin sisälle ei saa mennä.
- Antennin läpi kiipeäminen on mahdollista vain jos on mittaamalla todettu, että keskimääräinen tehotiheys kehon alueella ei ylitä tehotiheyden toiminta-arvoa 10 W/m<sup>2</sup>. Tehotiheys määritetään kuuden minuutin keskiarvona, joka hieman vähentää saatua lukemaa silloin, kun kyseessä on hyvin lyhyt antenni, joka voidaan ohittaa nopeasti kiirettä pitämättä. Tarvittaessa lähetystehoa on laskettava. Mastohissillä liikkumiselle ei ole esteitä, sillä hissien metallirakenteet vaimentavat merkittävästi sähkömagneettisia kenttiä.

## 9.13 | Matkapuhelimet

### Matkapuhelinverkot

Matkapuhelinjärjestelmä muodostuu tukiasemasta ja siihen yhteydessä olevasta matkapuhelimesta. Matkapuhelimet ja tukiasemien antennit säteilevät radioaaltoja. Kaikki muut osat monimutkaisesta matkapuhelinjärjestelmästä ovat suljettuja eivätkä aiheuta turvallisuuden kannalta merkittävää vuotosäteilyä.

Suomessa oli vuonna 2005 laajamittaisessa käytössä kolme matkapuhelinjärjestelmää sekä viranomaisten käyttöön kehitetty digitaalinen verkko, joka perustuu TETRA-järjestelmään. Toisen sukupolven järjestelmiä ovat GSM 900 ja GSM 1800 -järjestelmät, joiden toimintataajuudet ovat merkinnän mukaisesti lähellä 900 ja 1 800 MHz taajuuksia. Vuoden 2004 aikana otettiin käyttöön kolmannen sukupolven UMTS/WCDMA-järjestelmä, joka toimii lähellä 2 000 MHz taajuutta. Uusien matkapuhelinjärjestelmien säteily ei ole sen voimakkaampaa kuin vanhempien, vaikka informaation siirtokyky on moninkertainen.

Suurimmillaan matkapuhelimen säteilemä teho voi olla 0,25 wattia 900 MHz alueella ja 0,125 wattia 1 800–2 000 MHz alueella, taulukko 9.20. Puhelimien lähettämä säteilyteho säätyy automaattisesti tukiaseman ohjaamana. Heikossa tukiaseman kentässä matkapuhelin säteilee maksimitehollaan, kun taas voimakkaassa kentässä säteilyteho laskee. GSM-puhelimilla säteilyteho voi laskea alimmillaan sadasosaan maksimitehosta.

Nykyisten matkapuhelimien säteily on pulssimaista toisin kuin ensimmäisen sukupolven analogisissa puhelimissa (NMT). Toisen sukupolven GSM-puhelimen lähete muodostuu suhteellisen säännöllisistä suorakaidepulsseista, joiden kestoaika on 0,6 ms ja toistoväli noin 4,6 ms eli huipputeho on kahdeksankertainen keskimääräiseen tehoon verrattuna. Kolmannen sukupolven UMTS-puhelimen lähete on epäsäännöllisempää, kohinamaista, mutta siinäkin huipputeho on yleensä korkeintaan kymmenkertainen keskimääräiseen tehoon verrattuna.

Poliisin, palokunnan, ambulanssien ja muiden julkisten tahojen käyttöön on kehitetty digitaalinen viranomaisverkko VIRVE, joka perustuu TETRA-järjestelmään. TETRA-puhelimet voivat olla joko kannettavia tai kiinteästi ajoneuvoihin asennettuja, jolloin antenni on sijoitettu ajoneu-

von ulkopuolelle. Puhelimen lähete on pulssimaista signaalia taajuusalueella 380–430 MHz.

DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) on digitaalinen langattoman viestinnän standardi 1 880–1 930 MHz alueella. Kannettavat DECT-puhelimet toimivat huomattavasti pienemmillä tehoilla kuin matkapuhelimet ja niitä käytetään aivan tukiasemien läheisyydessä.

## Altistuminen matkapuhelimien säteilylle

Matkapuhelimien terveyshaittoihin kohdistuva mielenkiinto on perusteltua, vaikka matkapuhelimen säteilyteho on suhteellisen pieni. Altistuminen ei ole välttämättä vähäistä, koska laite on hyvin lähellä kehoa ja kudosten paikallinen SAR voi olla lähellä väestön perusrajaa 2 W/kg. Suomen matkapuhelinliittymätiheys on myös maailman suurimpia, vuoden 2004 lopussa oli lähes viisi miljoonaa liittymää mikä merkitsee 96 liittymää 100 asukasta kohden. Osalla matkapuhelimien käyttäjistä on kuitenkin useampi kuin yksi liittymä, siten noin 3,7 miljoonalla suomalaisella oli matkapuhelin vuoden 2004 lopussa. Matkapuhelinala on Suomen kansantaloudelle tärkeä teollisuuden ala, joten sen terveysvaikutukset on syytä ennakoida hyvin suunniteltaessa langattomaan viestintään perustuvia uusia teknologioita.

Matkapuhelin säteilee joka suuntaan säteilyn vaimentuessa nopeasti etäisyyden kasvaessa. Puhelin on yleensä niin lähellä päätä, että altistuminen tapahtuu lähikentässä. Lähikenttäolosuhteista johtuen altistumista ei voi kuvata sähkö- ja magneettikentän voimakkuudella, vaan ainoat käytökelpoiset altistumissuureet ovat ominaisabsorptionopeus SAR tai sähkökentän voimakkuus kudoksessa.

Järjestelmä	Taajuus MHz	Pulssinaikainen huipputeho, W	Keskimääräinen lähetysteho, W
GSM 900	890–915	2	0,25
GSM 1 800	1 710–1 785	1	0,125
UMTS	1 920–1 980	alle 1, tyypillisesti 0,250	0,125
TETRA	380–420	1–30	0,25–7,5 (0,75)
DECT	1 880–1 930	0,08–2	0,01–0,25

**Taulukko 9.20 Matkapuhelimien lähetystaajuuksia ja tehoja**

Matkapuhelimen säteilemästä tehosta 10–90 % absorboituu käyttäjään, mikä ilmenee kudosten lämpötilan nousuna. Matkapuhelimen aiheuttama absorptio päässä riippuu monesta eri tekijästä: etäisyys antennista, säteilyteho ja taajuus vaikuttavat eniten, mutta antennin tyypillä, kotelon muodolla ja materiaalilla, puhelimen asennolla, pään ja käden anatomialla sekä kudosten sähköisillä ominaisuuksilla on merkitystä. Lisäksi pää vaikuttaa matkapuhelimen säteilyominaisuuksiin muuttamalla antennin impedanssia ja säteilykuviota.

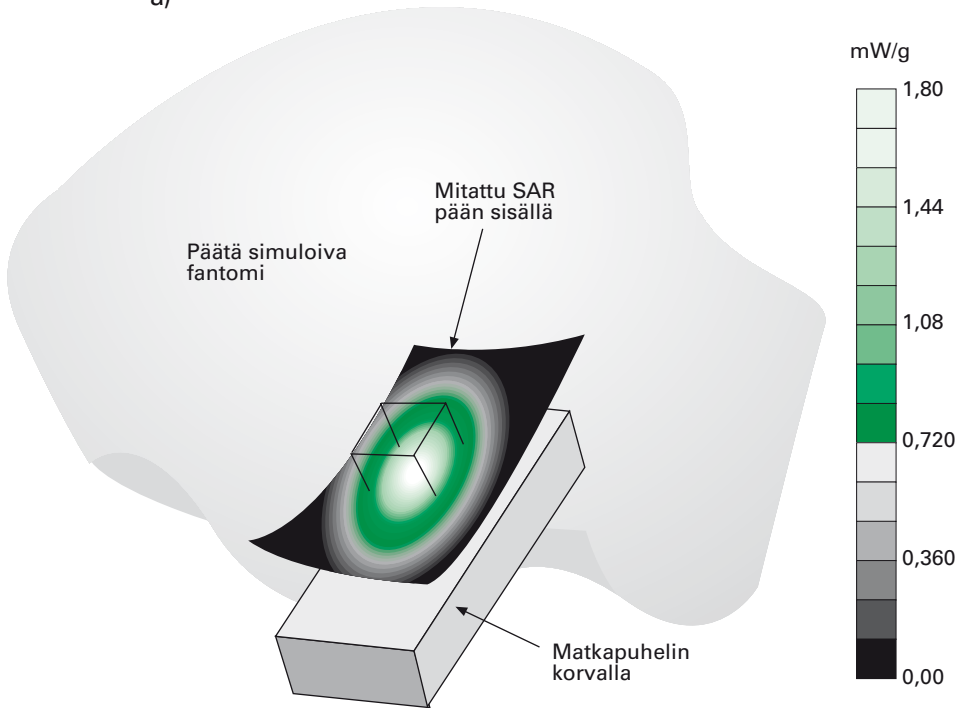
Absorption seurauksena aivojen pinnan lämpötila matkapuhelimen kohdalla nousee suurimmillaan 0,3 astetta ja ihon lämpötila vähän enemmän (kohta 4.3). Tämä kudosten lämpeneminen on niin vähäistä, ettei sillä ole fysiologista merkitystä. On kuitenkin mahdollista, että lievä lämpeneminen tai jokin muu sähkökentän suora vaikutus voi aiheuttaa pieniä tilapäisiä proteiinimuutoksia kudoksissa. Kokonaisuutena arvioiden biolääketieteelliset tutkimukset eivät kuitenkaan viittaa siihen, että matkapuhelimet aiheuttaisivat käyttäjälleen haitallisia terveysvaikutuksia kuten aivosyöpää, luku 7.

Kuvassa 9.29 on esimerkki Säteilyturvakeskuksen suorittamasta matkapuhelimen SAR-mittauksen tuloksesta. Kuvasta nähdään, että altistuminen on hyvin paikallista. Maksimi SAR käyttäjän päässä rajoittuu pienelle alalle lähelle matkapuhelimen koteloa ja vaimenee nopeasti syvemälle mentäessä. Matkapuhelimien aiheuttama keskimääräinen SAR on yleensä luokkaa 0,5–1,3 W/kg.

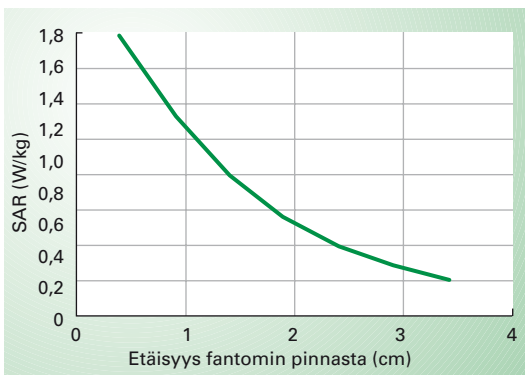
Säteilyturvakeskus valvoo markkinoilla olevien matkapuhelimien turvallisuutta tekemällä yleisimmin käytettäville malleille kansainvälisen standardin mukaisia SAR-mittauksia. Mittausmenetelmää on tarkemmin selostettu luvussa 10. Taulukossa 9.21 on esitetty tuloksia Säteilyturvakeskuksen suorittamista matkapuhelimien SAR-testauksista. Perusrajoitus 2 W/kg ei ylity, mutta valtaosalla puhelimista 1 W/kg ei ole kaukana. Valmistajien ilmoittamat SAR-arvot ovat pääosin mittausepävarmuuden ( $\pm 30\%$ ) sisällä Säteilyturvakeskuksen tuloksista.

NRPB:n tutkimusryhmän tutkimusten mukaan 1 W TETRA-puhelimen aiheuttama keskimääräinen SAR on noin 0,9 W/kg korvan kohdalla ja 0,24 W/kg kasvojen kohdalla, vastaavat arvot 3 W puhelimilla ovat 2,9 W/kg ja 0,5 W/kg. Työntekijöitä koskeva enimmäisarvo voi kuitenkin ylittyä, jos kuljettajan pää on hyvin lähellä ajoneuvon asennettua antennia. Handsfree-laitteet vähentävät käyttäjän altistumista.

a)



b)



**Kuva 9.29** Matkapuhelimen aiheuttama SAR ihmisen päästä simuloivassa homogeenisessä mittausfantomissa, joka on täytetty aivojen sähköisiä ominaisuuksia vastaavalla nesteellä.

a) SAR:n jakauma 4 mm syvyydellä fantomin sisäpinnasta. Kuvassa on esitetty myös 10 gramman (noin  $2,2 \times 2,2 \times 2,2 \text{ cm}^3$ ) kuutio, jonka keskiarvona SAR lasketaan. Tässä tapauksessa suurin 10 gramman keskiarvo oli 1,1 W/kg. Väestöä koskeva perusraja on 2 W/Kg.

b) SAR etäisyyden funktiona fantomin pinnasta maksimikohdasta

36 puhelinta	SAR, W/kg	
	STUKin mittaus	Valmistajan ilmoittama
Keskiarvo	0,72	0,74
Suurin	1,13	1,01
Pienin	0,45	0,48

**Taulukko 9.21 Säteilyturvakeskuksen ja valmistajien testaamien GSM-matkapuhelimien tehollisia SAR-arvoja**

Testattavina oli 36 GSM-tyyppistä matkapuhelinta, jotka toimivat 900 MHz ja 1 800 MHz taajuualueilla. Testaukset suoritettiin automaattisella Dasy 4 -testausjärjestelmällä standardin IEC 62209-1:2005 mukaisesti.

## Altistumisen vähentämisohteja

Nykyisen tiedon perusteella matkapuhelimien käyttö on varsin turvallista. Jos kuitenkin haluaa vähentää omaa tai läheistensä altistumista, on hyvä tietää seuraavat asiat:

- Valmistajat ilmoittavat SAR-arvon puhelimen teknisten tietojen mukana. SAR-arvoja voi vertailla myös Säteilyturvakeskuksen [www-sivuilla](http://www.sivuilla) olevaan listaan, johon STUKin testaustiedot kerätään ([www.stuk.fi](http://www.stuk.fi)).
- Pään kohdistuva säteily vähenee pieneen osaan käyttämällä hands-free-laitetta.
- Vanhempia suositellaan varmuuden vuoksi rajoittamaan lastensa matkapuhelimen puhekäyttöä. Tekstiviestiä lähetettäessä altistuminen on minimaalista.
- Pienikin väli puhelimen ja kehon välillä, esimerkiksi vyökotelo, vähentää altistumista.
- Heikossa tukiaseman kentässä samoin kuin muodostaessaan yhteyttä matkapuhelimen voi säteillä sata kertaa voimakkaammin kuin hyvässä kentässä.
- Niin sanotuista kännykkäsuojista ei ole suurta hyötyä. Pieni säteilyn vaimentuminen voi kompensoitua sillä, että matkapuhelin nostaa tehoa, kun yhteys tukiasemaan heikkenee suojan takia.

## 9.14 | Matkapuhelimien tukiasemat

Matkapuhelimien tukiasemien säteilytehot ovat tyypillisesti muutamia kymmeniä watteja ja suurimmillaankin noin 30 W eli korkeintaan tuhannesosa ULA- ja TV-asemien säteilytehosta. Laajin peittoalue (alle 20 km) on makrosoluasemilla, joiden antennit on yleensä sijoitettu korkeaan

mastoon tai katolle (kuva 9.30). Mikrosoluasemat paikkaavat taajamissa katvealueita alle kilometrin säteellä ja antennit asennetaan rakennusten seinille. Pikosoluasemien säde on alle 100 m ja ne on monesti asennettu rakennusten sisälle. Pikosolujen tehot ovat yleensä alle 0,25 W eli samaa luokkaa kuin matkapuhelimen lähetysteho, taulukko 9.22.

## Altistuminen

Tukiasemien antennit on asennettu niin, että väestön altistuminen jää Säteilyturvakeskuksen mittausten mukaan vähäiseksi sellaisilla alueilla, joihin on mahdollista päästä. Suurin asunnossa mitattu tehotiheys on ollut noin sadasosa väestöä koskevista enimmäisarvoista, jotka ovat 4,5 W/m<sup>2</sup> taajuudella 900 MHz ja 9 W/m<sup>2</sup> taajuudella 1 800 MHz. Tyypilliset altistumistasot ovat 1/100 000–1/10 000 osa enimmäisarvosta, taulukko 9.23.

Perinteiset ULA- ja TV-asemat vaikuttavat yhtä merkittävästi radiotaajui- seen taustasäteilyyn, kun etäisyys tukiasemasta on yli 200 metriä. Jos- kus esitetään, että tukiasemien ja radioasemien säteilyn vaarallisuutta lisääsi se, että ne ovat jatkuvasti päällä, kun taas esimerkiksi matkapuhe- limeen puhutaan vain silloin tällöin. Biolääketieteellinen tutkimus ei kui- tenkaan ole antanut pienintäkään viitettä siitä, että tyypillisillä taustasä-

	<b>Makrosolu</b>	<b>Mikrosolu</b>	<b>Pikosolu</b>
Toimintasäde	alle 20 km	200–1 000 m	alle 100 m
Lähetysteho	10–30 W	5 W	0,25–1 W
Antenni	katoilla	rakennusten sivuilla	sisäkatoissa, seinillä
Käyttöalue	taajama, maaseutu	kaupunki	tiivis kaupunkirakentaminen, rakennusten sisätilat

**Taulukko 9.22** Tukiasemien tyypillisiä lähetystehoja

	<b>Säteilyteho, W</b>	<b>Altistumisen suhde enimmäisarvoon, 10 W/m<sup>2</sup></b>
GSM-tukiasema: antenni seinän takana	5	0,01 (mitattu maksimi) 0,000 1 (tyypillinen tulos)
GSM-tukiasema: antenni mastossa	30	0,000 4 (pääkeilassa 200 m etäisyydellä) 0,000 4 (muissa suunnissa 30 m etäisyydellä)
UMTS-tukiasema: antenni mastossa	10	0,000 1 (pääkeilassa 200 m etäisyydellä) 0,000 1 (muissa suunnissa 30 m etäisyydellä)

**Taulukko 9.23** Tukiasemien aiheuttamia altistumistasoja



teilyn tasoilla solut voisivat tunnistaa säteilyn ja reagoida siihen. Väestön altistumisen kannalta ylivoimaisesti merkittävin RF-säteilyn lähde on korvan vieressä oleva matkapuhelin.

## Tukiasema-antennien asennuskäytäntö

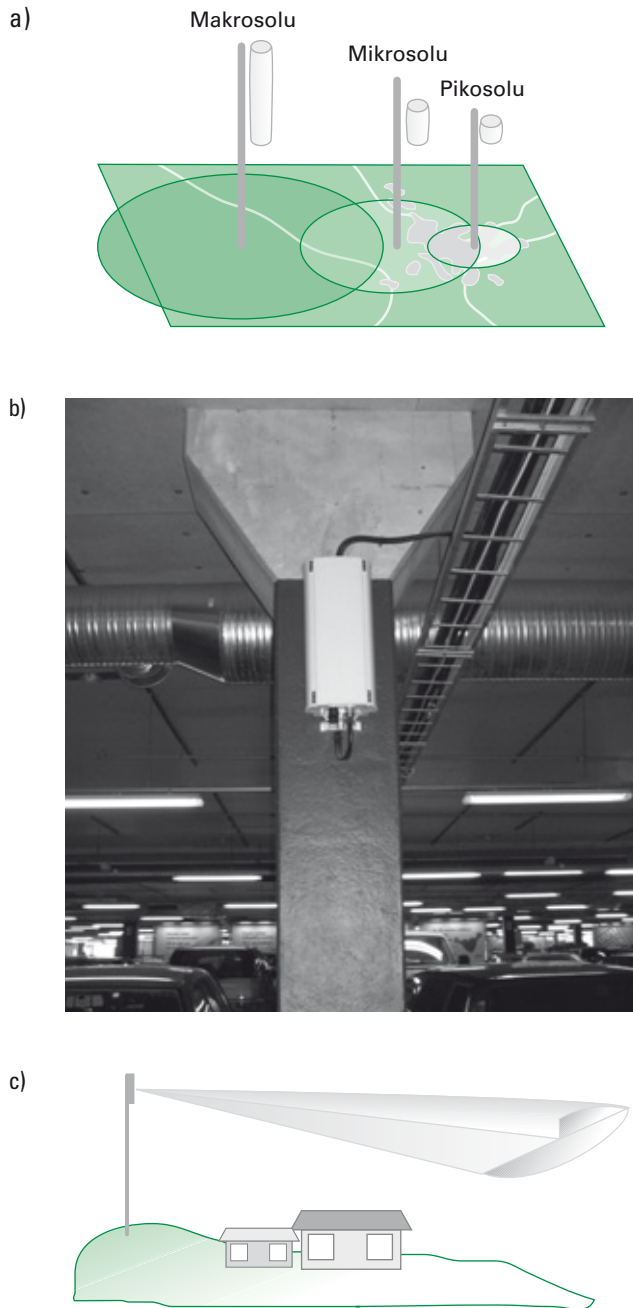
Matkapuhelimien tukiasemien yleistymisen on lisännyt kansalaisten huolta asennuskäytännöstä. Sekä operaattoreille että Säteilyturvakeskukselle on tullut kansalaisilta palautetta matkapuhelimien tukiasemien asennuksista ja niiden sijainnista.

Taajamissa tukiasemien antennit asennetaan yleensä asuintalojen katolle ja ulkoseinille. Asukkaat ovat usein huolissaan antennien lähettämän säteilyn vaikutuksista. Huolta saattaa aiheuttaa se, että antenni on asennettu lähelle ikkunaa, vastakkaiselle seinälle tai lähelle parvekettä. Kyselyitä tulee usein uuden tukiaseman asentamisen jälkeen; varsinkin, jos asukkaalle ei ole asiasta kerrottu riittävän perusteellisesti.

Säteilyturvakeskuksen suositus on, että tukiasema on sijoitettava niin, että altistuminen sellaisissa paikoissa, joihin yleisöllä on vapaa pääsy, on vähäistä verrattuna enimmäisarvoihin. Katolla sijaitsevan tukiasema-antennin lähellä työskenneltäessä on huolehdittava siitä, että altistuminen ei ylitä työsuojelurajoja. Altistuminen voi ylittää ammatillisen altistumisen toiminta-arvon antennin etupuolella, kun etäisyys antenniin on alle kolme metriä (22,5 W/m<sup>2</sup> taajuudella 900 MHz ja 45 W/m<sup>2</sup> taajuudella 1 800 MHz). Muissa suunnissa turvaetäisyys on alle yhden metrin. Myös dosimetriset mittaukset ja laskelmat viittaavat siihen, että ammatillisen altistumisen raja-arvo (0,4 W/kg koko keho ja 10 W/kg paikallisesti) voi ylittyä alle metrin etäisyydellä antennin edessä. Työturvallisuuden varmistamiseksi antenni tulisi varustaa turvaetäisyyden ilmoittavalla kilvellä.

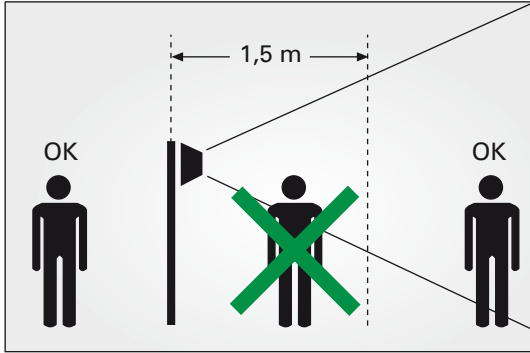
Asennusten yleisperiaatteet altistumisen kannalta:

- Väestön altistumisen enimmäisarvot ovat sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen (294/2002) 6 §:ssä ja liitteessä 7 säädetyn mukaiset. Antennien sijoittelun ja suunnittelun lähtökohtana tulee olla, että väestön altistuminen pidetään selvästi enimmäisarvojen alapuolella.
- Antenni tulee, mikäli mahdollista, sijoittaa siten, että siihen ei voi koskettaa esimerkiksi ikkunasta tai parvekkeelta.
- Työntekijöille asetetut radiotaajuisten säteilyaltistuksen enimmäisarvot on myös otettava huomioon. Jos toiminta-arvo saattaa ylittyä yli metrin etäisyydellä antennista, tulee antenni varustaa turvaetäisyyden ilmoit-



**Kuva 9.30 Matkapuhelimien tukiasema-antenneja**

- a) Makrosolu, mikrosolu ja pikosolu muodostavat toisiaan täydentävän järjestelmän.  
 b) Valokuva mikrosolun asennuksesta.  
 c) Antennin viuhkamainen säteilykeila, joka lähtee antennista hieman alaspäin kallistuneena ja on pystysuunnassa kapea ja vaakasuunnassa leveä.



Kuva 9.31 Esimerkki turvaetäisyyden ilmoittavasta kilvestä

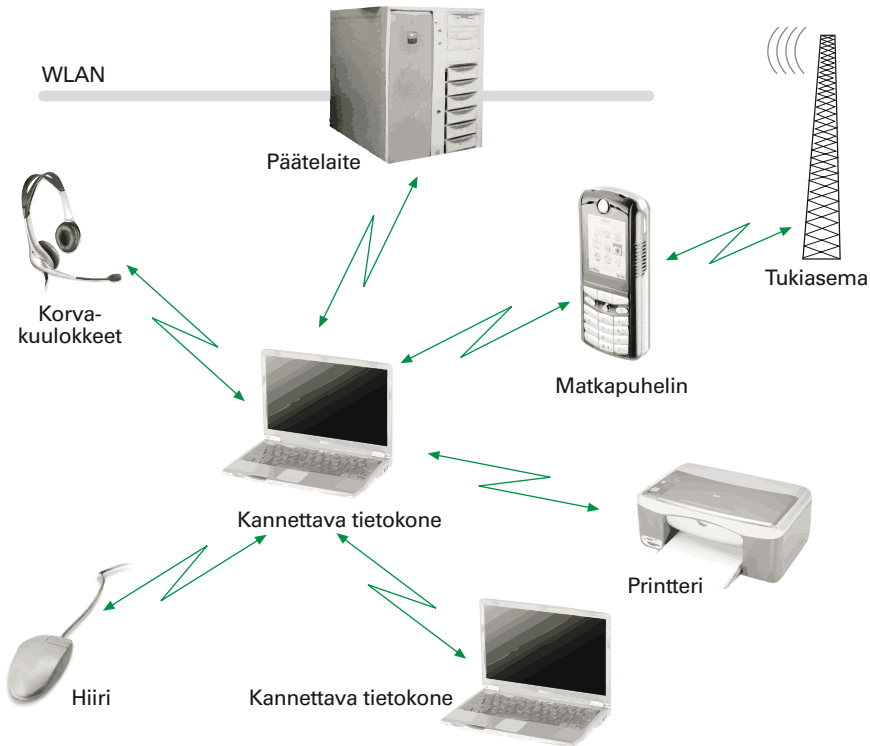
tavalla kilvellä. Esimerkki tällaisesta kilvestä on kuvassa 9.31. Kilpeä ei tarvitse kiinnittää sellaiseen antenniin, jonka läheisyyteen ei helposti pääse. Tällaisia antennia ovat muun muassa useimmat seinään ja korkealle mastoon asennetut antennit.

## 9.15 | Langattomat verkot

Uusia radiotaajuuden säteilyn lähteitä elinympäristössämme ovat langattomat lähiverkot kuten WLAN, RLAN ja Bluetooth. Nämä lyhyen kantaman radiolähetimet ovat viime vuosina yleistyneet ja korvanneet tiedonsiirtokaapeleita useissa eri sovelluksissa. Kaapeliyhteyden korvaaminen lyhyen kantaman langattomilla yhteyksillä esimerkiksi matkapuhelimien handsfree-laitteissa ja peliohjaimissa on saavuttanut suuren suosion. Tietokoneiden langaton lähiverkko on myös yleistynyt nopeasti, kuva 9.32.

Langattomat verkot ovat yleensä lyhyen kantaman verkkoja rajatun läheystehonsa takia. Kantomatka on yleensä muutamasta metristä muutamaan kilometriin. Käytetyt taajuusalueet vaihtelevat aina välillä 2,4–17 GHz sovelluksesta riippuen. WLAN ja RLAN toimivat 2,4 GHz ja 5,4 GHz taajuusalueella, Bluetooth toimii 2,4 GHz taajuusalueella, HiperLAN toimii 5,4 GHz ja 17 GHz taajuusalueella ja RFID-laitteet toimivat tyypillisesti taajuuksilla 125 kHz, 13,56 MHz, 868–915 MHz, 2,45 ja 5,4 GHz. Tekniikoiden ja standardien kirjo on tällä alueella suuri, katso taulukko 9.24.

Langattoman lähiverkon päätelaitteiden aiheuttama altistuminen on vähäistä, koska laitteiden käyttö on suhteellisen lyhytaikaista ja laite säteilee vain lähettäessään tietoa tai puhetta. Langattomien päätelaitteiden



**Kuva 9.32 LAN (Local Area Network) eli lyhyen kantaman verkon sovelluksia**

den säteily vaimenee nopeasti etäisyyden kasvaessa laitteista. Yleisesti voidaan sanoa, että laitteiden aiheuttama altistuminen jää väestöä koskevien enimmäisarvojen alapuolelle, taulukko 9.24. Esimerkiksi WLAN-päätelaitteella varustetun sylimikron (teho alle 0,1 W taajuudella 2,4–2,5 GHz) käyttäjälleen aiheuttama paikallinen altistuminen on arviolta kymmenesosa väestön altistumisen enimmäisarvosta  $10 \text{ W/m}^2$ .

Viestintäviraston luvalla voidaan perustaa laajemman toimintasäteen (noin 10 km) langattomia lähiverkkoja, jotka käyttävät suurempia tehoja (aina 1 W asti). Suuntaavat tukiasema-antennit asennetaan korkealle mastoon tai rakennuksen katolle näköyhteyden saamiseksi kotitietokoneen asiakaspääteeseen kaapelilla kytkettyyn suuntaavaan antenniin, joka asennetaan mahdollisimman korkealle talon ulkoseinälle. Väestön altistumisen enimmäisarvot voivat ylittyä alle metrin etäisyydellä antennin etupuolella, johon ei väestön kuitenkaan ole mahdollista päästä.

	Sovellusalue	Kantama	Säteilyteho	Altistumisen suhde enimmäisarvoon	
WLAN <sup>1</sup>	tietokoneiden langaton lähiverkko varasto- ja tavaran käsittelyjärjestelmät	100–200 m	100 mW – 1 W	0,1 0,001 0,000 01	WLAN-päätelaitteella varustettu sylimikro reisien päällä WLAN-tukiasema 1 m etäisyydellä WLAN-tukiasema 10 m etäisyydellä
RLAN	tietokoneiden langaton lähiverkko		200 mW – 1 W		
Bluetooth <sup>2</sup>	äänen ja datan siirto handsfree-kuulokkeet, langattomat näppäimistö ja hiiret, peliohjaimet	100 m (1 lk) 20 m (2 lk) 10 m (3 lk)	100 mW 2,5 mW 1 mW	0,001	Bluetooth-laite 1 m etäisyydellä
HiperLAN	tietoverkko	50 m	25–100 mW		
RFID	teollisuus, varasto- ja tavaran käsittelyjärjestelmät		100 mW – 4 W		
UWB	sotilaskäyttö erittäin nopea tiedonsiirto kuluttajaelektronikka	2–10 m	100–250 mW		
ZigBee	lyhyen kantaman datasiirto	10–100 m	0,5 mW		

<sup>1</sup> IEEE Std 802.11a, <sup>2</sup> IEEE Std 802.15.1

#### Taulukko 9.24 Langattomien lähiverkkojen tehotasoja

WLAN- ja bluetooth-sovelluksista on esitetty tyypillisiä altistumistasoja, joille käyttäjä voi altistua.

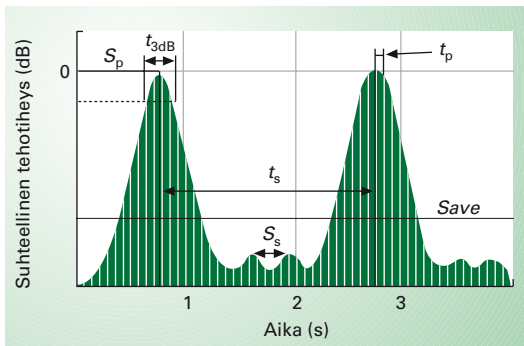
## 9.16 Tutkat

### Tekniikka ja säteilyominaisuudet

Tutka on laite, joka lähettää radioaaltoja kohteiden havaitsemiseksi ja paikantamiseksi heijastusten avulla. Kiinteästi asennettuja tutkajärjestelmiä käytetään eniten ilma- ja merivalvontaan, mutta tärkeä sovellus on myös sade- ja pilvialueiden mittaaminen ja seuranta säätötukan avulla. Liikkuvia tutkia on lentokoneissa ja laivoissa sekä monenlaisissa sotilaallisissa sovelluksissa ilmavalvonnassa ja ilmatorjunnassa. Altistuminen tutkasäteilylle on ongelma pääasiassa vain sellaisilla työpaikoilla, joilla tutkia käytetään, asennetaan tai huolletaan. Vain harvoin tutkan säteilykeila ulottuu sellaisille alueille, joilla voi oleskella muuta väestöä.

Useimmat tutkat toimivat mikroaaltotaajuuksilla 1–20 GHz. Eniten käytetään 3 GHz ja 9 GHz taajuusalueita. Tutkalähettimien tuottama mikroaaltosäteily koostuu usein hyvin lyhyistä pulsseista (kesto 0,1–30 ms), joiden teho on hyvin suuri, jopa 2 megawattia, katso kuva 9.33. Pulssien toistojakso (1–10 ms) on kuitenkin pulssien keston verrattuna pitkä, mikä vähentää suuresti keskimääräistä tehoa. Lähettimen toimintasuhde eli keskimääräisen tehon suhde pulssitehoon on tyypillisesti välillä 1/10 000–1/1 000. Lähetin on suljettu metallikotelolla, jonka läpi ei tavallisesti pääse työturvallisuuden kannalta merkittävää hajasäteilyä. Lähetin voi olla sijoitettuna kiinteään lähetinhalliin, liikuteltaviin kontteihin, ajoneuvoihin, ilma-aluksiin ja laivoihin.

Suuritehoisten tutkien antennit ovat usein peiliantenneja, joissa pieni antenni syöttää mikroaallot säteitä kollimoivalle eli yhdensuuntaistavalle heijastinpinnalle. Myös antenniryhmät ovat yleisiä. Tutka-antenneille on ominaista, että teho suuntautuu kapeaan ja usein viuhkamaiseen säteilykeilaan. Suurtehoisen ilmavalvonta-antennin tyypillinen keilanleveys on yksi aste vaakatasossa ja kolme astetta pystytasossa. Antenni liikkuu niin, että säteilykeila seuraa kohdetta tai keilaa tiettyä sektoria vaaka- tai pystytasossa. Esimerkiksi valvontatutkan antenni pyörähtää normaalisti ympäri useita kertoja minuutissa (keilaussektori 360 astetta). Antennin säännöllinen keilausliike pienentää keskimääräistä tehotiheyttä, koska pääkeilan ulkopuolella emittoituu vain hyvin heikkoa hajasäteilyä.



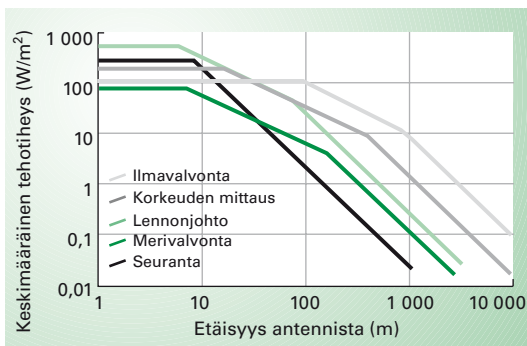
**Kuva 9.33 Keilaavan pulssitutkan tehotiheyden vaihtelu lähellä antennia**

Tutkasäteily tulee kapeina pulsseina, jotka näkyvät kuvassa erillisinä viivoina (pulsshiväli  $t_p$ ). Pääosa säteilyenergiasta tulee pääkeilan pyyhkäisyajana ( $t_{3dB}$ ), muulloin esiintyy heikkoa hajasäteilyä. Pulssimaksimi  $S_p$  esiintyy pääkeilan pyyhkäisyajana. Keilausjakson  $t_s$  aikana esiintyy pienempiä huippuja, jotka liittyvät sivukeiloihin. Lähellä antennia esiintyvässä säteilylähikentässä säteily hajoaa laajempaan avaruuskulmaan eikä pääkeila ole yhtä hyvin muodostunut kuin kaukokentässä, katso luku 10. Keskimääräinen tehotiheys keilausjakson aikana on  $S_{ave}$ .

Keilaavan pulssitutkan säteilykentässä pulssin aikainen huipputehotiheys  $S_p$  voi olla helposti 100 000 kertaa (50 dB) suurempi kuin keskimääräinen tehotiheys. Tällaisissa altistumistilanteissa on kudosten lämpenemisen ohella huomioitava pulssivaikutukset, joista tärkein on mikroaaltopulssien aiheuttamat kuuloaistimukset (katso luvut 4 ja 8). Keskimääräisen tehotiheyden lisäksi on rajoitettava pulssin energiatiheyttä, joka saadaan kertomalla pulssitehotiheys pulssinkestolla.

Luvussa 10 on esitetty miten lähettimen ja antennin teknisistä tiedoista voidaan arvioida tutkapulssien teho- ja energiatiheysiksi. Laskentamalli on kehitetty Säteilyturvakeskuksessa ja se on tarkistettu mittaamalla. Mallin avulla voidaan arvioida pääkeilan tehotiheyttä aina muutaman metrin etäisyydelle asti sekä myös sivukeilojen säteilytasoa kaukokentässä.

Kuvassa 9.34 on esitetty miten keskimääräinen tehotiheys muuttuu tutka-antennin pääkeilassa etäisyyden funktiona. Keskimääräisen tehotiheyden viitearvot työntekijöille ja väestölle ovat  $50 \text{ W/m}^2$  ja  $10 \text{ W/m}^2$ , jotka ovat voimassa yli 2 GHz taajuudella. Pulssienergian tiheyden viitearvot  $20 \text{ mJ/m}^2$  ja  $100 \text{ mJ/m}^2$  voidaan arvioida dosimetrisesti ICNIRPin perusrajausta ominaisabsorptiolle (SA), joka on  $10 \text{ mJ/kg}$  työntekijöille ja  $2 \text{ mJ/kg}$  koko väestölle, katso kohta 8.2.



**Kuva 9.34 Tutkapulssi antennin pääkeilassa**

Tutkapulssin keskimääräinen pulssitehotiheys ja erityyppisten tutkien pääkeilassa. Muissa suunnissa on sivukeiloja, jotka ovat yleensä korkeintaan -30 dB (1/1 000) pääkeilan säteilytasosta. Antennin liike pienentää voimakkaasti keskimääräistä tehotiheyttä. Lähi-kentässä säteily asetuu usein vakiotasolle, väestöraja ylittyy herkästi vielä 100 metrin päässä tutkasta. Keskimääräisen tehotiheyden lisäksi on rajoitettava pulssin energiatiheyttä, joka saadaan kertomalla pulssitehotiheys pulssinkestolla.

Kuvista nähdään, että joissakin tapauksissa viitearvot voivat ylittyä jopa kilometrin etäisyydellä. Kaukokentässä säteilytaso kasvaa lähestyttäessä antennia, mutta lähikentässä säteily asettuu usein vakiotasolle, koska antennin eri osista tulevat aallot eivät enää summaudu samassa vaiheessa. Suurtehotutkien syöttöantennin ja heijastimen välissä voi esiintyä niin voimakasta säteilyä, että kudosten lämpövaurio kuten palovamma tai harmaakahi voi syntyä lyhyessä ajassa.

## Turvallisuusohjeet

STUK on laatinut suuritehoisia pulssitutkia koskevan säteilyturvallisuusohjeen (ST 9.2), jossa esitetään ohjeita altistumisen arvioimiseksi ja varotoimenpiteiksi. Pääasiassa työsuojelua koskevat varotoimenpiteet on esitetty seuraavassa:

- Luotettavilla mittauksilla ja mallilaskelmilla on määriteltävä säteilyalueet, joilla työntekijöitä koskevat toiminta-arvot ylittyvät.
- Pääsy säteilyalueille estetään tai alue merkitään radiotaajuisesta säteilystä varoittavilla kilvillä. Erityisesti on huolehdittava siitä, että tutkaantennin pääkeila ei osu maahan, rakennuksiin tai paikkoihin, joihin voi helposti päästä. Jos tämä ei ole mahdollista, säteilyteho on katkaistava pääkeilan suuntautuessa kyseisiin paikkoihin.
- Jos antennin edessä joudutaan työskentelemään, on säteilyteho katkaistava. Erityisen vaarallista on oleskella säteilevän syöttöantennin läheisyydessä.
- Kun työskennellään tutkalähtetimen sisällä tai kun suojaovet ovat auki, säteilyteho ja tarvittaessa myös sähköteho on katkaistava, mikäli mahdollista.
- Lähettimen ja siirtolinjojen vuotosäteily mitataan ja havaitut vuotokohdat tiivistetään. Jos vuotosäteily ylittää 15 cm etäisyydellä arvon  $5 \text{ W/m}^2$ , vuotokohdat ja turvaetäisyys on merkittävä laitteeseen. Merkinnästä on tarvittaessa käytävä ilmi etäisyys, jonka ulkopuolella vuotosäteilyn keskimääräinen tehotiheys on pienempi kuin toiminta-arvo.
- Sähköiskujen välttämiseksi on varottava työntästä mitään kehon osaa, työkaluja tai säteilymittaria liian lähelle suojaamattomia suurjännitteisiä lähettimen osia. Sähköturvallisuusmääräysten mukaiset turvaetäisyydet on tunnettava ja niitä on noudatettava.
- Ennen mikroaaltotehon kytkemistä on varmistettava, että lähettimestä antenniin johtavien siirtolinjojen sekä niihin liittyvien aaltoputki- tai koaksiaalikomponenttien liittimet on kiristetty kunnolla. Erityisen tärkeätä on välttää syöttämästä mikroaaltotehoa aaltoputkeen, jonka toinen pää on avoin.



## 9.17 | Mikroaaltouunit

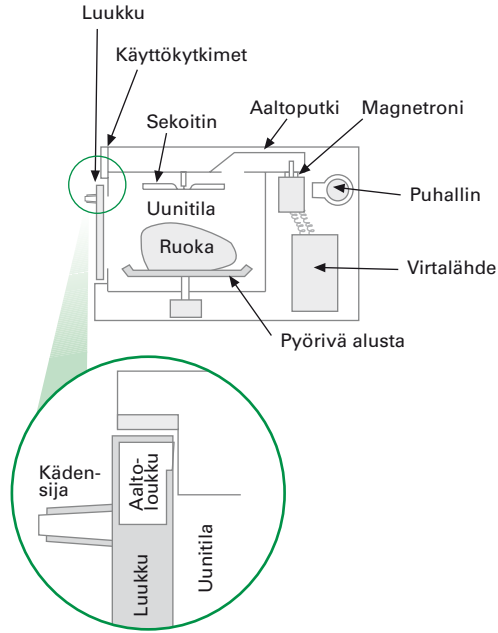
Mikroaaltouuneissa käytetään radioaallon tehoa ruoan sulattamiseen, lämmittämiseen ja kypsentämiseen. Kohdatessaan vesipitoisen materiaalin mikroaallot saavat siinä olevat vesimolekyylit värähtelemään, jolloin molekyylien välinen kitka lämmittää materiaalia. Mikroaallot lämmittävät veden lisäksi myös öljyä, sokeria ja valkuaisaineita.

Mikroaaltouunit toimivat 2 450 MHz taajuudella ja niiden mikroaaltotehot vaihtelevat 500–1 000 W välillä. Mikroaaltouunin tärkeimmät osat ovat virtalähde, mikroaaltotehon synnyttävä magnetroniputki, uunitila ja luukku turvakytkimineen. Mikroaallot johdetaan aaltoputken välityksellä uunitilaan, jossa ne heijastelevat johtavista seinistä ja absorboituvat lämmitettävään ruoka-annokseen. Jos uunissa ei ole mikroaaltotehoa absorboivaa kuormaa, niin aallot heijastuvat takaisin aaltoputkeen eikä vuotosäteily lisäänty merkittävästi. Lämpötunnistimet katkaisevat virran ennen kuin mikroaaltoteholähde alkaa vaurioitua.

Säteilyturvallisuuden kannalta keskeisiä osia ovat luukku ja siihen liittyvät turvakytkimet. Nykyiset laitenormit edellyttävät, että uunissa on ainakin kaksi toisistaan riippumatonta turvakytkintä, jotka katkaisevat mikroaaltotehon välittömästi, kun luukku avataan. Vastaavasti turvakytkimet estävät mikroaaltotehon kytkeytymisen luukun ollessa auki. Tiedossa ei ole yhtään tapausta, jossa molemmat turvakytkinjärjestelmät olisivat petäneet ja mikroaallot olisivat päässeet säteilemään aukinaisesta luukusta. Tällainen tilanne olisikin varsin vaarallinen, sillä lämpötila voi nousta uunin sisällä olevassa kädessä muutamassa kymmenessä sekunnissa vaarallisen korkealle. Uunin sisällä ja luukun tasossa tehotiheys voi olla helposti yli 10 000 W/m<sup>2</sup>.

Mikroaaltovuotojen estämiseksi magnetroni ja uunitila luukku lukuun ottamatta on ympäröity mikroaaltoja läpäisemättömällä metallikotelolla. Luukun ikkunassa käytetään läpinäkyvää metalliverkkoa tai rei'itettyä metallilevyä, joka vaimentaa tehokkaasti säteilyä. Ajan mittaan uunia käytettäessä tiivisteet kulumat ja vuotosäteily lisääntyy hieman. Vuotosäteilyä vähennetään aaltoloukulla, joka on luukun sisäpinnassa sijaitseva noin sentin levyinen ja syvyinen ura. Aaltoloukun ansiosta luukun sisäpinnan ja karmin välisestä raosta ulos pyrkivät mikroaallot heijastuvat takaisin uunitilaan, kuva 9.35.

Mikroaaltouunin vuotosäteily kohdistuu yleensä uunia lähimpänä oleviin vartalon osiin, kuten käsiin ja keskivartaloon. Ihmiseen kohdistuvasta



**Kuva 9.35 Mikroaaltouunin rakenne**

- a) Uunin rakenne  
 b) Luukun rakenne ja siinä sijaitseva aaltoloukku. Aaltoloukun ansiosta luukun sisäpinnan ja karmin välisestä raosta ulos pyrkivät mikroaallot heijastuvat takaisin uunitilaan.

mikroaaltosäteilystä noin puolet muuttuu kehossa lämmöksi ja puolet heijastuu takaisin. Etäisyys uunista vaikuttaa oleellisesti vuotosäteilyn tehottiheyteen. Jos tehottiheys on 5 cm etäisyydellä  $50 \text{ W/m}^2$ , se on puolen metrin etäisyydellä  $0,5 \text{ W/m}^2$  ja metrin etäisyydellä teho on jo pienentynyt  $0,13 \text{ W/m}^2$  tasolle. Suurimmalla osalla käytössä olevista uuneista vuotosäteilyn tehottiheys 5 cm etäisyydellä on selvästi pienempi kuin suurin sallittu tehottiheys  $50 \text{ W/m}^2$ .

Voimakkaan mikroaaltosäteilyn voi aistia lämmön ja kivun tunteena; tuntokynnys on noin  $300 \text{ W/m}^2$  ja kipukynnys noin  $10\,000 \text{ W/m}^2$ . Lämpöä aistivat solut ovat kuitenkin vain ihon pinnalla ja koska mikroaallot lämmittävät myös ihonalaisia kudoksia, palovammoja voi syntyä ennen kuin kipu varoittaa. Alin taso, jolla paikallisen mikroaaltostuksen tiedetään selvästi vahingoittavan kudoksia, on noin  $1\,000 \text{ W/m}^2$ .

Tähän mennessä ei ole ilmennyt yhtään luotettavasti raportoitua tapaus-ta, missä mikroaaltouunin käyttäjä olisi saanut mikroaaltosäteilystä palovammoja. Mikroaaltosäteilylle altistumisesta aiheutuvia terveyshaittoja ei ole voitu todeta sellaisillakaan työntekijöillä, jotka työssään käyttävät paljon mikroaaltouunia. Laitteita huollettaessa on kuitenkin syytä olla huolellinen. Suomessa on raportoitu tapauksesta, jossa huoltomies sai

voimakasta lämmittävää mikroaaltosäteilyä vatsan alueelle. Siitä ei kuitenkaan onneksi aiheutunut pysyviä vammoja.

Mikroaaltouunin käytössä on kuitenkin hyvä muistaa seuraavat asiat:

- Kolhiintunut tai lonksuva luukku on aina hyvä tarkistuttaa.
- Pidä uuni sekä tiivisteet puhtaina ja ehjinä.
- Älä käytä uunia tyhjänä äläkä nojaa uuniin.

Uunin käyttäjä voi joskus säikähtää avatessaan uunin kesken lämmityksen. Uunin sisältä tuleva tuulettimen hurina ja uunissa olevan lämpimän ilman ja vesihöyryn aiheuttama lämmöntunne kädessä voi harhauttaa luulemaan, että mikroaaltoteho onkin jäänyt päälle.

## 9.18 | Mikroaaltokuivurit

Mikroaaltokuivausta käytetään kosteiden betoni- ja tiilirakenteiden kuivaukseen. Menetelmä perustuu mikroaaltoenergian ominaisuuteen imeytyä tehokkaasti vesipitoisiin aineisiin ja muuttua niissä lämpöenergiaksi. Lämmön vaikutuksesta vesi höyrystyy ja poistuu rakenteesta ulos. Kuivaus kestää tyypillisesti muutaman päivän.

Jos turvatoimet ovat puutteellisia kuivauksen aikana, mikroaaltosäteilylle voivat altistua laitteistoa käyttävä työntekijä, kuivattavassa kiinteistössä asuva tai muu sivullinen. Mikroaaltotehot ovat varsin suuria, tyypillisesti 1 kW taajuudella 2 450 MHz. Vaarallisuudeltaan mikroaaltokuivuri on rinnastettavissa auki olevaan mikroaaltouuniin, jonka aukinaisesta luukusta teho pääsisi esteettä ulos.

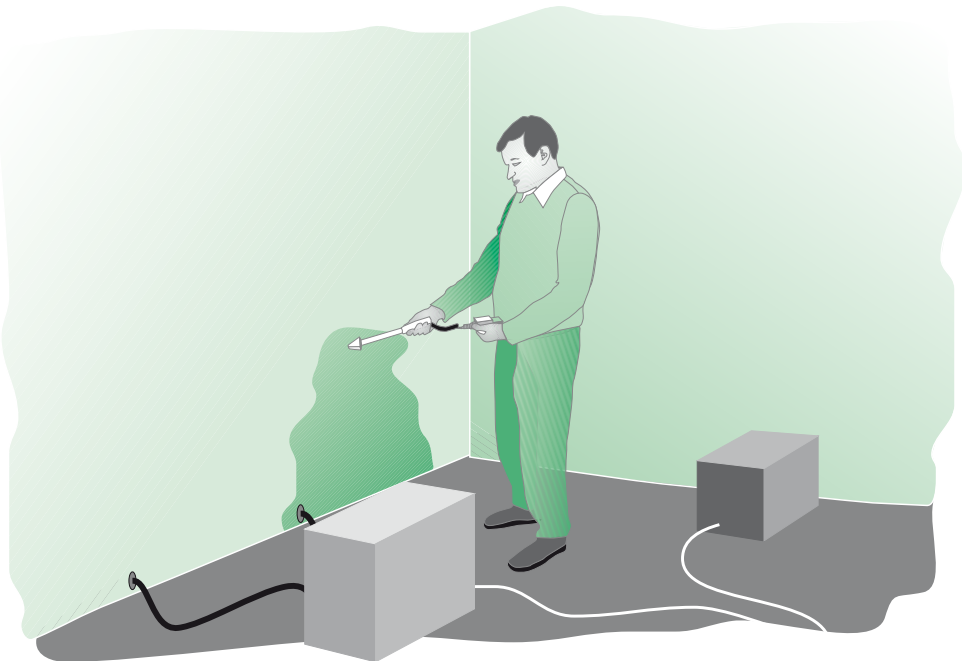
### Tekniikka

Kuivureita on kahta tyyppiä: tasokuivuri ja antennikuivuri. Tasokuivuri muodostuu yhdestä tai useasta erillisestä kuivainyksiköstä, kuva 9.36. Usein käytetään yhtä aikaa kolmea tai neljää vierekkäistä kuivainyksikköä. Jokaisessa kuivainyksikössä on samantapainen magnetronityyppinen tehoputki kuin mikroaaltouunissa. Mikroaaltoteho ohjataan avoimesta aukosta kuivattavaan kohteeseen. Mikroaaltoteho pyritään jakamaan mahdollisimman tasaisesti aukkoon, jonka tyypillinen pituus on 110–420 mm ja leveys 55–305 mm. Tasokuivuri pyritään aina asettamaan niin, että säteilyaukko on suoraan lattian päällä tai seinää vasten.

Antennikuivuri koostuu erillisestä mikroaaltoteholähteestä, siitä lähtevästä koaksiaalikaapelista sekä kaapelin päässä olevasta noin 3 cm pituisesta sauva-antennista. Antenni työnnetään betoniseinään porattuun reikään, jossa se levittää mikroaaltotehoa ympäröivään betoniin. Antennikuivuria käytetään erityisesti paksujen (yli 30 cm) seinien kuivatukseen.

## Altistuminen

Tasokuivurin säteily on vaarallisen voimakasta säteilyaukon lähellä. On tärkeää, että laite on mahdollisimman tiukasti kuivattavaa pintaa vasten. Monissa tasokuivureissa on rajakytkin, joka sammuttaa mikroaaltotehon, kun laite irtoaa pinnasta. Tasokuivurit aiheuttavat myös sivulle ja taakse



**Kuva 9.36 Tasokuivuri kuivaustilanteessa**

Kuvan tilanteessa on kaksi erillistä magnetroniyksikköä kuivaamassa lattiaa. Väestön ja työntekijöiden säteilyvaara-alue määritetään luotettavalla mikroaaltosäteilymittarilla.

suuntautuvaa hajasäteilyä. Hajasäteily lisääntyy, kun rako säteilypinnan ja kuivattavan pinnan välillä kasvaa.

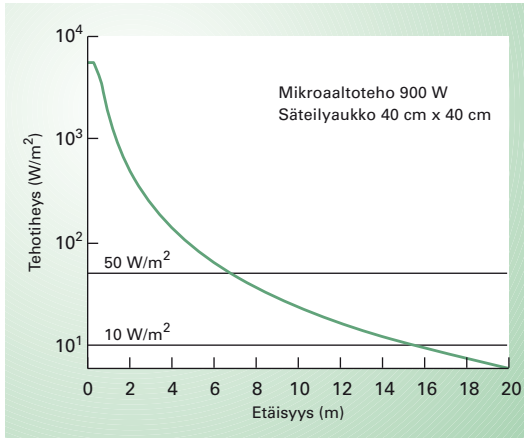
Antennikuivurin säteily on yleensä yli 20 cm etäisyydellä antennista huomattavasti heikompaa kuin tasokuivurin säteily. Samoin sivulle ja taakse suuntautuva hajasäteily on usein vähäisempää. Toisaalta lähietäisyydellä säteily on hyvin voimakasta ja esimerkiksi koskettaminen antenniin voi aiheuttaa pahan palovamman ennen kuin koskettaja ehtii reagoida lämmöntunteeseen.

Rakennusmateriaalit vaimentavat merkittävästi säteilyä. Mitä paksumpi ja kosteampi on seinä sitä enemmän säteily vaimenee. On hyvin tärkeää ottaa huomioon, että kuivumisen edistyessä säteily lisääntyy seinän takana ja lattian alla. Tällöin seinän takana tai lattian alapuolella oleva alemman kerroksen asukas voi altistua vähitellen suuremmalle säteilylle. Mikroaaltokuivureita käytettäessä on otettava huomioon myös mahdollinen sydämentahdistimen häiriintymisvaara.

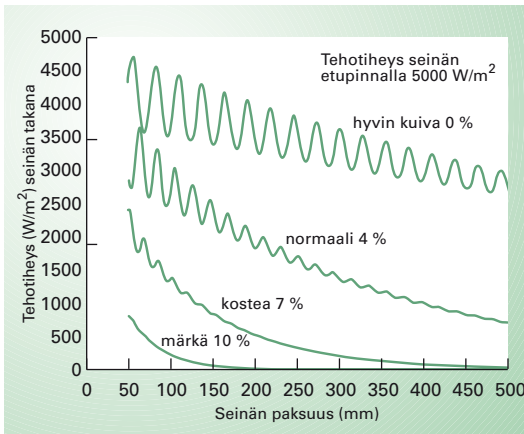
Tasokuivurin aiheuttaman mikroaaltosäteilyn tehotiheys voidaan laskea suhteellisen helposti aukon edessä, kun säteilyteho, aukon mitat sekä seinän paksuus ja sähköiset ominaisuudet ovat tiedossa. Kuvassa 9.37 on esitetty tyypillisen tasokuivurin aiheuttaman mikroaaltosäteilyn voimakkuus säteilyaukon edessä samassa huoneessa ja seinän takana. Aukossa tehotiheys on yli 5 000 W/m<sup>2</sup> eli vaarallisen voimakasta. Noin 1,5 m etäisyydelläkin tehotiheys on vielä 1 000 W/m<sup>2</sup>. Työsuojeluraja 50 W/m<sup>2</sup> alittuu vasta noin 7 m etäisyydellä ja väestöraja 10 W/m<sup>2</sup> niinkin kaukana kuin 15 m. Seinän kosteus vaikuttaa tilanteeseen oleellisesti. Mitä kuivempaa materiaali on, sitä heikommin mikroaallot vaimenevat. Kuvan 9.37 b. esityksestä huomataan, että suhteellisen paksunkin seinän läpi kulkiessaan tehotiheys vaimenee vain puoleen. Kuivauksen aikana on varauduttava siihen, että seinän takana säteily lisääntyy seinän kuivuessa.

Mikroaaltosäteilyn leviämistä kuivattavan pinnan toiselle puolelle voidaan tehokkaasti estää hyvin johtavalla yhtenäisellä metallisella suojafoliolla. Se asetetaan useimmiten lattian tai seinän toiselle puolelle, mutta nurkassa olevan tasokuivurin viereinen seinä voidaan suojata myös laitteen puolelta. Mitä suurempi folio on sitä paremmin se suojaa. Lattian alapuolella olevan folion reunasta on hyvä olla vähintään 30 cm etäisyys säteilyaukkoon. On huomioitava, että heijastusten, suoran hajasäteilyn ja diffraktion johdosta säteilyä voi kulkeutua folion reunan yli, vaikka itse säteilyaukko olisikin peitossa.

a)



b)



**Kuva 9.37 Tasokuivurin mikroaaltosäteilyn tehtiheys**

- a) Tyypillisen tasokuivurin mikroaaltosäteilyn tehtiheys ilmassa säteilyaukon edessä  
 b) Tyypilliselle seinään painetulle tasokuivurille laskettu mikroaaltosäteilyn tehtiheys betoniseinän takana. Betoniraudituksen mahdollista vaikutusta mikroaaltosäteilyn vaimenemiseen ei ole otettu huomioon laskuissa.

## Turvallisuusohjeet

Mikroaaltokuivauksessa on noudatettava seuraavia turvallisuusohjeita:

- Kuivaimia käyttää vain mikroaaltokuivaukseen perehtynyt ammattihenkilö, joka tuntee tarvittavat varotoimenpiteet ja osaa mitata hajasäteilyn.
- Kuivaimet on varustettava mikroaaltosäteilyvaarasta kertovilla kilvillä.
- Kuivaimiin saa kytkeä mikroaaltotehon vain silloin, kun säteilyaukko

on asetettu tukevasti kohteen pintaa vasten tai antennit ovat seinän sisällä.

- On huolehdittava siitä, että työalueella  $50 \text{ W/m}^2$  ei ylity eivätkä sivulliset pääse sellaiselle alueelle, jolla  $10 \text{ W/m}^2$  ylittyy.
- Ensisijaisesti on pyrittävä siihen, että väestön varoalue ( $>10 \text{ W/m}^2$ ) tyhjenetään ja lukitaan tai aluetta valvotaan jatkuvasti. Jos nämä valvontamenetelmät eivät ole mahdollisia, on alue rajattava automaattisesti toimivalla luotettavalla turvalaitteella, joka kytkee kuivaimen pois päältä, kun alueelle tullaan. Turvalaitteen toiminta on määräajoin tarkastettava.
- Väestön varoalue on merkittävä mikroaaltosäteilyä varoittavilla kilvillä. Aluetta on valvottava säännöllisin mittauksin, koska kuivauksen edistyessä säteily voi lisääntyä.
- Väestön ja työntekijöiden varoalueet määritetään luotettavalla Säteilyturvakeskuksen hyväksymällä mikroaaltosäteilymittarilla.
- Mikroaaltokuivaukseen on oltava kuivattavan kiinteistön omistajan sekä huoneiston ja kuivattavan lattian alapuolella tai seinän takana olevan huoneiston asukkaiden suostumus.
- Mikroaaltokuivauksesta ja siihen liittyvistä varotoimista on tiedotettava asukkaille ja työntekijöille kirjallisesti.

## KIRJALLISUUTTA

### 9.2 Luonnossa esiintyvät kentät

Cooray V. (toim.) The lightning flash. IEE Power & Energy Series. The Institution of Electrical Engineers, London, United Kingdom, 2003.

Nevanlinna H. Perustietoa geomagnetismista. Ilmatieteen laitos. Geofysikaalisia julkaisuja 53. Oy Edita Ab, Helsinki, 2001.

Tuomi TJ. Ukkonen ja salamet. Tähtitieteellinen yhdistys URSA, URSA:n julkaisuja 46. Helsinki, 1993.

[www.ilmatieteenlaitos.fi/view/tutkimus\\_ilmakeha](http://www.ilmatieteenlaitos.fi/view/tutkimus_ilmakeha)

### 9.3 Suomen sähköjärjestelmä

Aro M, Elovaara J, Karttunen M, Nousiainen K, Palva V. Suurjänniteteekniikka. Julkaisu 568, Otatieto 1996.

CIGRÉ. Electric and magnetic fields produced by transmission systems. Description of phenomena and practical guide for calculation. International Conference on Large High Voltage Electric Systems, Pariisi, Ranska, 1980.

Deno DW. Transmission Line Fields. IEEE Transactions on Power Apparatus and systems. Vol. 95: 1600–1611, 1976.

Electric Power Research Institute. Transmission Line Reference Book – 345 kV and above, 329–419, Palo Alto, California 1975.

Karjanlahti T. Työperäisen sähkö- ja magneettikenttäaltistuksen mittaaminen 400 kV:n sähköasemilla. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, Sähkötekniikan osasto, 2004.

Keikko T. Technical Management of the Electric and Magnetic Fields in Electric Power System, Väitöskirja, Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, Julkaisu 422, 2003.

Korpinen L, Hietanen M, Jokela K, Juutilainen J, Valjus J. Voimajohtojen sähkö- ja magneettikentät ympäristössä. Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 89/1995.



Korpinen L. Laitteiden ja elinympäristön sähkö- ja magneettikenttien mittaaminen. Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja. 9/2000.

Korpinen L. Yleisön altistuminen pientaajuisille sähkö- ja magneettikentille Suomessa. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:12. Helsinki, 2003.

Kotiniitty J, Reivonen S, Kantell T, Keikko T, Korpinen L. Kiinteistömuuntamoiden magneettikentät. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Teollisuuden sähkötekniikka, Raportti 1, 1999.

Sauramäki T, Keikko T, Korpinen L. Väestön altistuminen laajakaistaisille sähkö- ja magneettikentille. Tampere, Tampereen Teknillinen korkeakoulu, Sähkötekniikka ja terveys -laboratorio, raportti 2-2002.

Rakennusten magneettikenttien mittaaminen. Säteilyturvakeskus. STUK tiedottaa - 1/2003.

Valjus J. Pientaajuisien sähkö- ja magneettikenttien fysiologiset vaikutukset. Helsinki, Imatran Voima Oy, Tutkimusraportti IVO-A-04/87, 1987.

ACGIH. Threshold limit values for chemicals substances and physical agents. Biological exposure indices. American Conference of Governmental Industrial Hygiene (ACGIH), Cincinnati Ohio, 1997.

ICNIRP. Guidance on Determining Compliance of Exposure to Pulsed and Complex Non-sinusoidal Waveforms Below 100 kHz with ICNIRP Guidelines. Health Physics, 84 (3): 383–387, 2002.

ICNIRP. Guidelines for Limiting Exposure to Time-varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300GHz). Health Physics, 74 (4): 494–522, 1998.

IEEE Std 644-1994. IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields From AC Power Lines. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, NY, USA, 1995.

Sosiaali- ja terveysministeriö. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistumisen rajoittamiseksi (294/2002). Säteilysuojelu, säteilyturvakeskus, Helsinki 2002.

#### 9.4 Sähkörautatiet

Hietanen M, Hämäläinen A-M, Juuti P, Juutilainen J. Altistuminen sähkö- ja magneettikentille Valtionrautateiden työ- ja yleisötiloissa. *Työ ja Ihminen* 1: 43–54, 1995.

#### 9.8 Suurtaajuuskuumentimet

Allen SG, Unsworth C, Chadwick PJ. Radiofrequency PVC welding machines, fields and body currents. *Radiol. Prot. Bull.* no 120, 1991.

Anttonen H, Halonen T, Hietanen M: Suurtaajuuskuumentimien hajasäteilyn torjuntamenetelmien kohteellinen tutkimus. Työterveyslaitoksen tutkimuksia. Nro 177, Työterveyslaitos, Helsinki, 1981.

Chen JY, Gandhi OP. Electromagnetic deposition in an anatomically based model for leakage fields of a parallel-plate dielectric heater. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* 37: 174–180, 1989.

Chen JY, Gandhi OP. Thermal implications of high SARs in the body extremities at the ANSI-recommended MF-VHF safety levels. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 35: 435–441, 1988.

ILO, World Health Organization. Safety in the use of radiofrequency dielectric heaters and sealers: A practical guide. (Occupational Safety and Health Series, No. 71, Geneva, International Labour Office, 1998.

Jokela K, Leszczynski K. Suurtaajuuskuumentimiin liittyviä säteilyturvallisuus- ja häiriösäteilykysymyksiä. STUK-B 67. Helsinki: Valtion painatuskeskus, 1986.

Jokela K, Puranen L. Occupational RF exposures. *Radiation Protection Dosimetry* 83: 119–124, 1991.

Kännälä S. Radiotaajuisten tehon absorboituminen ihmiskehoon suurtaajuuskuumentimen lähikentässä. Diplomityö, TKK, Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto, 2005.

Puranen L, Jokela K, Hietanen M. Altistumismittaukset suurtaajuuskuumentimien hajasäteilykentässä. STUK-A120. Painatuskeskus Oy, Helsinki, 1995.

Wilén J, Hörnsten R, Sandström M, Bjerle P, Wiklund U, Stensson O, Lyskov E, Hansson MK. Electromagnetic field exposure and health among RF plastic sealer operators. *Bioelectromagnetics* 25: 5–15, 2004.

### 9.9 Tuotesuojaportit ja metallinpaljastimet

CENELEC. Evaluation of human exposure to electromagnetic fields from devices used in Electronic Article Surveillance (EAS), Radio Frequency Identification (RFID) and similar applications, EN 50357, 2001.

Cooper TG. Occupational Exposure to Electric and Magnetic Fields in the Context of the ICNIRP Guidelines. NRPB-W24, 2002.

Gandhi OP, Kang G. Calculation of induced current densities for humans by magnetic fields from electronic article surveillance devices. *Phys. Med. Biol.* 46: 2 759–2 771, 2001.

Harris C, Boivin W, Boyd S, Coletta J, Kerr L, Kempa L, Aronow S. Electromagnetic field strength levels surrounding electric article surveillance (EAS) systems. *Health. Phys.* 78: 21–27, 2000.

ICNIRP: Health issues related to the use of security and similar devices. ICNIRP statement, 2004. *Health Physics* 87 (2), 2004.

Boivin W, Coletta J, Kerr L. Characterization of the magnetic fields around walk-through and hand-held metal detectors. *Health Physics* 84 (5), 2003.

### 9.10 Magneettikuvauslaitteet

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi terveyttä ja turvallisuutta koskevista vähimmäisvaatimuksista työntekijöiden suojaamiseksi altistumiselta fyysikaalisista tekijöistä (sähkömagneettiset kentät) aiheutuville riskeille 2004/40/EY. Euroopan unionin virallinen lehti 2004: L184/1-L184/9.

Huurto L, Jokela K, Servomaa A. Magneettikuvauslaitteet, niiden käyttö ja turvallisuus Suomessa 1993. STUK-A111, 2. painos. STUK, Helsinki 1995.

Huurto L, Toivo T. Magneettitutkimukset ja niiden turvallisuus. Lääkelaitoksen julkaisusarja 1/2000. Lääkelaitos. Helsinki, 2000.

ICNIRP. Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. Health Phys 66: 100–106, 1994.

ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Phys 74: 494–522, 1998.

ICNIRP. Medical magnetic resonance (MR) procedures: Protection of patients. Health Phys 87: 197–216, 2004.

IEC 601-2-33 - Medical Electrical Equipment - Part 2: Particular requirements for the safety of magnetic resonance equipment for medical diagnosis, 2002.1

Kanal E, Shellock FG, Talagala L. Safety Considerations in MRI Imaging. Radiology 176: 593–606, 1990.

Leach MO. Magnetic resonance imaging and spectroscopy: An introduction to theory, hardware current applications and safety. J Radiol Prot 12(3): 137–158, 1992.

Schenck JF, Dumoulin CL, Redington RW. Human exposure to 4.0- Tesla magnetic field in a whole-body scanner. Med Phys 19(4), 1992.

Shellock FG. Magnetic Resonance Procedures: Health Effects and Safety. CRC Press, LLC, Boca Raton, FL, 2001.

Sosiaali- ja terveysministeriö. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistumisen rajoittamiseksi (294/2002). Säteilysuojelu, Säteilyturvakeskus, Helsinki 2002.

[www.mrisafety.com](http://www.mrisafety.com)

## 9.11 ja 9.12 Radioasemat, ULA- ja TV-asemat

Jokela K, Puranen L, Gandhi OM. Radio frequency currents induced in

the human body for medium-frequency/high-frequency broadcast antennas. *Health Phys* 66: 237–244, 1994.

Jokela K, Puranen L. Occupational RF exposures. *Radiation Protection Dosimetry*, 83: 119–124, 1991.

Jokela K. Theoretical and measured power density in front of VHF/UHF broadcasting antennas. *Health Physics* 54(5): 533–543, 1988.

ULA- ja TV-asemien mastotöiden säteilyturvallisuus. Säteilyturvakeskus, ohje ST 9.3, 2003.

### 9.13 ja 9.14 Matkapuhelimet ja tukiasemat

Dimbylow P, Khalid M and Mann S. Assessment of specific energy absorption rate (SAR) in the head from a TETRA handset. *Physics In Medicine and biology* 48: 3911–3926, 2003.

Hombach V, Meier K, Burkhardt M, Kühn E and Kuster N. The dependence of EM energy absorption upon human head modeling at 900 MHz. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 44: 1865–1873, 1996.

ICNIRP. Health issues related to the use of hand-held radiotelephones and base transmitters - ICNIRP Statement. *Health Physics* 70(4): 587–593, 1996.

IEC. Human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices - Human models, instrumentation, and procedures. IEC 62209-1:2005, Geneva, 2005.

Jokela K, Leszczynski D, Paile W, Salomaa S, Puranen L, Hyysalo P. Matkapuhelimien ja tukiasemien säteilyturvallisuus. STUK-A141, Säteilyturvakeskus, Helsinki, 1997.

Mann SM, Cooper TG, Allen SG, Blackwell RP, Lowe AJ. Exposure to radio waves near mobile phone base stations. NRPB-R321, National Radiological Protection Board, Chilton, Didcot, Oxfordshire, UK, 2000.

Matkapuhelimet ja tukiasemat. Katsaus, Säteilyturvakeskus, Helsinki, 2004.

National Radiological Protection Board (NRPB). Health effects from radiofrequency electromagnetic fields. Documents of the NRPB, vol. 14 no. 2, Chilton, Didcot, Oxfordshire, UK, 2003.

Penttinen J. GSM-tekniikka. Järjestelmän toiminta ja kehitys kohti UMTS-aikakautta. WSOY, Helsinki, 2001.

#### 9.16 Tutkat

Mumford WW. Some technical aspects of microwave radiation hazards. Proceedings of the IRE 49(2): 427–447, 1961.

Puranen L. Jokela K. Radiation hazard assessment of pulsed microwave radars. Int. J. Microwave Power and Electromagnetic Engineering 31: 165–177, 1996.

Pulssitutkien säteilyturvallisuus. Säteilyturvakeskus, ohje ST 9.2, 2003.

Stuchly MA. Potentially hazardous microwave sources - A review. Journal of microwave power 12: 369–381, 1977.

Tell RA, Hankin NN, Janes DE. Aircraft radar measurements in the near field. Proceedings of the Ninth Midyear Topical Symposium of the Health Physics Society: 239–246, 1976.

#### 9.18 Mikroaaltokuivurit

Säteily ja turvallisuuskatsaus. Säteilyturvakeskus, mikroaaltokuivauksen turvallisuus, 2001.



