

8

ALTISTUMISEN RAJOITTAMINEN

Kari Jokela, Antti Niittyä

SISÄLLYSLUETTELO

8.1	Yleistä turvallisuusnormeista	320
8.2	ICNIRPin ohjeavot	324
8.3	Euroopan unioni	345
8.4	Valvonta Suomessa	346
8.5	Yhteenveto	353

8.1 | Yleistä turvallisuusnormeista

Perinteinen lähtökohta turvallisuusriskien hallinnassa on säätää erilaisia rajoituksia, joiden noudattamista viranomaiset valvovat. Yhä enemmän halutaan kuitenkin painottaa sitä, että riskin aiheuttaja kantaa täyden vastuun turvallisuudesta ja on velvollinen hankkimaan riskin hallintaa varten tarvittavat tiedot ja taidot. Riskin aiheuttajan tulee suunnitella toimintansa siten, että se täyttää turvallisuusvaatimukset ja myös odottamattomista tapahtumista aiheutuvat riskit on riittävästi otettu huomioon. Riskien hallintaan tarvitaan turvallisuusnormeja.

Sähkömagneettisia kenttiä koskevia turvallisuusnormeja esitetään, paitsi varsinaisessa lainsäädännössä (lait, asetukset), myös standardeina, ohjeina ja suosituksina. Turvallisuusnormituksen pääalueet ovat ihmisen altistuminen sähkömagneettisille kentille sekä laitteiden turvallisuusominaisuudet. Altistumisnormeissa sanotaan kuinka suuri ihmiseen kohdistuva altistuminen saa korkeintaan olla, jotta siitä ei aiheutuisi terveyshaittoja. Laitteita, rakenteita ja vastaavia koskevat normit ovat teknisiä vaatimuksia, jotka täyttämällä altistumisen oletetaan pysyvän altistumisnormien mukaisena.

Turvallisuusnormit voivat olla ohjeellisia tai velvoittavia. Velvoittavat normit perustuvat aina lainsäädäntöön. Myös sellaisten normien, joita juridisessa mielessä on pidettävä ohjeellisina, tosiasiallinen voima voi olla hyvinkin suuri. Tällaisia turvallisuusnormeja ovat erityisesti johtavien kansainvälisten asiantuntijajärjestöjen suositukset ja ohjeavrot sekä vakiintuneesti sovelletut tekniset standardit, taulukko 8.1.

Turvallisuusnormit on yleensä määritelty erikseen säteilyä synnyttäviä laitteita käyttäville tai niiden läheisyydessä työskenteleville työntekijöille ja muulle väestölle. Toinen yleinen jakoperuste normeissa on jako valvottuihin ja valvomattomiin olosuhteisiin.

Järjestö	www-sivut
ICNIRP – International Commission on Non-Ionizing Radiation	www.icnirp.de
IEEE – The Institute of Electrical and Electronics Engineers	www.ieee.org
IEC – International Electrotechnical Commission	www.iec.ch
CENELEC – European Committee for Electrotechnical Standardization	www.cenelec.org
WHO – World Health Organization	www.who.int

Taulukko 8.1 Kansainvälisiä asiantuntija- ja standardointijärjestöjä

Turvallisuusnormituksen perusteista

Maailmanlaajuisesti sähkömagneettisia kenttiä koskevat altistumisrajat voidaan jakaa kolmen pääryhmään, joissa esikuvina on käytetty

- kansainvälisen ionisoimattoman säteilyn toimikunnan suosituksia (ICNIRP, International Commission on Non-Ionizing Radiation)
- Yhdysvalloissa toimivan sähköalan insinöörijärjestön standardeja (IEEE = Institute of Electrical and Electronics Engineers, USA)
- entisen Neuvostoliiton säteilyhygieenisiiä normeja.

Ionisoimattoman säteilyn turvallisuutta koskevia kansainvälisiä ohje-arvoja ja kannanottoja laativan ICNIRP:n ohjeet on otettu sähkömagneettisten kenttien turvallisuutta koskevan standardoinnin pohjaksi Euroopan unionin alueella ja monissa Euroopan ulkopuolisissa teollisuusmaissa kuten Australiassa. Yhdysvalloissa ja Kanadassa noudatetaan IEEE:n laatimia suosituksia. Venäjällä ja Kiinassa noudatetaan toistaiseksi samantyyppisiä normeja kuin entisessä Neuvostoliitossa. Taulukossa 8.2 on lueteltu eri maissa toimivia viranomaisia, joilla on merkittävä asema sähkömagneettisten kenttien säätelyssä.

Maa	Viranomainen tai järjestö	www.sivut
Suomi	STUK (Säteilyturvakeskus) STM (Sosiaali- ja terveysministeriö)	www.stuk.fi www.stm.fi
Ruotsi	SSI (Statens strålskyddsinstitut)	www.ssi.se
Norja	NRPA (Norwegian Radiation Protection Authority)	www.nrpa.no
Iso-Britannia	HPA (Health Protection Agency)	www.hpa.org.uk
Saksa	BFS (Bundesamt für Strahlenschutz) Stralenschutzkommission	www.bfs.de www.ssk.de
Venäjä	RNCNIRP (Russian National Committee on Non-Ionizing Radiation Protection)	www.pole.com.ru/news_en.htm www.tesla.ru/english/
Yhdysvallat	FDA (The Food and Drug Administration)	www.fda.gov
Kanada	Health Canada	www.hc-sc.gc.ca
Australia	ARPANSA (The Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency)	www.arpansa.gov.au

Taulukko 8.2 Sähkö- ja magneettikenttiä koskevia kansallisia viranomaisia ja standardeja laativia järjestöjä eri maissa.

Työntekijöitä koskevien altistusnormien vertailua

ICNIRPin ohjearvot sähkömagneettisille kentille vuodelta 1998 on laadittu samantapaisten biologisten kriteerien perusteella kuin IEEE:n standardit (IEEE 1999, IEEE 2002, IEEE 2005). Yli 30 MHz taajuuksilla ne eivät poikkea toisistaan mitenkään huomattavasti (kuva 8.1a). Alle 30 MHz taajuuksien magneettikenttien osalta ICNIRP on kuitenkin selvästi tiukempi kuin IEEE. Esimerkiksi taajuusalueella 3–100 kHz IEEE:n suosittelema suurin sallittu magneettivuontiheys työntekijöille on $205 \mu\text{T}$, kun taas vastaava ICNIRPin viitearvo (0,82–65 kHz) on vain $30,7 \mu\text{T}$ (kuva 8.1b). ICNIRP olettaa varmuuden vuoksi magneettisen kytkennän kymmenen kertaa suuremmaksi kuin IEEE. Lisäksi ICNIRP olettaa, että fosfeenien kaltaisia ilmiöitä voisi esiintyä taajuusalueella 100 Hz – 3 kHz samoilla virrantiheystasoilla kuin muutamien kymmenien hertsien taajuuksilla. IEEE taas lähtee siitä, että näiden vaikutusten kynnystaso nousee lineaarisesti taajuuden funktiona 20 Hz yläpuolella.

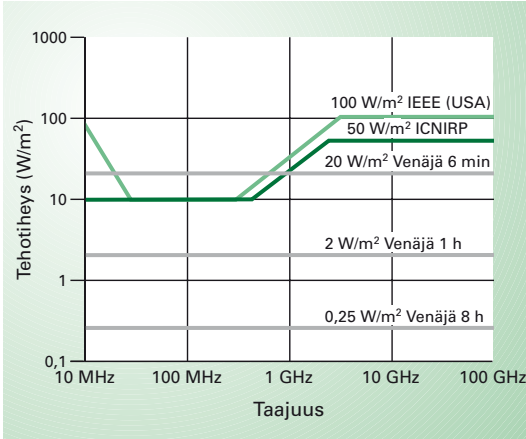
Venäjän säteilyhygieeniset normit radiotaajuiselle säteilylle vuodelta 1996 periytyvät Neuvostoliiton ajalta, ja ne poikkeavat huomattavasti länsimaaisista normeista myös radiotaajuusalueella. Venäjällä on ajateltu, että säteilyhaitta kumuloituu noin työpäivän kestäneeltä ajalta, mikä näkyy siinä, että tehokkuuden sijaan rajoitetaan tehokkuuden aikaintegraalia eli energiatiheyttä. Sen seurauksena koko työpäivän (8 h) kestäneessä altistumisessa sovellettava ekvivalenttisen tehokkuuden raja on varsin pieni eli $0,25 \text{ W/m}^2$, kun se länsimaissa on taajuudesta riippuen $10\text{--}100 \text{ W/m}^2$. Lyhyillä altistumisajoilla ero pienenee.

Aiemmin arveltiin, että ero länsimaisiin normeihin voisi selittyä osittain sillä, että entisen Neuvostoliiton altistumisrajat olisivat luonteeltaan tavoitearvoja, joiden noudattamista ei ehdottomasti vaadita. Tutkijoiden välisten yhteyksien lisääntyessä on kuitenkin käynyt ilmi, että Venäjällä altistumisrajat ovat luonteeltaan määräyksiä ja ne on laadittu biologisin perustein. On kuitenkin merkille pantavaa, että altistumisrajojen biologiset perusteet poikkeavat länsimaisten altistumisrajojen perusteista. Länsimaissa rajat perustuvat hyvin tunnettuihin vaikutusmekanismeihin kuten lämpövaikutuksiin ja hermostimulaatioon.

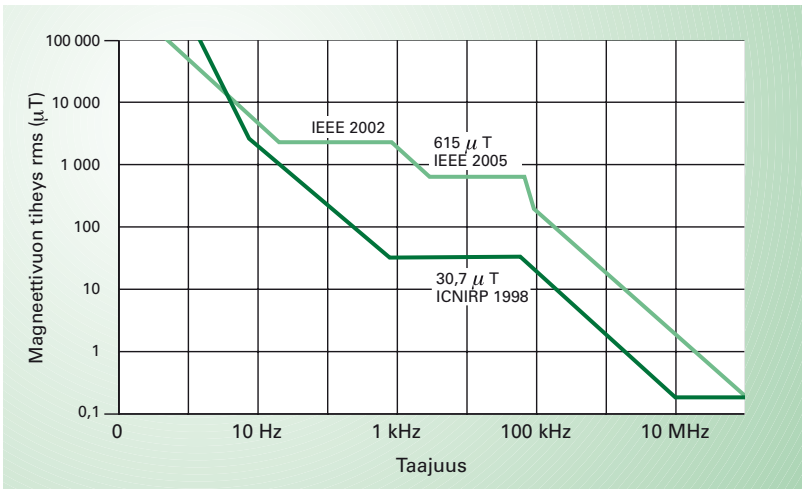
Venäjällä huomion kohteena ovat olleet enemmän epidemiologiaan ja kliinisiin havaintoihin perustuvat neurovegetatiiviset vaikutukset, joita ilmentävät ei-spesifiset, subjektiiviset pahanolon tuntemukset kuten päänsärky, muistin heikentyminen, heikotus ja huimaus. On ajateltu, että altistumi-

nen sähkömagneettisille kentille olisi jonkinlainen ei-spesifinen stressitekijä elinympäristössä ja että erityisesti pulssimaiset kentät olisivat siinä tehokkaimpia. Viime vuosina vastaavanlaisia oireita on länsimaissa liitetty sähköherkkyyteen (kappaleet 5 ja 7).

a)



b)



Kuva 8.1 Työntekijöitä koskevien altistusnormien vertailua

a) IEEE:n ja ICNIRPin tehotiheysrajat radiotaajuiselle säteilylle on määritelty kuuden minuutin aikakeskiarvona. Venäjällä on ajateltu, että säteilyhaitta kumuloituu työpäivän aikana, jolloin altistumisajan pidentyessä tehotiheysraja on tiukempi.

b) ICNIRPin ohjearvot pientaajuisille magneettikentille ovat selvästi tiukempia kuin IEEE:n vastaavat rajat, jotka on annettu kahdessa eri standardissa vuonna 2002 ja 2005.

8.2 | ICNIRPin ohjeavot

ICNIRPin asema ionisoimattoman säteilyn alueella on vastaavanlainen kuin ionisoivan säteilyn alueella toimivan ICRP:n (International Commission on Radiological Protection). ICNIRP sai alkunsa vuonna 1977, jolloin kansainvälinen säteilysuojeluyhdistys IRPA muodosti ionisoimattoman säteilyn asioita käsittelevän INIRC komitean. Vuonna 1992 siitä muodostettiin itsenäinen kansainvälinen toimikunta ICNIRP. Nykyisellään ICNIRP muodostuu pääkomiteasta sekä pysyvistä komiteoista.

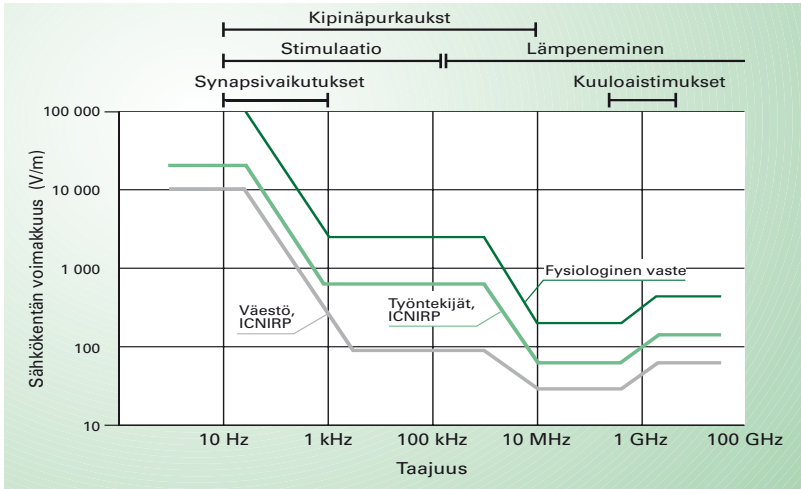
Vuonna 1998 ICNIRP julkaisi uudet ohjeavot ajan funktiona muuttuville sähkö- ja magneettikentille alle 300 GHz taajuuksilla. Staattisia magneettikenttiä koskevat ohjeavot oli julkaistu muutamia vuosia aikaisemmin vuonna 1994.

Ohjeavojen asettaminen on laaja ja jatkuva prosessi, jonka aikana pääkomitea ja pysyvät asiantuntijakomiteat käyvät läpi suuren määrän sähkömagneettisten kenttien vaikutuksia koskevia tieteellisiä julkaisuja. Niiden keskeisin sisältö tiivistetään ajoittain kirjallisuuskatsauksiksi, jotka julkaistaan yhteistyössä WHO:n kanssa. Ohjeavot perustuvat vain sellaisiin havaintoihin ja tutkimuksiin, joissa

- havaitun vaikutuksen voidaan olettaa hyvin perusteiden olevan haitallinen
- yhteys vaikutuksen ja altistumisen välillä on selvä ja johdonmukainen
- vaikutus voidaan selittää jollain uskottavalla biologis-fysikaalisella mekanismilla
- tavanomaiset tieteelliset laatuvaatimukset täyttyvät.

Tällaisia vaikutuksia ovat taajuudesta riippuen (kuva 8.2)

- hermojen ja lihasten stimuloituminen indusoituneen pientaajuuden sähkökentän vaikutuksesta
- magnetofosfeenit ja niitä muistuttavat hermosolujen toiminnalliset muutokset, jotka aiheutuvat kehoon indusoituneesta pientaajuudesta sähkökentästä
- häiritsevät ihoaistimukset voimakkaassa pientaajuudessa sähkökentässä (koronapurkaukset, ihokarvojen liikkuminen)
- kehon ja sen osien liiallinen lämpeneminen (yli 1 °C) radiotaajuusalueella
- häiritsevä kuuloilmiö voimakkaassa pulssimaisessa mikroaaltokentässä.



Kuva 8.2 Biologisten vaikutusten kynnykset suhteutettuna ICNIRPin ohjeisiin

Alle 100 kHz taajuudella merkittävimmät biologiset vaikutukset ovat hermojen ja lihasten stimuloituminen, yli 100 kHz taajuuksilla merkittävin vaikutus on lämpeneminen. ICNIRPIN ohjeistukset ovat vähintään 10–100 kertaa pienempiä, kuin biologisten vaikutusten kynnykset.

Johdonmukaisella yhteydellä tarkoitetaan sitä, että vaikutus muuttuu biologisesti uskottavalla tavalla kentänvoimakkuuden ja altistumisajan kasvaessa. Sellainen biologinen vaste, joka ilmenee tietyn kynnyksen yläpuolella ja kasvaa altistumisen kasvaessa, täyttää tämän vaatimuksen.

Perusrajoitukset ja viitearvot

Ajan funktiona muuttuvia kenttiä koskevat ICNIRPin ohjeistukset jakautuvat kahteen luokkaan: perusrajoitukseen (basic restrictions) ja viitearvoihin (reference levels). Perusrajoitukset koskevat sellaisia fyysikaalisia altistumissuureita, jotka ovat mahdollisimman lähellä biologisia vaikutuksia. Tällaisia altistumissuureita ovat alle 10 MHz taajuuksilla virrantiheys (J), taajuuksilla 100 kHz – 10 GHz ominaisabsorptionopeus (SAR) sekä yli 10 GHz taajuuksilla tehotiheys (S). Taajuuksilla 100 kHz – 10 MHz käytetään sekä virran tiheyttä sekä ominaisabsorptionopeutta altistumisen rajoittamiseen. Perusrajoitukset on asetettu sellaiselle tasolle, että ne suojaavat riittävän hyvin kaikilta hyvin todennetuilta haittavaikutuksilta.

Altistumisen määrittäminen kehon sisällä on käytännössä hyvin hankalaa, usein jopa mahdotonta. Perusrajoituksista on johdettu viitearvot helpottamaan käytännön altistumismäärittäyksiä, joiden mukaisesti altistumista voidaan arvioida kehon ulkopuolella suoritettavin suhteellisen yksinkertaisin mittauksin. Viitearvot on määritetty ulkoisen sähkökentän voimakkuudelle (E), ulkoisen magneettikentän voimakkuudelle (H ja B), kehoon kohdistuvan sähkömagneettisen aallon tehotiheydelle (S) ja raajoissa kulkevalle virralle (I), katso kuva 8.3. Lisäksi ohjearvot on asetettu varautuneista esineistä tai kehosta kapasitiivisesti purkautuvalle kosketusvirralle (I_c), sekä pulssimaisen mikroaaltosäteilyn aiheuttamalle ominaisabsorptiolle (Specific Absorption SA).

ICNIRPin ohjearvot on tarkoitettu suojaamaan suorilta kudosvaikutuksilta. Niiden noudattaminen ei kuitenkaan takaa sitä, ettei kehon sisälle asetettu aktiivinen istute, kuten sydämentahdistin, defibrillaattori tai hermostimulaattori voisi häiriintyä vaarallisesti.

FAKTALAATIKKO 8.1

Viitearvot – perusrajoitukset

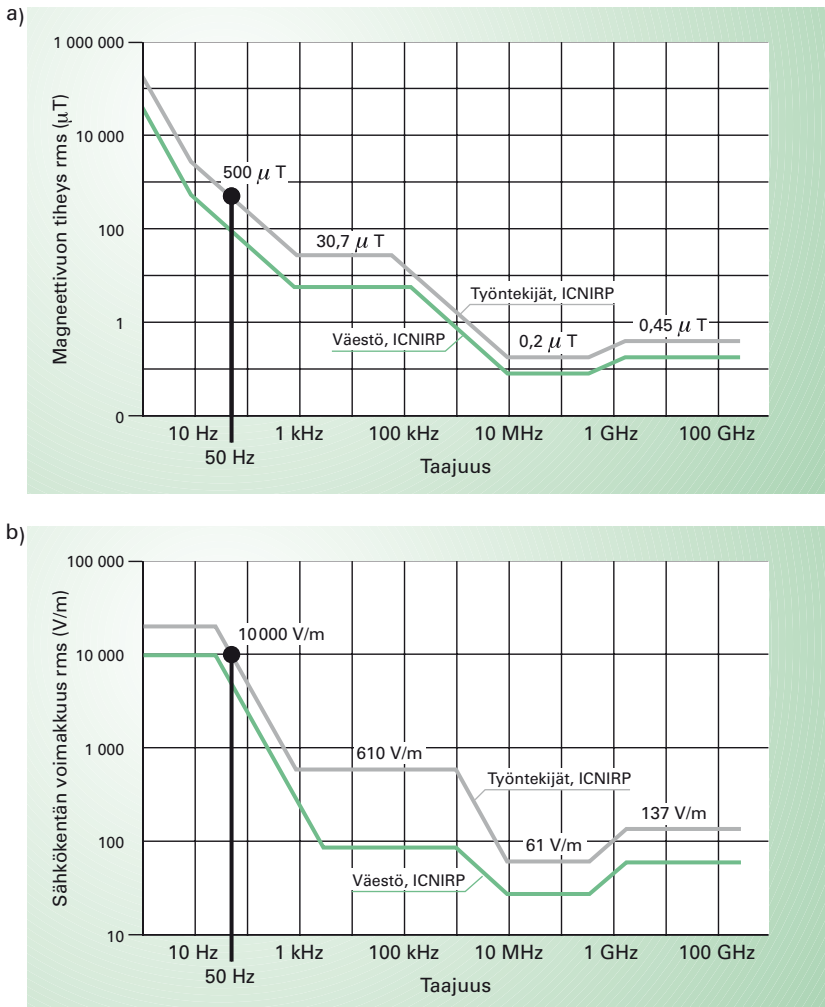
Käytännön altistumismäärittäyksiä helpottamaan on perusrajoituksista johdettu viitearvot, joihin vertaamalla voidaan altistumista arvioida kehon ulkopuolella suoritettavin suhteellisen yksinkertaisin mittauksin tai laskuin. Viitearvot on johdettu siten, että perusrajoitukset eivät missään olosuhteissa ylity.

Eri rajat työntekijöille ja väestölle

Altistumisrajat on määritelty erikseen sähkömagneettisia kenttiä ja sähkömagneettista säteilyä synnyttäviä laitteita käyttäville työntekijöille ja muulle väestölle. Työntekijöiden ammatillista altistumista koskevat rajat on määritetty biologisia vaikutuksia ja terveyshaittoja koskevien tutkimusten perusteella siten, että haitalliseksi katsotut vaikutukset ehkäistään. Koko väestöä koskevat rajat ovat tiukempia kuin ammatilliselle altistumiselle määritellyt rajat.

Väestöä koskevat perusrajoitukset ovat yksi viidesosa työntekijöitä koskevista perusrajoituksista. Viitearvojen kohdalla vastaava marginaali vaihtelee puolesta seitsemäsosaan.

Kun kenttien lähde liittyy työntekijän suorittamaan työtehtävään, sovelletaan työntekijöitä koskevia altistumisrajoja. Soveltamisessa on tärkeää, että työntekijä on tietoinen altistumisestaan sähkö- ja magneettikentille ja ymmärtää kenttiin liittyvät riskit. Väestön altistumisen rajoittamiskriteerejä on perusteltua käyttää myös työpaikoilla silloin, kun altistuminen ei suoranaisesti liity työtehtäviin. Tällaisia alueita, joihin on syytä soveltaa väestörajoja, ovat muun muassa toimistohuoneet, virkistystilat ja yleiset tilat kuten käytävät ja portaikot.



Kuva 8.3 ICNIRPin viitearvot a) magneetti- ja b) sähkökentille

Väestöä koskevat sähkö- ja magneettikentän voimakkuuden viitearvot yli 10 MHz taajuuksilla ovat $1/\sqrt{5}$ -osa työntekijöitä koskevista arvoista. Alle 100 kHz taajuuksilla suhde väestöarvo/työntekijäarvo on $1/5$ magneettikentälle ja taajuudesta riippuen $1/2$ – $1/7$ sähkökentälle.

ICNIRP on perustellut väestörajojen ja työntekijärajojen erottamista toisistaan seuraavasti:

- Väestö voi periaatteessa altistua 24 tuntia vuorokaudessa sähkömagneettisille kentille, mutta työntekijät vain 8 tuntia.
- Väestö muodostuu työntekijöitä heterogeenisemmista yksilöistä, jotka ainakin teoriassa voivat olla herkempiä sähkömagneettisten kenttien vaikutuksille. Esimerkiksi lapset ja vanhukset sekä korkeasta kuumeesta kärsivät voivat olla herkempiä esimerkiksi elimistön lämpökuormitukselle.
- Kenttiä synnyttäviä laitteita käyttävät työntekijät ovat paremmin tietoisia altistumisesta. Heidän altistumistaan voidaan valvoa ja tarvittaessa myös rajoittaa paremmin kuin muiden väestöryhmien altistumista.

Ohjearvot staattiselle magneettikentälle

Staattiselle magneettikentälle ei tarvitse erikseen määritellä dosimetrisia perusrajoja ja ulkoisen kentän viitearvoja, sillä magneettikenttä läpäisee kehon muuttumattomana. ICNIRPin mukaan työntekijän altistuminen ei saisi ylittää 200 mT, joka lasketaan keskiarvona kahdeksan tunnin työpäivän ajalta. Lyhytaikaisesti sallitaan suurempiakin magneettivuontiheyksiä, mutta kattoarvo 2 T ei saa ylittyä. Altistuminen määritetään keskiarvona koko kehon alalle. Raajoille sallitaan suurempia paikallisia magneettivuontiheyksiä aina 5 T asti, katso taulukko 8.3.

Olosuhteet	Altistuminen Kohde	Ohjearvot Magneettivuon tiheys B
Ammatillinen	Koko keho (8 tunnin keskiarvo)	200 mT
	Koko keho (hetkellinen huippuarvo)	2 T
	Raajat (hetkellinen huippuarvo)	5 T
Väestö	Koko keho (jatkuva)	40 mT

Taulukko 8.3 Staattisen magneettikentän vuontiheyden ohjearvot (ICNIRP 1994)

Ohjearvoja pienemmätkin magneettivuon tiheydet saattavat aiheuttaa kehon sisäisten elektroniikkalaitteiden häiriintymistä tai ferromagneettisia materiaaleja sisältävien istutteen liikkumista. Sydäntahdistimien häiriintymisriski alkaa kohota yli 0,5 mT ja ferromagneettisten istutteen liikkumisriski yli 3 mT kentässä.

Väestön jatkuva altistuminen staattiselle magneettikentälle saisi olla korkeintaan 40 mT, eikä raajoille ole mainittu tästä poikkeuksia. Lyhytaikaisesti ja satunnaisesti altistuminen voi olla voimakkuudeltaan yli 40 mT, kunhan työsuojelurajoja ei ylitetä. Käytännössä staattisen magneettikentän aiheuttamat turvallisuusongelmat ovat rajoittuneet magneettikuvauslaitteisiin. Ohjearvojen biologista perustaa on käsitelty kohdassa 9.10 Magneettikuvauslaitteet.

Perusrajoitukset sinimuotoisille sähkö- ja magneettikentille

Perusrajoitukset ajan funktiona muuttuville sähkö- ja magneettikentille on koottu taulukoihin 8.4–8.5. Niitä voidaan soveltaa sellaisenaan sinimuotoisiin jatkuviin kenttiin. Altistumisrajojen soveltamista pulssi- ja laajakajaistakenttiin käsitellään myöhemmin.

Perusrajoitus kehoon indusoituvan virran tiheydelle on tiukimmillaan alle 1 kHz taajuuksilla, joilla myös hermojen stimuloitumiskynnys on matalimmillaan. Näillä taajuuksilla virrantiheysraja on 10 mA/m² (tehollisarvo) työntekijöille ja 2 mA/m² (tehollisarvo) muulle väestölle. Turvamarginaali tavanomaiseen hermostimulaatioon on työntekijöitä koskevissa altistusrajoissa noin 50-kertainen ja väestöä koskevissa altistusrajoissa noin 250-kertainen. Turvamarginaali on tässä määritelty kertoimeksi, jolla altistusrajan ilmoittama altistuminen pitää kertoa, jotta altistuminen olisi selvästi haitallista tai vaarallista. On huomattava, että alle 1 kHz taajuusalueen altistusrajoilla pyritään myös ehkäisemään magnetofosfeeneja ja muita mahdollisesti synapsien kautta välittyviä hetkellisiä muutoksia hermosolujen ja keskushermoston toiminnassa. Näiden suhteen turvamarginaali ei ole kovinkaan suuri.

Yli 1 kHz taajuuksilla virrantiheysraja kasvaa suoraan verrannollisesti taajuuden kanssa noudattaen samankaltaista taajuusriippuvuutta kuin stimulaation kynnystaso. Hermostimulaation riippuvuutta taajuuden suhteen on kuvattu tarkemmin kohdassa 4.4. Työperäiselle altistumiselle asetettua raja-arvoa olisi kasvatettava likimain kertoimella 30, jotta lähestyttäisiin teoreettisesti laskettua hermostimulaation kynnystasoa.

Taajuuksilla 100 kHz – 10 MHz rajoitetaan varmuuden vuoksi sekä virrantiheyttä että ominaisabsorptionopeutta. Käytännössä virrantiheysraja on rajoittavampi kuin SAR-raja.

Taajuuksilla 10 MHz – 10 GHz pyritään ehkäisemään koko kehon ja

sen ihonalaisten osien liiallista lämpenemistä. Vaatimuksena on, että radiotaajuisten säteilyn aiheuttama lämpeneminen on alle 1 °C. Työperäisessä altistumisessa koko kehon keskimääräinen SAR ei saisi olla ylittää arvoa 0,4 W/kg eikä paikallinen SAR päässä ja vartalossa saisi ylittää arvoa 10 W/kg. Raajoille sallitaan suurempi arvo, kuitenkin korkeintaan 20 W/kg. Voidaan arvioida, että ammatillisten SAR-rajojen ylittäminen 5–10-kertaisesti voi aiheuttaa niin voimakasta lämpenemistä, että kudokset voivat vaurioitua ja elintoiminnot muuttua haitallisesti, kappale 4.

Kuten taulukosta 8.4 nähdään, koko väestöä koskevat SAR-rajat ovat viidesosa ammatillisista rajoista. Erityisen tärkeä on paikallisen SAR:in raja 2 W/kg päälle ja vartalolle, jota sovelletaan esimerkiksi yleisessä myynnissä oleviin matkapuhelimiin. Väestörajojen kohdalla turvamarginaalin kerroin vaihtelee 25–50 välillä.

Taajuusalue	Virrantiheys (pää ja vartalo) (mA/m ²)	Keskimääräinen SAR (W/kg)	Paikallinen SAR (pää ja vartalo) (W/kg)	Paikallinen SAR (raaja) (W/kg)
Ammatillinen altistuminen				
– 1 Hz	40	-	-	-
1 Hz – 4 Hz	40/f	-	-	-
4 Hz – 1 kHz	10	-	-	-
1 kHz – 100 kHz	f/100	-	-	-
100 kHz – 10 MHz	f/100	0,4	10	20
10 MHz – 10 GHz	-	0,4	10	20
Väestön altistuminen				
– 1 Hz	8	-	-	-
1 Hz – 4 Hz	8/f	-	-	-
4 Hz – 1 kHz	2	-	-	-
1 kHz – 100 kHz	f/500	-	-	-
100 kHz – 10 MHz	f/500	0,08	2	4
10 MHz – 10 GHz	-	0,08	2	4

Taulukko 8.4 Perusrajoitukset sähkö- ja magneettikenttien aiheuttamalle virrantiheydelle (tehollisarvo) ja ominaisabsorptionopeudelle alle 10 GHz taajuuksilla (ICNIRP 1998)

f on taajuus hertseinä (Hz). Virrantiheys tarkoittaa keskimääräistä virrantiheyden arvoa sellaisen ympyrän muotoisen pinta-alkion yli, jonka pinta-ala on 1 cm². Ominaisabsorptionopeudet tarkoittavat ominaisabsorptionopeuden keskiarvoa kuuden minuutin aikana määriteltynä 10 g kudosmassan keskiarvona.

Ominaisabsorptionopeus SAR määritetään kuuden minuutin aikakeskiarvona. Tämä keskiarvoistus- eli integrointiaika on järkevässä suhteessa kudosten luonnollisiin lämpöaikavakioihin. Aikavakio riippuu lämpenevän kudoksen lämpökapasiteetista ja lämpöeristyksestä. Pieni massa ja hyvä lämmönjohtavuus merkitsevät pientä aikavakiota. Pinta-absorptioalueella ($f = 3\text{--}300\text{ GHz}$) lämmitys kohdistuu ohueen ihokerrokseen, josta verenkierto kuljettaa lämmön pois tehokkaasti. Ihon aikavakio onkin alle kaksi minuuttia pinta-absorptioalueella, kun taas koko kehon lämpöaikavakio on paljon suurempi, noin 15–30 minuuttia. Kehon suuri massa ja hyvä lämmönjohtokyky aiheuttavat sen, että keho kerää lämpöenergiaa suhteellisen pitkältä ajalta. Kehon sisäisten kuumien pisteiden aikavakio on tyypillisesti kahdesta kuuteen minuuttiin.

Jos kudoksen paikallinen lämpöaikavakio sattuu olemaan yhtä suuri kuin SAR:n integrointiaika, noudattavat lämpötilavaihtelut likimain SAR:n vaihtelua. Toisin sanoen keskiarvoistus tasaa SAR:n vaihtelua samaan tapaan kuin kudosten kyky varastoida lyhytaikaisesti lämpöenergiaa tasaa lämpötilanvaihtelua. Alle 100 kHz taajuuksilla ei ole enää mielekästä soveltaa keskiarvoistusta altistuksen määrittämiseen, koska lämmittävä vaikutus ei enää ole tärkeä. Kudoksiin indusoituneen sähkökentän hetkellinen hyvinkin lyhytaikainen huippuarvo on hermostimulaation kannalta paljon tärkeämpi kuin pitkän integrointiajan yli laskettu tehollisarvo.

Myös taajuusalueella 10–300 GHz pyritään ehkäisemään liiallista lämpenemistä, mutta ominaisabsorptionopeus ei ole enää kovin käyttökelpoinen altistumissuure, koska säteilyn absorboituminen on varsin pinnallista, katso kappale 3.6. Perusrajoitukset esitetään tällä alueella tehottiheyksinä, joiden raja-arvot ovat 50 W/m^2 työntekijöille ja 10 W/m^2 väestölle, taulukko 8.5. Perusrajoitukset ovat samoja kuin viitearvot tässä tapauksessa.

Altistuminen	Tehottiheys (W/m^2)
Ammatillinen	50
Väestö	10

Taulukko 8.5 Perusrajoitukset sähkömagneettisen säteilyn tehottiheydelle taajuuksilla 10–300 GHz (ICNIRP 1998)

Tehottiheys määritetään $68/f^{1.05}$ minuutin (f sijoitetaan gigahertseinä) aikana 20 cm^2 suuruiselle pinta-alkiolle laskettuna keskiarvona. Paikallinen 1 cm^2 alalle keskiarvona laskettu tehottiheys ei saa ylittää taulukon 20-kertaisia arvoja.

Yli 10 GHz taajuudella integrointiaika määritellään taulukon 8.5 lopussa annetun yhtälön mukaan. Integrointiaika laskee yli 10 GHz taajuuksilla kuudesta minuutista 0,54 sekuntiin 100 GHz kohdalla. Integrointiajan laskussa on huomioitu suurilla mikroaalto- ja millimetriaalto-taajuuksilla tapahtuva ihon nopea lämpeneminen ja toisaalta tehokas jäähtyminen.

Viitearvot sinimuotoisille sähkö- ja magneettikentille

Viitearvot ulkoiselle sähkö- ja magneettikentälle on johdettu siten, että perusrajoitukset eivät saa ylittyä pahimmassakaan mahdollisessa altistumistilanteessa. Sähkömagneettisen kentän kytkeytymisen kannalta pahin mahdollinen tilanne voi syntyä, kun ihminen seisoo tasoaalto kentässä sähköisesti johtavan pinnan päällä, ja kun sähkökenttä on pituusakselin suuntainen (luku 3, kuva 3.18). Ulkoisten kenttien voimakkuuksilla tarkoitetaan kehon kohdalla esiintyvien kenttien voimakkuuksia sellaisessa tilanteessa, jossa henkilö on siirtynyt niin kauaksi, että hänen kehonsa ei enää häiritse kenttiä. Viitearvot ulkoiselle sähkö- ja magneettikentälle taajuusalueella 1 Hz – 300 GHz on esitetty taulukossa 8.6.

Käytännössä viitearvoja joudutaan useimmiten soveltamaan sellaisiin tilanteisiin, joissa kenttä jakautuu epätasaisesti keholle, tai vain pieni osa kehosta altistuu. Epätasaisesta altistumisesta on kyse esimerkiksi silloin, kun alle 1 GHz taajuudella toimiva radiotaajuuden kentän lähde tai magneettikentän lähde on 20–200 cm etäisyydellä kehosta, kun taas osakehoaltistumisessa pienikokoinen laite kuten matkapuhelin tai parranajokone on alle 20 cm etäisyydellä kehosta.

ICNIRPin mukaan viitearvot voidaan tulkita tietyn tilavuuden tai pinta-alan yli määritellyksi keskiarvoksi eli spatiaaliseksi keskiarvoksi. Arviotaessa koko keholle kohdistuvaa altistumista keskiarvo määritetään koko kehon, tai ainakin pään ja vartalon alalta. Sähkökentässä koko keho integroi kapasitiivista siirrosvirtaa kentästä ja magneettikentässä maksimi virrantiheys määräytyy koko kehon lävistävästä keskimääräisestä magneettikentän voimakkuudesta.

Dosimetrisista tutkimuksista voidaan päätellä, että alle 300 MHz alueella on hyvä määrittää kentänvoimakkuuden (E tai H) spatiaalinen keskiarvo. Yli 300 MHz alueella keskimääräinen koko kehon SAR määräytyy kehon poikkipinnalle tulevan sähkömagneettisen aallon keskimääräisestä tehotiheudesta.

	Sähkökentän voimakkuus (V/m)	Magneettikentän voimakkuus (A/m)	Magneettivuon tiheys (μT)	Ekvivalenttinen tehotiheys (W/m ²)
Taajuusalue Ammatillinen altistuminen				
– 1 Hz	–	$1,63 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^5$	–
1 – 8 Hz	20 000	$1,63 \cdot 10^5/f^2$	$2,0 \cdot 10^5/f^2$	–
8 – 25 Hz	20 000	$2 \cdot 10^4/f$	$2,5 \cdot 10^4/f$	–
50 Hz	10 000	400	500	–
0,025 – 0,82 kHz	$500 \cdot 10^3/f$	$2 \cdot 10^4/f$	$2,5 \cdot 10^4/f$	–
0,82 – 65 kHz	610	24,4	30,7	–
0,065 – 1 MHz	610	$1,6 \cdot 10^6/f$	$2,0 \cdot 10^6/f$	–
1 – 10 MHz	$610 \cdot 10^6/f$	$1,6 \cdot 10^6/f$	$2,0 \cdot 10^6/f$	–
10 – 400 MHz	61	0,16	0,2	10
400 – 2 000 MHz	$3 \cdot 10^{-3}f^{1/2}$	$8,0 \cdot 10^{-6}f^{1/2}$	$10,0 \cdot 10^{-6}f^{1/2}$	$2,5 \cdot 10^{-8} f$
2 – 300 GHz	137	0,36	0,45	50
Väestön altistuminen				
	Sähkökentän voimakkuus (V/m)	Magneettikentän voimakkuus (A/m)	Magneettivuon tiheys (μT)	Ekvivalenttinen tehotiheys (W/m ²)
– 1 Hz	–	$3,2 \cdot 10^4$	$4,0 \cdot 10^4$	–
1 – 8 Hz	10 000	$3,2 \cdot 10^4/f^2$	$4,0 \cdot 10^4/f^2$	–
8 – 25 Hz	10 000	$4000/f$	$5000/f$	–
50 Hz	5 000	80	100	–
0,025 – 0,8 kHz	$250 \cdot 10^3/f$	$4000/f$	$5000/f$	–
0,8 – 3 kHz	$250 \cdot 10^3/f$	5	6,25	–
3 – 150 kHz	87	5	6,25	–
0,15 – 1 MHz	87	$0,73 \cdot 10^6/f$	$0,92 \cdot 10^6/f$	–
1 – 10 MHz	$87 \cdot 10^3/f^{1/2}$	$0,73 \cdot 10^6/f$	$0,92 \cdot 10^6/f$	–
10 – 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 – 2 000 MHz	$1,38 \cdot 10^{-3}f^{1/2}$	$3,7 \cdot 10^{-6}f^{1/2}$	$4,6 \cdot 10^{-6}f^{1/2}$	$0,5 \cdot 10^{-8} f$
2 – 300 GHz	61	0,16	0,20	10

Taulukko 8.6 Viitearvot sähkö- ja magneettikentän voimakkuudelle (tehollisarvo) ja sitä vastaavalle ekvivalenttiselle tehotiheydelle taajuusalueella 1 Hz – 300 GHz (ICNIRP 1998).

- Taajuus f ilmaistaan hertseinä.
- Taajuusalueella 100 kHz – 10 GHz kentänvoimakkuudet lasketaan kuuden minuutin keskimääräisenä tehollisarvona.
- Yli 10 GHz taajuuksilla tehotiheysraja on määritelty tarkemmin taulukossa 8.5.

Aina kun altistumisarvio perustuu keskimääräiseen spatiaaliseen tehotiheyteen tai kentänvoimakkuuteen, on tärkeä varmistaa, etteivät paikallisen SAR:n tai virrantiheyden rajat ylity. Tämä voi kuitenkin olla vaikea tehtävä. Helppo ja varma tapa on perustaa altistumisarvio suurimpaan mitattuun kentänvoimakkuuden arvoon kehon kohdalla, jolloin voidaan varmistua, että myös paikallinen altistuminen jää varmasti riittävän alhaiseksi. Kehon ollessa alle 20 cm etäisyydellä kentän lähteestä ei ulkoisilla kentänvoimakkuuksilla ole kuitenkaan enää järkevää merkitystä, vaan on määritettävä kehon sisäinen suure eli joko paikallinen SAR tai virrantiheys. Esimerkiksi korvan juuressa pidettävän matkapuhelimen turvallisuus on varmistettava määrittämällä standardin IEC 62209-1 mukaisesti suurin paikallinen SAR, luku 10.

Ulkoisten kenttien rajoittaminen edellä esitetyn mukaisesti ei välttämättä takaa sitä, ettei virrantiheys tai paikallinen ominaisabsorptionopeus voisi nousta liian suureksi virran ahtautuessa esimerkiksi nilkkoihin tai sormeeseen. Ulkoisia kenttiä koskevien viitearvojen ja sisäisiä suureita kuvaavien perusrajoitusten lisäksi tarvitaan myös viitearvot sähkökentästä suoraan raajoihin indusoituvien virtojen (taulukko 8.7) ja kosketusvirtojen (taulukko 8.8) rajoittamiseksi. Kosketusvirroilla tarkoitetaan maasta eristettyihin metalliesineisiin kertyvän varauksen purkautumista esinettä koskettaessa.

Radiotaajuusalueella sovelletaan kuuden minuutin integrointiaikaa ekvivalenttisiin tehotiheyksiin, ja myös kentänvoimakkuudet määritetään tehollisarvoina kuuden minuutin ajalta, mikä on sama asia. Kosketusvirran osalta sovelletaan poikkeuksellisesti yhden sekunnin integrointiaikaa myös radiotaajuuksilla, katso taulukko 8.8. Kosketuskohdassa lämpötila voi nousta nopeasti liian korkealle, koska paikallinen SAR on suuri virran ahtautuessa kosketuskohtaan. Kosketusvirtaa koskevat rajat kattavat myös hermostimulaatioalueen, jolloin on rajoitettava virrantiheyden hetkellisiä huippuarvoja.

Altistuminen	Virta (mA)
Ammatillinen	100
Väestö	45

Taulukko 8.7 Raajoihin indusoituvan virran viitearvot taajuuksilla 10–110 MHz (ICNIRP 1998)

Virta tarkoittaa kuuden minuutin aikana laskettua virran keskimääräistä tehollista arvoa. Virta määritetään erikseen kullekin neljälle raajalle.

Altistuminen	Taajuusalue	Kosketusvirta (mA)
Ammatillinen	– 2,5 kHz	1,0
	2,5 kHz – 100 kHz	0,4 <i>f</i>
	100 kHz – 110 MHz	40
Väestö	– 2,5 kHz	0,5
	2,5 kHz – 100 kHz	0,2 <i>f</i>
	100 kHz – 110 MHz	20

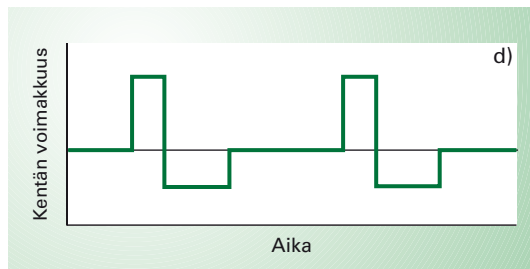
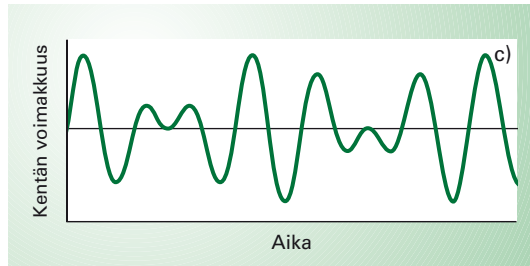
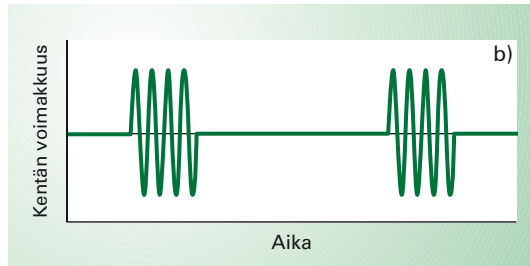
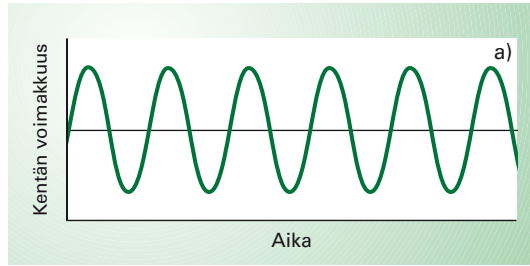
Taulukko 8.8 Kosketusvirran eli kapasitiivisen purkausvirran viitearvot (ICNIRP 1998)

f on taajuus kilohertseinä (kHz). Kosketusvirta tarkoittaa yhden sekunnin aikana laskettua virran tehollista arvoa.

Yli 10 GHz mikroaaltotaajuuksilla absorptio alkaa olla niin pinnallista, että valtaosa säteilytehosta absorboituu 10 g kuution etuosaan. Mitä suuremmaksi taajuus kasvaa, sitä suurempi SAR esiintyy ihon pinnalla. Suurikaan SAR arvo ei ole ihon pinnalla biologisesti merkittävä, koska pintaverenkierto ja johtuminen ilmaan jäähdyttävät ihoa tehokkaasti. Dosi-metrinen tutkimusten perusteella on ilmeistä, että SAR:iin perustuva raja olisi syytä korvata tehotiheyden perustuvalla rajalla myös taajuuksilla 6–10 GHz.

Soveltaminen laajakaistaisiin ja pulssimaisiin kenttiin

Sähkö- ja magneettikentät voivat muodostua jaksottaisesti toistuvista aaltomuodoista, jotka poikkeavat sinimuodosta. Ne sisältävät perustaajuuden monikertana esiintyviä yliaaltoja eli harmonisia taajuuskomponentteja. Yliaaltoja tai yleensä useampia taajuuksia sisältävää kenttää kutsutaan asetuksessa laajakaistaiseksi kentäksi, ja tällaiselle altistumistilanteelle on erikseen määritelty suositusarvot. Yliaaltojen huomioiminen on tärkeää alle 100 kHz magneettikenttien kohdalla, koska on harvinaista löytää niin puhdasta kenttää, että yliaalloilla ei olisi altistumisen kannalta merkitystä. Tämä koskee erityisesti 50 Hz kenttiä, joissa yliaallot lisäävät merkittävästi altistumista. Sähköverkossa yliaaltoja aiheuttavat varsinkin kyllästyviä kuristimia ja elektroniikkaa sisältävät kulutuskojeet kuten televisiovastaanottimet, tietokonelaitteistot ja tassauntaajat. Myös teollisuusprosessien säädettävissä moottorikäyttöissä on usein yliaaltoja aiheuttavia komponentteja.



Kuva 8.4 Sinimuotoisen ja laajakaistaisten sähkömagneettisten kenttien aaltomuotoja

- a) Sinimuotoinen jatkuva kenttä (CW)
- b) Kapeakaistainen pulssikenttä (PW)
- c) Yliaaltoja sisältävä säröytynyt kenttä
- d) Laajakaistainen pulssimuotoinen kenttä

Lisää esimerkkejä kenttien aaltomuodoista spektreineen on luvussa 2, kuvat 2.10a–d.

Kuvissa 8.4a–d on havainnollistettu erityyppisiä aaltomuotoja. Luvun 2 kuvissa 2.10a–d on myös esitetty samantyyppisiä aaltomuotoja spektreineen. Puhtaan siniaallon (CW, Continuous Wave) spektri (8.4a ja 2.10a) on kaikkein kapeakaistaisin ja puhutaan viivaspektristä, jossa energia on keskittynyt siniaallon taajuudelle. Katkomalla sinimuotoista kenttää saadaan aikaan suhteellisen kapeakaistainen pulssikenttä (PW, Pulsed Wave) (8.4b ja 2.10b). Mitä enemmän jaksoja pulssissa on sitä tiiviimmin spektrikomponentit pakkautuvat keskitaajuuden ympärille. Laajakaistainen jaksollinen kenttä voi muodostua säröytyneestä siniaallosta (8.4c ja 2.10c) tai selvistä erillisistä pulsseista (8.4d ja 2.10d) ja sisältää harmonisia komponentteja laajalla taajuusalueella.

Laajakaistaiset ja pulssimaiset kentät voidaan aina aaltomuodosta riippumatta hajottaa eri taajuuksien sini- tai kosinimuotoisten komponenttien spektriksi. Harmoniset taajuudet voidaan laskea kaavasta $f_n = nf_1$, missä n on kokonaisluku, joka voi saada arvoja nollan ja äärettömän välillä ja f_1 on perustaajuus, joka esimerkiksi sähköverkossa on 50 Hz. Perustaajuutta ylempät taajuudet ovat yliaaltotaajuuksia. Tasakomponentista $f_0 = 0$ ei tarvitse tässä yhteydessä välittää, koska se ei kytkeydy kehoon. Laajakaistainen kenttä ei kuitenkaan välttämättä muodostu harmonisista komponenteista ja on myös mahdollista, että se muodostuu useamman toisistaan riippumattoman lähteen synnyttämästä summakentästä, jonka aaltomuoto muuttuu jatkuvasti eri taajuuskomponenttien summautuksessa toisiinsa satunnaisessa vaiheessa.

Aikatason aaltomuoto määräytyy spektrikomponenttien suhteellisista amplitudeista ja keskinäisistä vaiheista. Vaiheiden sekoittuminen tasaa summakentän aaltomuodon huippuarvoja, kuva 8.5a. On tietysti mahdollista, että kaikki komponentit saavuttavat huippuarvonsa samalla hetkellä. Tällöin aaltomuotoon syntyy terävä piikki, kuva 8.5b.

Monitaajuussääntö

Soveltaessa ICNIRPin ohjearvoja laajakaistaisiin ja pulssimaisiin kenttiin ICNIRP suosittelee käytettäväksi yleisenä menettelynä monitaajuussääntöä, mutta alle 100 kHz taajuuksilla vaihtoehtona on painotettuun huippuarvoon perustuva menetelmä (ICNIRP 2003), joka soveltuu kaikkiin laajakaistaisiin magneettikenttiin.

Monitaajuussääntö voidaan esittää taajuuksilla 10 MHz – 300 GHz siten, että sähkömagneettisen aallon tehotiheyden on täytettävä ehto

$$\sum_n \frac{S_n}{S_{L,n}} \leq 1 \quad (8.1)$$

missä S_n on mitattu tehotiheys harmonisella taajuudella f_n ($n = 1, 2, 3 \dots$) ja $S_{L,n}$ on vastaava enimmäisarvo. Toisin sanoen muodostetaan jokaisella taajuudella tehotiheyden ja altistumisrajan suhde ja lasketaan summat yhteen. Näin saatu altistumissuhde ei saa olla suurempi kuin yksi. Samanlaisella summakaavalla voidaan myös arvioida ylittykö koko kehon SAR:n tai paikallisen SAR:n perusrajoitus. Tämä monitaajuussäätö perustuu tietoliikennetekniikasta tunnettuun Parsevalin lauseeseen, jonka mukaan absorboitunut teho voidaan määrittää erikseen jokaisella taajuudella ja laskea kokonaisteho niiden summana.

Lähikentässä on käytettävä ekvivalentista tehotiheyttä tai vaihtoehtoisesti tehollisarvojen neliötä, jolloin altistumissuhteet sähkökentälle ja magneettivuontiheydelle ovat

$$\sum_n \frac{E_n^2}{E_{L,n}^2} \leq 1 \quad (8.2)$$

ja

$$\sum_n \frac{B_n^2}{B_{L,n}^2} \leq 1, \quad (8.3)$$

missä E_n on sähkökentän voimakkuuden tehollisarvo taajuudella f_n ja $E_{L,n}$ on sähkökentän voimakkuuden enimmäisarvo. B_n ja $B_{L,n}$ ovat vastaavia magneettivuontiheyksiä.

Sovellettaessa monitaajuussäätöä alle 100 kHz taajuuksilla, virrantiheyden ja kentänvoimakkuuksien altistumissuhteet lasketaan lineaarisesti yhteen, jolloin

$$\sum_n \frac{J_n}{J_{L,n}} \leq 1 \quad (8.4)$$

$$\sum_n \frac{E_n}{E_{L,n}} \leq 1 \quad (8.5)$$

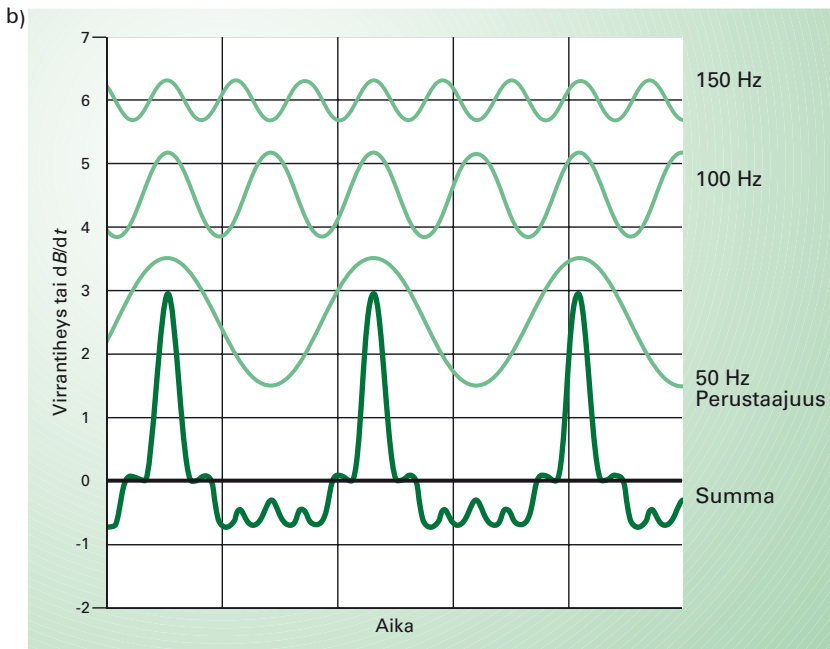
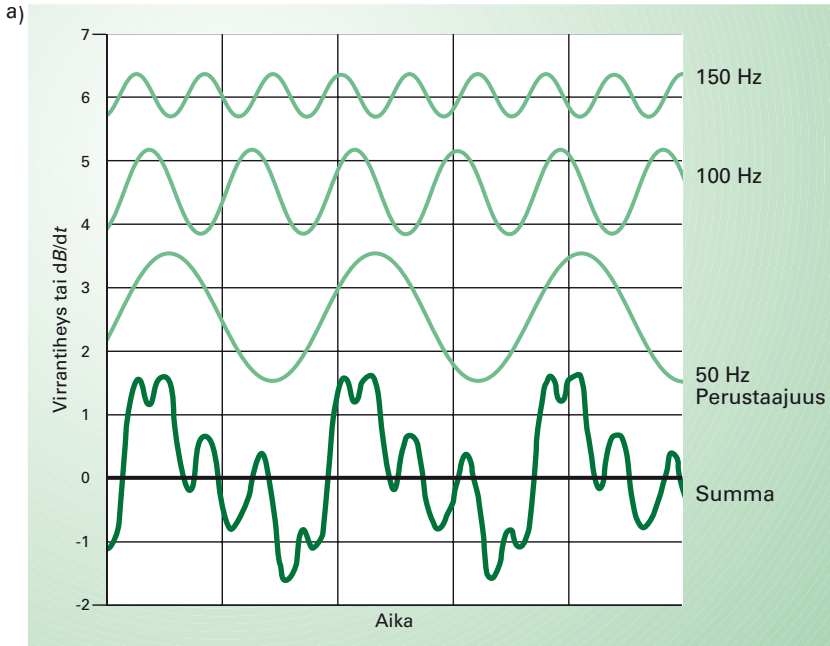
$$\sum_n \frac{B_n}{B_{L,n}} \leq 1, \quad (8.6)$$

missä J_n on virrantiheys taajuudella n ja $J_{L,n}$ on virrantiheyden enimmäisarvo taajuudella f_n .

Taajuusalueella 100 kHz – 10 MHz ICNIRP suosittelee sekä neliöllistä että lineaarista summausta. Neliöllisen summauksen tarkoituksena on ehkäistä lämpenemisestä aiheutuvia vaikutuksia ja lineaarisen summauksen stimulaatiosta syntyviä vaikutuksia.

Perusoletuksena lineaarisessa summauksessa on, että biologinen vaikutus määräytyy paikallisen virrantiheyden tai indusoituneen sähkökentänvoimakkuuden huippuarvosta ja että jokaista taajuuskomponenttia on painotettu sen biologisen tehokkuuden mukaisesti. Altistumisarvio tehdään varman päälle olettamalla, että spektrikomponentit saavuttavat huippunsa samanaikaisesti (kuva 8.5b). Tällainen menettely onkin asianmukaista silloin, kun kyseessä on muutamasta taajuuskomponentista muodostuva kenttä, jossa taajuudet eivät ole toistensa monikertoja tai vaiheet vaihtelevat satunnaisesti. Tällöin spektrikomponenttien huiput voivat hyvin välillä summautua yhteen samassa vaiheessa. Silloin, kun kyseessä on jaksoittain toistuvasta aaltomuodosta muodostuva kenttä, vaihe-erot unohtava lineaarinen summaus johtaa usein epärealistisen suureen altistumisarvioon. Vaihe-erojen huomioiminen tasoittaa tehokkaasti hetkellisiä kentänvoimakkuuspiikkejä, kuten edellä todettiin. Lisäksi luotettava spektrianalyysi esimerkiksi FFT-muunnoksen avulla on käytännön altistumistilanteissa usein hankala toteuttaa ja monitaajussäännön käyttö edellyttää hyvää spektrianalyysiä.

Altistumisrajoja voidaan soveltaa suoraan aikatason signaaliin käytämällä hyväksi Säteilyturvakeskuksessa vuonna 2000 kehitettyä painotetun huippuarvon menetelmää, jonka myös ICNIRP on vuonna 2003 hyväksynyt vaihtoehdoksi monitaajussäännön rinnalle. Menetelmä perustuu siihen ajatukseen, että altistumisrajojen perusteella voidaan kehittää biologisesti mielekäs painotusfunktio, joka voidaan toteuttaa yksinkertaisella suodattimella. Suodattimen siirtofunktiolla painotettua kentänvoimakkuuden huippuarvoa verrataan altistumisrajoista johdettuun vertailuarvoon. Menetelmää on selostettu tarkemmin seuraavassa kohdassa.



Kuva 8.5 Summakenttä riippuu vaihe-eroista

Laajakaistaisen yliaaltoja sisältävän kentän tapauksessa huippuarvo riippuu taajuuskomponenttien keskinäisistä vaiheista. Kuvassa a) kentän yliaaltojen keskinäiset vaiheet ovat enemmän tai vähemmän satunnaisesti jakautuneita ja summavirrantiheys on huippuarvoltaan pienempi kuin kuvassa b), jossa vaiheet sattuvat niin, että amplitudit saavuttavat huippunsa samalla hetkellä.

Painotetun huippuarvon soveltaminen virrantiheyteen

ICNIRP:n suosituksen mukaan virrantiheyttä tulisi rajoittaa voimakkaimmin alle 1 kHz taajuuksilla. Laajakaistaista mittausta tehtäessä on siis oleellista painottaa näitä alle 1 kHz taajuuksia enemmän kuin suurempia taajuuksia. Painotus voidaan tehdä suodattamalla indusoitunutta virrantiheyttä sellaisella alipäästösuodattimella, jonka taajuusvaste G on muotoa

$$G = \frac{J_{ref}}{J_{L,n}} \quad (8.7)$$

$$J_{L,n} = \sqrt{1 + (f_n / f_c)^2} J_{ref}, \text{ missä} \quad (8.8)$$

$J_{L,n}$ on virrantiheyden perusrajoitus huippuarvona taajuudella f_n , J_{ref} on vertailuarvo ja $f_c = 1000$ Hz on rajataajuus, jolla virrantiheyden perusrajoitus alkaa lineaarisesti muuttua, kuva 8.6c. Paloittain lineaarisesti muuttuva virrantiheyden perusrajoitus on tässä likimääräistetty yksinkertaisella funktiolla. Tällainen suodatus voidaan toteuttaa yksinkertaisella vastuksesta R ja kondensaattorista C muodostuvalla RC-suodattimella.

Virrantiheydelle johdettu vertailuarvo J_{ref} saadaan kertomalla virrantiheyden perusrajoituksen tehollisarvo taajuusalueella 4–1000 Hz kertoimella $\sqrt{2}$ eli muuntamalla tehollisarvo huippuarvoksi (taulukko 8.9). J_{ref} on vakio koko alle 100 kHz mittausalueella.

	Perusrajoitus J (tehollisarvo taajuudella 4 -1000 Hz)	Vertailuarvo J_{ref} alle 100 kHz (huippuarvo)
Työntekijät	10 mA/m ²	$\sqrt{2} \cdot 10 \text{ mA/m}^2 = 14 \text{ mA/m}^2$
Väestö	2 mA/m ²	$\sqrt{2} \cdot 2 \text{ mA/m}^2 = 2,8 \text{ mA/m}^2$

Taulukko 8.9 Perusrajoituksista johdetut vertailuarvot virrantiheydelle, kun kyseessä on laajakaistainen signaali ja käytetään painotetun huippuarvon menetelmää.

Painotetun huippuarvon soveltaminen magneettivuon tiheyteen

Käytännön altistumismäärittelyksissä on helpompi käyttää ulkoisia kentänvoimakkuuksia ja verrata niitä sitten viitearvoihin.

Kun mitataan painotettua magneettivuon tiheyttä muuttuu alipäästösuo-
datin ylipäästösuo-dattimeksi, jonka taajuusvaste on

$$G = \frac{B_{ref}}{B_{L,n}} \quad (8.9)$$

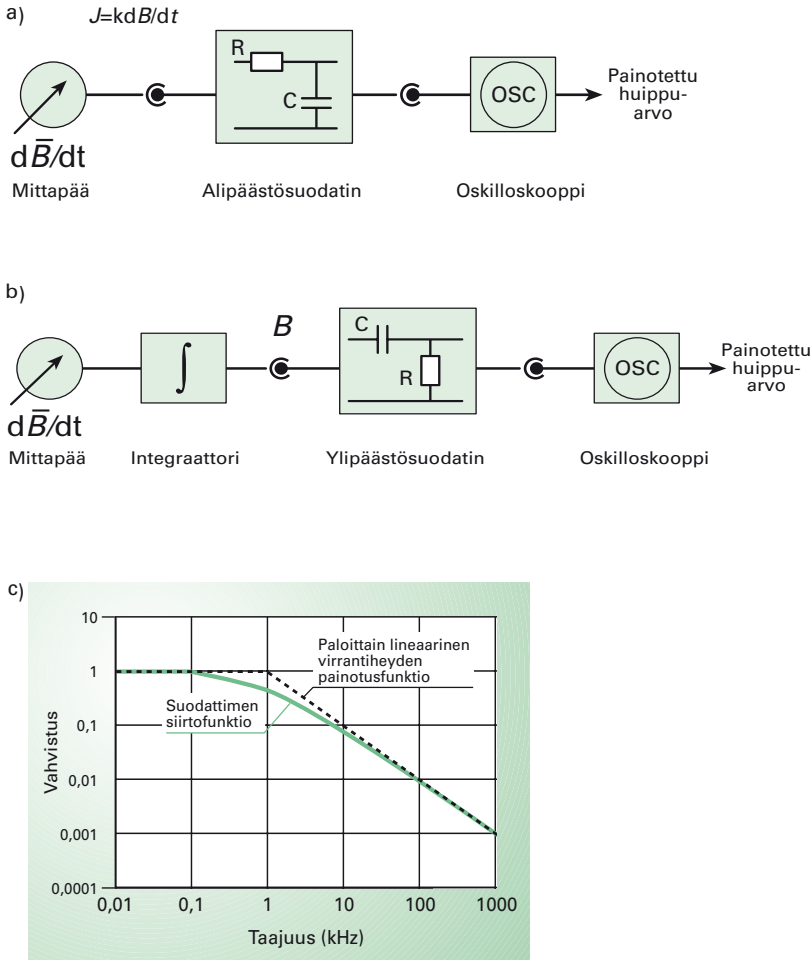
$$B_{L,n} = \frac{\sqrt{1 + (f_n / f_c)^2} B_{ref}}{f_n / f_c}, \quad (8.10)$$

missä $B_{L,n}$ on magneettivuon tiheyden viitearvo muunnettuna huippuar-
voksi ja B_{ref} on magneettivuon tiheyden johdettu vertailuarvo, joka saa-
daan muuntamalla suurtaajuinen ($f_n > f_c$) viitearvo huippuarvoksi (tau-
lukko 8.10). Tarkasti ottaen f_c on väestölle 800 Hz ja työntekijöille 820
Hz, mutta mitä tahansa arvoa näiden taajuuksien välissä voidaan käyt-
tää tekemättä merkittävää virhettä.

Kyseessä on jälleen sama asia, jos magneettivuon tiheyttä painotettaisiin
suoraan vastuksesta R ja kondensaattorista C muodostuvalla RC-yli-
päästösuo-dattimeella (kuva 8.6b) ja näin saatua painotettua huippuar-
voa verrattaisiin vertailuarvoon B_{ref} . Vertailuarvo voitaisiin valita myös
alle 800 Hz taajuudella, kun vain huomataan kalibroida mittausjärjestel-
mä kyseisellä taajuudella. Esimerkiksi 50 Hz vertailuarvo on kätevä mi-
tattaessa sellaisia kenttiä, joilla on voimakas 50 Hz taajuinen peruskom-
ponentti. Kuvassa 8.7 on havainnollistettu miten magneettivuontiheyden
painotus korostaa 50 Hz kentässä olevia yliaaltoja.

	Viitearvo B (tehollisarvo taajuudella 1 kHz-100 kHz)	Vertailuarvo B_{ref} alle 100 kHz (huippuarvo)
Työntekijät 0,82 – 65 kHz	30,7	$\sqrt{2} \cdot 30,7 \mu T = 44 \mu T$
Väestö 0,8 – 150 kHz	6,25	$\sqrt{2} \cdot 6,25 \mu T = 8,8 \mu T$

Taulukko 8.10 Viitearvoista johdetut vertailuarvot magneettivuon tiheydelle, kun kyseessä on laajakaistainen signaali ja käytetään painotetun huippuarvon menetelmää.



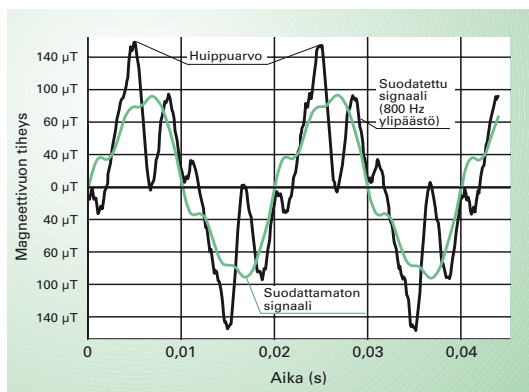
Kuva 8.6 Virrantiheyden ja magneettivuontiheyden mittausperiaate

a) Indusoitunut virrantiheys (J) on suoraan verrannollinen magneettivuontiheyden aika-derivaataan eli muutosnopeuteen (dB/dt). Silmukka-antennin lähtöjännite $\sim dB/dt$ suodatetaan RC-piiristä muodostuvalla alipäästösuodattimella (fysiologinen painotus), joka on johdettu taajuuden funktiona muuttuvasta virrantiheyden perusrajoituksesta.

b) Magneettivuontiheys mitataan useimmiten integroimalla simukka-antennin lähtöjännite. Fysiologinen painotus tehdään ylipäästösuodattimella, joka on johdettu taajuuden funktiona muuttuvasta magneettikentän viitearvosta. Mittaussignaalin painotettua huippuarvoa verrataan vertailuarvoon B_{ref} altistumisen arvioimiseksi. Integraattorin ja RC-ylipäästösuodattimen yhdistetty siirtofunktio on identtinen alipäästösuodattimen siirtofunktion kanssa. Kumpikin rakenne tuottaa siis saman tuloksen.

c) RC-käyrän vaste on likimääräisesti paloittain lineaarisesta, taajuuden funktiona muuttuvasta ohjearvosta. Paloittainen lineaarinen suodatus on tarkempi, mutta hankalampi toteuttaa käytännössä.

RC-alipäästösuodatin on karkea yksinkertaistus hermosolun sähköisestä mallista, katso kappale 4.4. Pienillä taajuuksilla ($f < f_c$) solukalvon yli indusoitunut vaihtojännite ei riipu taajuudesta, mutta suurilla taajuuksilla se pienenee kääntäen verrannollisesti taajuuteen.



Kuva 8.7 Esimerkki biologisen painotuksen vaikutuksesta 50 Hz magneettikentän aaltomuotoon

Verkkotaajuisessa 50 Hz kentässä on tyypillisesti yliaaltoja aina 2 kHz asti. Kuvassa on alkuperäinen painottamaton (suodattamaton) magneettivuon tiheys sekä painotettu (suodatettu) aaltomuoto. Painotus on toteutettu suodattamalla signaalia 800 Hz ylipäästösuodattimella. Yliaaltosuodatus korostaa yliaaltoja, jotka näkyvät sinimuotoisen signaalin säröytymisenä. Suodatetusta signaalista luetaan huippuarvo, jota verrataan vertailuarvoon. Vertailuarvo on johdettu viitearvoista, katso taulukot 8.9 ja 8.10. Vertailuarvo ei riipu taajuudesta, vaan on sama koko taajuusalueella alle 100 kHz.

Pulssimaisen mikroaaltosäteilyn rajoittaminen

Päähän osuvat intensiiviset mikroaaltopulssit saattavat aiheuttaa häiritsevän kuuloilmiön. Ilmiö esiintyy jo muutaman pulssin jälkeen ja sen kynnystaso määräytyy hetkellisestä pulssinaikaisesta teho- ja energiatiheydestä. Kuuloilmiön synnyn mekanismi tunnetaan hyvin, ja ilmiötä on selostettu tarkemmin kohdassa 4.3. Pulssivaikutusten ehkäisemiseksi ICNIRP rajoittaa radiotaajuisten kenttien hetkellistä tehotiheyttä ja pulssinaikana kudokseen absorboituvaa energiaa, joka ilmoitetaan ominaisabsorptiona SA (ominaisabsorptionopeus x aika). Lämpövaikutukset taas määräytyvät keskimääräisestä tehotiheydestä tai ominaisabsorptionopeudesta.

Yli 10 MHz taajuudella hetkellinen pulssitehoitiheys saisi olla korkeintaan kertoimella 1000 suurempi kuin taulukossa 8.6 esitetty keskimääräinen ekvivalenttinen tehoitiheys. Yhden pulssin aiheuttama ominaisabsorptio saisi taajuusalueella 0,3–10 GHz olla korkeintaan 10 mJ/kg työntekijöille ja 2 mJ/kg koko väestölle. ICNIRP ei määrittele vastaavaa yhden pulssin energiatihelyttä.

8.3 | Euroopan unioni

Suosituksia ja direktiivejä

Euroopan unionin neuvosto vahvisti vuonna 1999 suosituksen, jossa esitetään pääperiaatteet ja ohjearvot väestöön kohdistuvien sähkömagneettisten kenttien aiheuttaman altistumisen rajoittamiseksi. Suosituksen ohjearvot noudattavat ICNIRPin julkaisemia väestöä koskevia ohjearvoja.

Euroopan unionin ohjearvot koskevat altistumista, joka jatkuu merkittävän ajan. Käytetty ilmaisutapa jättää jossain määrin tulkinnanvaraiseksi, minkä kestoisia altistumisia tulisi rajoittaa ja miten ne määritellään. Käytännössä ainakin kotona, pihalla, lastentarhassa ja koulussa esiintyvä sähkömagneettinen kenttä aiheuttaa epäilyksittä merkittävän ajan kestäväää altistumista, kun taas satunnainen liikkuminen voimajohdon alla ei mitä ilmeisimmin kuulu tähän kategoriaan.

Suosituksen tarkoituksena on edistää sähkömagneettisia kenttiä koskevien turvallisuusnormien yhdenmukaista kehittymistä jäsenmaissa. Suositus ei ole juridisesti velvoittava direktiivi, mutta käytännössä se ohjaa varsin tehokkaasti jäsenmaita siihen suuntaan, että esitetyt ohjearvoja ei ainakaan ylitettäisi kansallisissa säädöksissä. Radio- ja telepäätelaitteiden aiheuttamien kenttien kohdalla suositus on käytännössä muuttunut vaatimukseksi, koska näitä laitteita koskevan direktiivin (1999/5/EC) turvallisuusvaatimukset katsotaan kenttien osalta täytetyiksi vain, jos niistä aiheutuva altistuminen ei ylitä neuvoston suosittelemia ohjearvoja. Myös vanhaa pienjännitedirektiiviä vuodelta 1973 (73/23/EEC) ollaan uudistamassa samaan suuntaan.

Monen vuoden tauon jälkeen EU:n komissio käynnisti myös työntekijöiden sähkömagneettisille kentille altistumista rajoittavan direktiivin valmistelun ICNIRPin työntekijöitä koskevien ohjearvojen pohjalta. Euroopan unioni antoi vuonna 2004 direktiivin (2004/40/EY) työntekijöiden

terveyttä ja turvallisuutta koskevista vähimmäisvaatimuksista. Se pitää sisällään määräykset työntekijöiden suojelemiseksi tarkoituksena rajoittaa altistumista fysikaalisista tekijöistä (sähkömagneettiset kentät) aiheutuville riskeille. Tämä sähkö- ja magneettikenttiä koskeva työsuojeludirektiivi tulee saattaa voimaan myös Suomessa neljän vuoden siirtymäkauden aikana vuoteen 2008 mennessä. Siihen asti noudatetaan sosiaali- ja terveystieteiden päätöstä ionisoimattoman säteilyn altistuksen enimmäisarvoista (1474/1991). Näiden noudattamista työpaikoilla valvovat työsuojeluviranomaiset.

Tekninen standardointi

CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) on ryhtynyt laatimaan Euroopan unionin komission tukemana teknisiä standardeja, joiden avulla voidaan varmistua, että sähkömagneettisia kenttiä tuottavat laitteet eivät ylitä neuvoston suosittamia perusrajoituksia ja viitearvoja. Matkapuhelimia ja tuotesuojaportteja koskevat perus- ja tuotestandardit vahvistettiin vuoden 2001 aikana.

Perusstandardeissa (basic standards) esitetään mittauksiin ja laskentaan perustuvat testausmenetelmät eri laiteryhmille, ja tuotestandardeissa (product standards) referenssiarvot, joita testattava laite ei saisi ylittää. Valmistajilla on tukiasemien radiotaajuussäteilyä, kotitalouslaitteiden magneettikenttiä ja hitsauslaitteiden magneettikenttiä koskevia standardeja. Lisäksi valmistellaan yleisiä (generic) standardeja, joiden avulla voidaan määrittää sellaisten laiteryhmien vaatimustenmukaisuus, joita varten ei ole perusstandardeja.

8.4 | Valvonta Suomessa

Valvonnan perusteet

Ionisoimattoman säteilyn käyttöön perustuvien tai sitä muuten tuottavien teknisten sovellusten lisääntyessä alkoi karttua myös tieto riski- ja vaaratekijöistä. Niitä selvitettiin Suomessa jo 1970-luvulla silloisessa Säteilyturvallisuuslaitoksessa ja Työterveyslaitoksessa. Kun tietoa oli saatu riittävästi, oli aika käynnistää säädösvalmistelu turvallisuusnormien antamiseksi ja niiden noudattamisen valvonnan järjestämiseksi.

Vuonna 1985 antoi valtioneuvosto päätöksen suurtaajuuslaitteista ja niiden tarkastuksesta. Päätöksen perustana oli senaikainen työturvallisuuslaki, ja siinä määrättiin raja-arvot ammattikäyttöön tarkoitettujen suurtaajuuskuumentimien hajasäteilylle. Tavoitteena oli varmistaa näitä laitteita käyttävien työntekijöiden turvallisuus.

Seuraavana vuonna 1986 lisättiin säteilysuojauslakiin pykälä, jolla lain soveltamisalaan kytkettiin ionisoimaton säteily. Lain päätarkoituksena säilyi edelleen ionisoivan säteilyn käytön turvallisuus, mutta lisäys antoi valtuuden puuttua selviin turvallisuuspuutteisiin myös ionisoimattoman säteilyn puolella. Lisäystä täydennettiin sittemmin ionisoimattoman säteilyn valvontaa koskevalla asetuksella. Säteilysuojauslain – nytemmin säteilylain – rooli ionisoimattoman säteilyn valvonnassa alkoi jo tässä vaiheessa muotoutua niin, että säteilylain nojalla voidaan puuttua sellaisiin turvallisuusongelmiin, joita muu lainsäädäntö ei kata ja joiden kohdalla ei valvovaa viranomaista luonnostaan ole.

Säteilylainsäädäntö uudistettiin 1990-luvun alussa. Samalla annettiin ensimmäiset säteilylakiin perustuvat aineelliset turvallisuusnormit eli altistuksen enimmäisarvot ionisoimattoman säteilyn alueella. Sosiaali- ja terveysministeriön päätöksellä ionisoimattoman säteilyn altistuksen enimmäisarvoista (1474/1991) vahvistettiin enimmäisarvot lasersäteilylle, ultraviolettisäteilylle sekä radiotaajuiselle säteilylle yli 100 kHz taajuusalueella.

Radiotaajuisen säteilyn enimmäisarvot perustuivat ICNIRP:n edeltäjän IRPA/INRC:n julkaisemaan kansainväliseen suositukseen vuodelta 1988. Enimmäisarvot asetettiin porrastetusti sen mukaan, tapahtuiko altistuminen valvotuissa olosuhteissa (työntekijä työpaikallaan, ammatillinen altistus), vai valvomattomissa olosuhteissa, kuten yleisellä paikalla tai kotioiloissa (väestöaltistus). Lähtökohta oli, että valvomattomissa olosuhteissa varmuusmarginaalien tulee olla leveämmät kuin valvotuissa olosuhteissa. Tämä oli perusteltua jo siitäkkin syystä, että väestön yksilöön kohdistuva altistuminen esimerkiksi kotioiloissa voi olla jatkuvaa (24 h/vrk), kun taas työpaikalla tapahtuva ammatillinen altistuminen vain harvoin ajallisesti ylittää 8 h/vrk.

Säädösperusta tänään

Vuoden 2003 alusta voimaan tullut uusi *työturvallisuuslaki* (738/2002) tarjoaa pohjan ammatillista altistumista koskevan turvallisuusnormiston

ajan tasalla pitämiselle. Työturvallisuuslain ja säteilylain välinen roolijaako selkeytynee ajan mittaan siten, että työntekijöiden altistumista koskevat turvallisuusnormit annetaan työturvallisuuslain nojalla ja väestön altistumista koskevat turvallisuusnormit säteilylain nojalla.

Työturvallisuuslain voimaantulosäännöksen mukaan vanhan lain nojalla annetut asetukset ja päätökset ovat voimassa, kunnes ne erikseen kumotaan. Tämän mukaisesti esimerkiksi vuoden 1985 päätös suurtaajuuslaitteista ja niiden tarkastuksesta (VNp 473/1985) on toistaiseksi voimassa, vaikka sitä voidaan pitää sisällöltään jonkin verran vanhentuneena.

Sähkö- ja magneettikenttäaltistumista koskevan työturvallisuusnormiston kehitys on paljolti sidoksissa yleiseurooppalaiseen kehitykseen, jota Euroopan unionissa ohjataan jäsenvaltioita velvoittavilla direktiiveillä. Sidoksen hyvä puoli on turvallisuusnormiston yhtenäistyminen, mikä puoltaa paikkaansa työvoiman vapaan liikkuvuuden alueella. Toisaalta direktiivien valmistelu monikansallisessa ympäristössä vie oman aikansa, mikä saattaa käytännössä hidastaa kansallisen normiston kehittämistä.

Sosiaali- ja terveysministeriön päätös ionisoimattoman säteilyn altistuksen enimmäisarvoista (1474/1991) on edelleen voimassa niiltä osin kuin se koskee ammatillista altistumista: päätöstä sovelletaan työpaikoilla radiotaajuiseen säteilyyn yli 100 kHz taajuusalueella. Jokseenkin varmaa kuitenkin on, että viimeistään kun yleiseurooppalaisen työturvallisuusnormituksen taso tiedetään, ammatillista altistumista koskevat normit uudistetaan kauttaaltaan ja vuoden 1991 STMp siirtyy lopullisesti historiaan. Viimeistään kun sähkö- ja magneettikenttiä koskeva työsuojeludirektiivin neljän vuoden siirtymäaika on vuonna 2008 kulunut, direktiivi on saatettava voimaan myös Suomessa.

Säteilylain (592/1991) soveltamisalaan kuuluu ionisoimaton säteily ja täten myös sähkö- ja magneettikenttien aiheuttama altistuminen. Laissa on säädetty ainoastaan kaikkein olennaisimmat perusteet ja valtuutukset. Altistumisen enimmäisarvojen vahvistaminen on lain 43 §:ssä osoitettu sosiaali- ja terveysministeriön tehtäväksi.

Sosiaali- ja terveysministeriö antoi vuonna 2002 uuden asetuksen ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistumisen rajoittamisesta (294/2002). Samalla kumottiin vuoden 1991 STM:n päätös väestöaltistumista koskevilta osiltaan. Uudistuksen valmistelu lähti käyntiin ICNIR-Pin julkaistua uudet ohjearvonsa (kohta 8.2), joskin poliittisesti ratkaise-

va sysäys tuli vuotta myöhemmin, kun Euroopan unionin neuvosto antoi väestön altistumisen rajoittamista koskevan suosituksensa. Siinä kehoitettiin unionin jäsenvaltioita toimimaan sähkömagneettisista kentistä aiheutuvaa väestöaltistumista rajoittavan normiston kehittämiseksi.

Vaikka suositus ei oikeudellisesti pakota, sen tosiasiallinen ohjausvoima tuntuu koko unionin alueella. Sähkö- ja magneettikenttien aiheuttama altistuminen koskettaa laajoja väestöryhmiä, käytännöllisesti katsoen kaikkia modernissa yhteiskunnassa eläviä ihmisiä. Näin ollen on luonnollista, että altistumista ja sen mahdollisia vaikutuksia koskeva tieto puhuttelee sekä mediaa että kansalaisia. Kun neuvoston suosituksen takana olivat alan arvostetuimmat asiantuntijat (ICNIRP), oli yhteiskunnallinen tilaus suositukselle aivan ilmeinen ja reagointi jäsenvaltioissa tämän mukaista.

Neuvoston suosituksen tosiasiallista vaikutusta on omiaan lisäämään sekin, että jäsenvaltioiden tulee määrätyn ajan kuluttua suosituksen antamisesta raportoida EU:n komissiolle toimenpiteistään tai siitä, että toimenpiteitä ei ole.

Väestön altistumista koskeva asetus (294/2002)

Asetuksen soveltamisala kattaa sähkö- ja magneettikentät, lasersäteilyn ja ultraviolettisäteilyn. Uusien UV-normien kansanterveydellistä merkitystä väheksymättä voidaan väittää, että sähkö- ja magneettikenttiä koskevien altistusnormien laajentaminen pientaajuisiin alle 100 kHz kenttiin ja matkapuhelimien säteilyyn olivat uuden asetuksen yhteiskunnallisesti kauaskantoisimpia osia.

Alle 100 kHz kentistä (voimajohdot, sähkölaitteet) aiheutuvaa altistumista rajoittavat normit annettiin suositusarvoina, mikä tarkoittaa, että arvon ylittäminen ei ainakaan suoraan aiheuta juridisesti pakottavia seuraamuksia. Omaksuttu pehmeämpi ohjauslinja perustuu siihen, että tieto pientaajuisien kenttien mahdollisista vaikutuksista on suositusarvojen yläpuolellakin epävarmaa. Tieteellistä näyttöä terveydellisistä haitoista ei ole, mutta ei niitä ole voitu tieteellisesti vakuuttavalla tavalla voitu sulkea poiskaan. Kun erilaisten sähkölaitteiden ja asennusten kentät väistämättä kuuluvat jokapäiväiseen elämäämme, eli altistuvia ihmisiä on erittäin paljon, on mitä tyypillisin aihe painottaa modernia turvallisuusajattelua: kun emme voi olla varmoja, mitoitamme altistusnormit mieluummin alemmaksi kuin ylemmäksi, jos voimme tehdä sen käytännön yhteiskuntaelämää kohtuuttomasti rasittamatta.

Turvallisuusajattelua, jota pientaajuisten sähkömagneettisten kenttien suositusarvojen määrittelyssä on seurattu, on edellä luonnehdittu karkeasti yksinkertaista. Joka tapauksessa suositusarvojen eräs olennainen ulottuvuus on, että niillä vaikutetaan sähkölaitteiden ja -laitteistojen suunnitteluperusteiden kehitykseen. Toisaalta on voitu havaita, että varsinkin sellaisissa tapauksissa, joissa luotettavilla mittauksilla on varmennettu suositusarvojen jatkuva ylittyminen, on löytynyt valmiutta toimenpiteisiin altistumisen vähentämiseksi ilman juridista pakkoa.

Oikeusnormien tarkoitus on vaikuttaa yksilöiden ja yhteisöjen käyttäytymiseen, saada aikaan toivottua käyttäytymistä. Kun suositusarvoja tarkastellaan tästä näkökulmasta, niiden ohjausvaikutus on painokkaampi kuin miltä muodollisesti katsoen saattaisi näyttää. Jo se seikka, että arvot on ilmaistu asetustasoisella säädöksellä, on signaali, joka on syytä huomioida.

Sinimuotoisia sähkö- ja magneettikenttiä koskevat altistumisen rajoittamiskriteerit ovat asetuksessa yhdenmukaiset ICNIRP:n ohjearvojen kanssa (taulukot 8.3 – 8.8). Virrantiheyttä ja ominaisabsorptionopeutta koskevat raja-arvojen (perusrajoitusten) merkitys on samankaltainen kuin ICNIRP ja Euroopan unionin neuvosto ovat suositelleet. Jos ne voidaan luotettavasti määrittää eivätkä raja-arvot ylity, voidaan kentänvoimakkuuksille, indusoituneille virroille tai kosketusvirroille esitetyt johdetut arvot tietyissä tapauksissa ylittää.

Taulukoissa 8.3–8.8 olevia ohjearvoja sovelletaan merkittävän ajan kestävään altistumiseen alle 100 kHz taajuuksilla. Ilmaus merkittävän ajan on peräisin EU:n neuvoston suosituksesta; millaista aikaa käytännössä on pidettävä merkittävänä, on jätetty jäsenvaltioiden asiaksi. Sisällön antaminen tälle ilmaukselle voi olla sidoksissa myös asiayhteyteen, millainen säteilylähde ja altistumistilanne on kyseessä. Lisäksi kun soveltamiskäytäntöä on toistaiseksi vähän, ei ole tarkoituksenmukaista pyrkiä tässä esityksessä tyhjentävään määrittelyyn.

Joitakin suuntaa antavia näkökohtia voidaan kuitenkin sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen taustamateriaaliin perustuen esittää.

Esimerkiksi asunnot, koulut, päiväkodit ja näihin rinnastettavat, joissa oleskellaan säännöllisesti tai ainakin toistuvasti pitkäaikaisia aikoja, ovat epäilyksittä sellaisia paikkoja, joissa esiintyvä kenttä altistaa oleskelijää merkittävän ajan. Samaa on sanottava näiden paikkojen piha-alueista. Toisaalta on ilmeistä, että esimerkiksi marjojen poimiminen tai kyntötöi-

den tekeminen voimajohdon alla ei täytä merkittävän ajan kriteeriä siinä mielessä, että johdon sijoitukseen tai sen alla liikkumiseen pitäisi tästä syystä puuttua. Marjastus ja maanviljelystyö ovat kausiluonteisia, tiettyyn vuodenaikaan sijoituvia toimintoja, ja liikkuminen johdon alapuolella on sesonkiaikaanakin yleensä satunnaista ja verraten lyhytkestoista.

Euroopan unionin neuvoston suositus vaikenee altistumisesta, joka kestää vähemmän kuin merkittävän ajan. Sitä vastoin suomalaiseseen säännöstöön otettiin kriteerejä myös lyhytaikaisten ja satunnaisten altistumistilanteiden arvioimiselle. Niinpä asetuksessa on vahvistettu, että lyhytaikaiseen ja satunnaiseen altistumiseen voidaan soveltaa virrantiheyden ja magneettikentän suositusarvoja viisinkertaisina ja sähkökentän suositusarvoja kolminkertaisina. Esimerkiksi 50 Hz taajuudella lyhytaikaisen ja satunnaisen altistumisen rajoittamiskriteerit ovat 500 μT magneettikentälle ja 15 kV/m sähkökentälle (tehollisarvoina).

Yli 100 kHz taajuuksilla altistumisen kesto ei vaikuta altistumisen enimmäisarvoon keskiarvoistusta ja pulssirajoituksia lukuunottamatta. Asetuksessa ja sen liitteissä määritellyt enimmäisarvot koskevat sekä lyhytaikaista että pidempiaikaista altistumista.

Laajakaistaisten ja monitaajuisten kenttien kohdalla altistuminen arvioidaan taajuusalueella 100 kHz – 300 GHz kullakin taajuudella erikseen ja altistumissuhteet lasketaan kaavojen 8.1–8.6 mukaisesti joko neliöllisesti (kentänvoimakkuudet) tai lineaarisesti (tehotiheydet) yhteen. Alle 100 kHz laajakaistaiseen kenttään sovelletaan painotettuun huippu-arvoon perustuvaa menettelyä, jota on selostettu kappaleessa 8.2.

Pulssimaisen radiotaajuuden säteilyn hetkellisiä pulssiarvoja rajoitetaan samoin kuin ICNIRPin ohjearvoissa, minkä lisäksi käyttöön on otettu ominaisabsorptiota rajoittava enimmäisarvo. Se on 20 mJ/m^2 alle 30 μs pituisille pulseille 0,3–10 GHz taajuuksilla.

Säteilyturvakeskuksen turvallisuusohjeet

Säteilylain 70 §:n mukaan Säteilyturvakeskuksen tulee antaa tämän lain mukaisen turvallisuustason toteuttamista koskevia yleisiä ohjeita. Tähän perustuen Säteilyturvakeskus julkaisee ST-ohjeita, joissa esitetään tarkemmin kyseiseen säteilyn käyttöön tai säteilyä aiheuttavaan toimintaan sovellettavat turvallisuusvaatimukset. Samalla ohjeissa kuvataan Säteilyturvakeskuksen valvontatoiminnassaan noudattamat menettelyt. Tarkoitus on

antaa säteilytoiminnan harjoittajalle kokonaiskuva siitä, mitä hänen on noudatettava ja otettava huomioon toimintansa turvallisuuden kannalta.

ST-ohjeet on järjestetty sarjaksi, jonka alasarjassa ST 9- ovat ionisoimattoman säteilyn turvallisuutta koskevat ohjeet. Ohjeet julkaistaan oikeusministeriön valtakunnalliseen Finlex-säädös pankkiin kuuluvassa Säteilyturvakeskuksen määräyskokoelmassa (<http://www.finlex.fi/normit/html>). Määräyskokoelmaan pääsee myös STUKin omilta Internet-sivuilta (<http://www.stuk.fi>).

Jo 1990-luvun alussa STUK antoi sähkömagneettisia kenttiä koskien ohjeen pulssitutkien säteilyturvallisuudesta (ST 9.2), ja ohjeen ULA- ja TV- asemien mastotöiden säteilyturvallisuudesta (ST 9.3). Kumpikin ohje päivitettiin vuonna 2003. Altistumista koskevan turvallisuusnormiston kehittäessä myös tarve määrittämenetelmien kehittämiseen ja vakioimiseen on ilmeinen. Tämä tulee mitä todennäköisimmin heijastumaan Säteilyturvakeskuksen ST-ohjeiden kehittämiseen.

ST-ohjeet ovat säteilylakiin perustuvaa turvallisuussäännöstöä, vapaasti sanoen sen alin kerrostuma. Ohjeiden lisäksi Säteilyturvakeskus toimittaa turvallisuusjulkaisuja ja katsauksia, joiden kohderyhmiä ovat säteilytoiminnan harjoittajat, kansalaiset, viranomaiset ja tiedotusvälineet. Tarkoitus on tutkittuun tietoon perustuvan informaation jakaminen ja tätä kautta turvallisuustietoisien ajattelutavan lisääminen.

Käytännön valvonnasta

Sähkö- ja magneettikentät koskettavat monien viranomaisten toimialoja tavalla tai toisella. Näitä viranomaisia ovat muun muassa työsuojeluviranomaiset, terveysviranomaiset, Viestintävirasto, Turvatekniikan keskus, ja Lääkelaitos. Tiettyä koordinaatiota tarvitaan, jotta viranomaiset eivät toimi ristiin. Toisaalta mitään turvallisuuden kannalta olennaista ei saisi jäädä tekemättä.

Aiemmin jo viitattiin Säteilyturvakeskukselle 1980-luvulta alkaen muotoutuneeseen rooliin. Säteilyturvakeskus pitää silmällä etenkin sellaisia turvallisuusongelmia, joihin ei ole säteilylain ulkopuolista lainsäädäntöä ja joita valvovaa viranomaista ei täten luonnostaan ole. Erityisen tyypillinen tämä rooli on sähkö- ja magneettikenttien valvonnassa, joka vaatii melkoisesti erikoisasiantuntemusta, kehitystyötä ja jatkuvaa uuden tiedon omaksumista.

Käytännön valvonnan perusteita järjestelee ionisoimattoman säteilyn valvonnasta annettu asetus (1306/1993). Säteilylain nojalla annettu asetus keskittyy ensisijaisesti Säteilyturvakeskuksen valvonta- ja asiantuntijaroolin määrittelyyn, mutta ottaa samalla huomioon, että ala liittyy useiden viranomaisten toimintaan. Asetus on hyvin täyttänyt paikkansa ionisoimattoman säteilyn valvonnan hallintoa määrittelevänä säädöksenä, vaikka aineelliset turvallisuusnormit ovatkin kehittyneet asetuksen antamisen jälkeen.

Ammatillista altistumista (työturvallisuutta) koskevat normit siirretään työturvallisuuslain alle niiltäkin osin kuin ne eivät siellä jo ole. Niiden noudattamista työpaikoilla valvovat työsuojeluviranomaiset. Väestöaltistumista koskevat normit (altistumisen enimmäisarvot) ovat säteilylainsäädännössä, mutta teknisiä normeja (kuten laitevaatimuksia) on usein muussa lainsäädännössä tai esimerkiksi alan kansainvälisissä standardeissa. Säteilyturvakeskus tekee asiantuntijana yhteistyötä toisten viranomaisten kanssa sekä suorittaa viranomaisena valvontatoimenpiteitä säteilylain ja valvonta-asetuksen mukaisissa kohteissa. Työterveyslaitos puolestaan tutkii, välittää tietoa, tarjoaa asiantuntijapalveluita ja kouluttaa työterveys- ja turvallisuusalan asiantuntijoita.

8.5 | Yhteenveto

Sähkömagneettisia kenttiä koskevat altistumisrajat kattavat nykyisellään koko spektrin staattisista kentistä aina 300 GHz taajuuksille. Altistumisen perusrajoitukset on määritetty kudoksessa vaikuttavana fysikaalisena suureena (virrantiheys, ominaisabsorptionopeus), joita kutsutaan perusrajoituksiksi, sekä ulkoisen sähkö- ja magneettikentän viitearvoina, joiden soveltaminen on käytännössä helpompaa kuin perusrajoitusten. Viitearvot eivät kuitenkaan ole täysin velvoittavia, jos voidaan osoittaa, että perusrajoituksia ei ylitetä. Rajoitusten tarkoituksena on varmistaa, että altistumisesta ei aiheudu sellaisia tieteellisesti osoitettuja vaikutuksia, jotka voivat olla haitallisia ihmisen terveydelle ja hyvinvoinnille. Tällaisia vaikutuksia ovat taajuusalueesta riippuen hermojen stimuloituminen, synapsien toiminnan häiriintyminen keskushermostotasolla (esimerkiksi magnetofosfenit), kipinäpurkaukset, kudosten lämpeneminen ja kuuloaistimukset (kuva 8.2). Koko väestöön sovelletaan hieman tiukempia rajoituksia kuin työntekijöihin, koska oletetaan, että työntekijät ovat koko väestöön verrattuna homogeenisempi ja yleisesti terveempi väestön osa, jonka turvallisuutta kyetään paremmin valvomaan. Turvamarginaalin suhde selvästi haitallisten vaikutusten ja työntekijöitä koskevien kentänvoi-

makkuusrajojen välillä vaihtelee taajuusalueesta ja kentästä riippuen välillä 3–10.

Suomessa sosiaali- ja terveysministeriö on vuonna 2002 vahvistanut asetuksella (294/2002) ajanmukaiset suositus- ja enimmäisarvot väestöön kohdistuville sähkömagneettisille kentille ja säteilylle. Ne perustuvat Euroopan unionin suositukseen vuodelta 1999 sekä kansainvälisen ionisoimattoman säteilyn toimikunnan ICNIRPin ohjearvoihin vuodelta 1998. Säteilyturvakeskus valvoo, että asetusta noudatetaan Suomessa.

KIRJALLISUUTTA

Altistumisnormit

ICNIRP. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. *Health Phys.*, 66: 100–106, 1994.

ICNIRP. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys.*, 74: 494–522, 1998.

ICNIRP. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: General approach to protection against non-ionizing radiation. ICNIRP statement, *Health Phys.*, 82: 540–548, 2002.

ICNIRP. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: Guidance on determining compliance of exposure to pulsed and complex non-sinusoidal waveforms below 100 kHz with ICNIRP guidelines. ICNIRP statement, *Health Phys.*, 84: 383–387, 2003.

IRPA/INIRC. International Radiation Protection Association/International Non-Ionizing Radiation Committee. Guidelines on limits of exposure to radiofrequency electromagnetic fields in the frequency range from 100 kHz to 300 GHz. *Health Phys.*, 54: 115–123, 1988.

Neuvoston suositus väestön sähkömagneettisille kentille (0 Hz – 300 GHz) altistumisen rajoittamisesta 1999/519/EY. Euroopan yhteisöjen virallinen lehti, L199: 59–70, 1999.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi terveyttä ja turvallisuutta koskevista vähimmäisvaatimuksista työntekijöiden suojaamiseksi altistumiselta fyysikaalisista tekijöistä (sähkömagneettisista kentistä) aiheutuille riskeille 2004/40/EY. Euroopan unionin virallinen lehti, L184: 1–9, 2004.

Säteilylaki (592/1991)

Asetus ionisoimattoman säteilyn valvonnasta (1306/1993).

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistumisen rajoittamisesta (294/2002).

Sosiaali- ja terveysministeriön päätös ionisoimattoman säteilyn altistuksen enimmäisarvoista (1474/1991).

Asetus ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistumisen rajoittamisesta. Asetus perusteluineen. Säteilysuojelu, säteilyturvakeskus, Helsinki 2002

IEEE. Institute of Electrical and Electronic Engineers. IEEE Standard for safety levels with respect to human exposure to radiofrequency electromagnetic fields 3 kHz to 300 GHz. IEEE Std C95.1-1999. New York: IEEE, 1999.

IEEE. Institute of Electrical and Electronic Engineers. IEEE Standard for safety levels with respect to human exposure to radiofrequency electromagnetic fields 3 kHz to 300 GHz. Luonnos IEEE C95.1/D2.0, 2005.

IEEE. Institute of Electrical and Electronic Engineers. IEEE Standard for safety levels with respect to human exposure to electromagnetic fields, 0 to 3 kHz. IEEE Std C95.6-2002. New York: IEEE, 2002.

Normien soveltaminen

CENELEC. Basic standard for the measurement of specific absorption rate related to human exposure to electromagnetic fields from mobile phones (300 MHz – 3 GHz). EN 50361, 2001.

IEC. Human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices-Human models, instrumentation, and procedures- Part 1: Procedure to determine the specific absorption rate (SAR) for hand-held devices used in close proximity to the ear (frequency range of 300 MHz to 3 GHz). IEC 62209-1, 2005.

CENELEC. Product standard to demonstrate the compliance of mobile telephones with the basic restrictions related to human exposure to electromagnetic fields (300 MHz – 3 GHz). EN 50360, 2001.

CENELEC. Limitation of human exposure to electromagnetic fields from devices operating in the frequency range 0 Hz to 10 GHz, used in Electronic Article Surveillance (EAS), Radio Frequency Identification (RFID) and similar applications. EN 50364, 2001.

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.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi radio- ja telepäätelaitteista ja niiden vaatimustenmukaisuuden vastavuoroisesta tunnustamisesta 1999/5/EY. Euroopan yhteisöjen virallinen lehti, 10–28, 1999.

Viranomaisohjeet, ST 9.2 Pulssitutkien säteilyturvallisuus, Säteilyturvakeskus, Helsinki, 2003.

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

STUK tiedottaa, 1/2003 rakennusten magneettikenttien mittaaminen, Säteilyturvakeskus, Helsinki, 2003.

Korpinen L. Yleisön altistuminen pientaajuisille sähkö- ja magneettikentille Suomessa, Sosiaali- ja terveysministeriö, Helsinki, 2003.

Kirjoja

Francheschetti G, Gandhi OP, Grandolfo M (toim.). Electromagnetic Biointeraction- Mechanisms, Safety Standards, Protection guidelines. Plenum Press, New York, 1989.

WHO. Electromagnetic fields (300 Hz to 300 GHz). Environmental Health Criteria 137. World Health Organisation, Geneva, 1993.

Artikkeleita

Reilly JP. Applied Bioelectricity: From Electrical Stimulation to Electropathology. New York, Springer-Verlag, 1998.

Jokela K. Restricting exposure to pulsed and broadband magnetic fields. Health Phys., 79: 373–388, 2000.

Raportteja

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

Keikko T, Sauramäki T, Korpinen L. Laajakaistaisille sähkö- ja magneettikentille altistuminen työympäristössä, erityisesti sähkön tuotannon, siirron ja jakelun työpaikoilla. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Sähkötekniikka ja terveys, raportti, Tampere, 2003.

Hietanen M. Electromagnetic fields in the work environment - Guidance for occupational exposure assessment. Finnish Institute of Occupational Health, Helsinki, 2002.

