

Säteily- ja ydin- turvallisuus

1 2 3 4 5 6 7

Sähkömagneettiset kentät

Toimittajat Heidi Nyberg ja Kari Jokela



Säteily- ja ydinturvallisuus -kirjasarjan toimituskunta:
Heidi Nyberg, Kari Jokela, Sisko Salomaa, Tarja K. Ikäheimonen,
Roy Pöllänen, Anne Weltner, Olavi Pukkila, Wendla Paile, Jorma Sandberg,
Olli J. Marttila, Jarmo Lehtinen ja Hilikka Karvinen

Julkaisija

Säteilyturvakeskus

Toimittajat

Heidi Nyberg ja Kari Jokela

Toimitussihteeri

Hilikka Karvinen

Taitto

Hilikka Karvinen ja Tero Tapiovaara

Kansi

Virma Oy

Grafiikka

Ulla Järvinen

Juha Järvinen

Copyright

Säteilyturvakeskus

ISBN

951-712-501-1 (sid.)

951-712-508-9 (pdf)

Paino

Karisto Oy:n kirjapaino, Hämeenlinna 2006

Tätä julkaisua myy

Säteilyturvakeskus, (09) 759 881

Laippatie 4, 00880 Helsinki

www.stuk.fi

ESIPUHE

Tämän kirjan tavoitteena on auttaa lukijaa ymmärtämään mitä ovat sähkömagneettiset kentät, missä niitä esiintyy, miten sähkömagneettiset kentät vaikuttavat ihmisen terveyteen ja milloin altistumista olisi syytä rajoittaa. Mukana on myös uusinta tutkimustietoa, jonka tarkoituksena on valottaa minkä tyyppisten kysymysten kanssa sähkömagneettisia kenttiä koskevien terveysvaikutusten tutkimus tällä hetkellä painiskelee.

Kirja soveltuu kurssikirjaksi tai kurssimateriaaliksi korkeakouluille, yliopistoille ja ammattikorkeakouluille. Lisäksi siitä toivotaan olevan hyötyä niille henkilöille, jotka työssään joutuvat tekemisiin sähkömagneettisten kenttien aiheuttamien turvallisuusnäkökulmien kanssa. Tähän kohderyhmään kuuluvat monet viranomaiset, terveydenhuollon henkilöstö, laitesuunnittelijat, työsuojelun ammattilaiset, ympäristöhygieenikot, tutkijat sekä tiedotusalan ammattilaiset.

Kirja on syntynyt osittain toisen toimittajan, tutkimusprofessori Kari Jokelan kurssin Sähkömagneettisten kenttien biologiset vaikutukset ja mittaukset pohjalta, jota professori Jokela on luennoinut 1990-luvun alusta lähtien Teknillisen korkeakoulun sähkö- ja tietoliikennetekniikan osastolla. Sisältöä on päivitetty ja se on laajentunut huomattavasti alkuperäiseen kurssimateriaaliin verrattuna. Kirjoittamiseen ovat osallistuneet alan parhaat suomalaiset asiantuntijat, joille esitämme lämpimät kiitokset vaivannäöstä. Säteilyturvakeskuksen ulkopuolisten kirjoittajien osuus on ollut aivan keskeinen erityisesti sähkömagneettisten kenttien biologisia ja terveydellisiä vaikutuksia ja riskikommunikaatiota koskevissa luvuissa.

Sähkömagneettisten kenttien turvallisuutta koskevan kirjan kirjoittamista on suuresti helpottanut se, että Suomessa on jo pitkään harjoitettu alan tutkimusta pioneereina Työterveyslaitos, Kuopion yliopisto, Tampereen yliopisto ja Säteilyturvakeskus. Systemaattisia tutkimusohjelmia on toteutettu sekä pientaajuus- että radiotaajuusalueella. Imatran Voima Oy käynnisti jo 1980-luvun lopulla voimajohtojen terveysvaikutuksia koskevan tutkimuksen, ja 1994 aloitettiin ensimmäinen Teknologian kehittämiskeskuksen eli Tekesin tukema ohjelma matkapuhelimien säteilyn vaikutuksista. Vuonna 2004 Suomessa aloitettiin jo neljäs kansallinen Tekesin koordinoima tutkimusohjelma HERMO (Health Risk Assessment of Mobile Communications).

Tämä kirja on kuudes osa Säteilyturvakeskuksen julkaisemassa Säteily- ja ydinturvallisuus -kirjasarjassa, josta ilmestyy kaikkiaan seitsemän osaa. Kirjasarjan ensimmäisessä osassa esitellään säteilyfysiikan käsitteet sekä mittauksissa käytettävät suureet ja menetelmät. Toisessa osassa tarkastellaan radioaktiivisten aineiden käyttäytymistä ja ionisoivan säteilyn vaikutuksia ympäristössä ja ihmisessä. Säteilybiologia on aiheena kirjasarjan neljännessä osassa, Säteilyn terveysvaikutukset. Sarjan neljä ensimmäistä kirjaa käsittelee ionisoivaa säteilyä, sen käyttöä ja siltä suojautumista, viides ydinturvallisuutta ja kaksi viimeistä osaa ionisoimatonta säteilyä. Kirjaa voi tilata Säteilyturvakeskuksesta. Kirjat löytyvät myös pdf-muodossa STUKin Internet-sivuilta osoitteesta www.stuk.fi.

Säteily- ja ydinturvallisuus -kirjasarja täydentää ja uudistaa vuonna 1988 ilmestynyttä Säteily ja turvallisuus -teosta, jonka toimittivat Harri Toivonen, Tapio Rytömaa ja Antti Vuorinen. Kiitämme edellisen teoksen toimittajia ja muita kirjoitustyöhön osallistuneita Säteilyturvakeskuksen asiantuntijoita uraa uurtavasta pohjatyöstä, joka on ollut hyvänä perustana uudelle kirjasarjalle.

Sähkömagneettiset kentät -kirjan toteutuksesta kuuluu kiitos asiantuntemille kirjoittajille ja muille toimitustyöhön osallistuneille henkilöille. Eriyiskiitoksen ansaitsevat Kuopion yliopiston ympäristötieteiden laitoksen ja Kansanterveyslaitoksen tutkijat, jotka ovat osallistuneet huomattavalla panoksella kirjan terveysvaikutuksia käsittelevään osaan.

Säteily- ja ydinturvallisuus -kirjasarja

- 1 Säteily ja sen havaitseminen
- 2 Säteily ympäristössä
- 3 Säteilyn käyttö
- 4 Säteilyn terveysvaikutukset
- 5 Ydinturvallisuus
- 6 Ionisoimaton säteily – Sähkömagneettiset kentät**
- 7 Ionisoimaton säteily – Ultravioletti- ja lasersäteily

SISÄLLYSLUETTELO

1	IONISOIMATON SÄTEILY JA SÄHKÖMAGNEETTISET KENTÄT	11
	<i>Kari Jokela</i>	
1.1	Katsaus kirjan sisältöön	12
1.2	Ionisoimattoman säteilyn osa-alueet	16
1.3	Ionisoimattoman säteilyn lähteitä	20
1.4	Ionisoimattoman säteilyn valvonta Suomessa	23
2	BIOSÄHKÖMAGNETIIKAN FYSIKAALISIA PERUSTEITA	27
	<i>Kari Jokela</i>	
2.1	Staatittiset ja kvasistaattiset kentät	28
2.2	Sähkömagneettinen aalto	44
2.3	Ominaisabsorptionopeus	48
2.4	Maxwellin yhtälöt	51
2.5	Yhteenveto altistumista kuvaavista suureista	55
3	DOSIMETRIA	59
	<i>Kari Jokela</i>	
3.1	Yleistä	60
3.2	Kudosten ja solujen sähköiset ominaisuudet	60
3.3	Kenttien kytketyminen kehoon	78
3.4	Kvasistaattinen alue	81
3.5	Resonanssialue	98
3.6	Pinta-absorptioalue	105
3.7	Yhteenveto	111
4	BIOFYSIKAALISET VAIKUTUKSET	117
	<i>Sakari Lang, Kari Jokela</i>	
4.1	Johdanto	118
4.2	Molekyylitason mekanismeja	119
4.3	Radiotaajuuden kentän mekanismit ja vaikutukset	150
4.4	Pientaajuuden kentän mekanismit ja vaikutukset	164
4.5	Kipinäpurkaukset ja pintavaikutukset	178
4.6	Yhteenveto	183
5	HYVIN PIENTAAJUISTEN KENTTIEN VAIKUTUKSIA	189
	<i>Jukka Juutilainen, Jonne Naarala, Pia Verkasalo, Timo Kumlin, Hannele Huuskonen, Jaakko Kuustonen</i>	
5.1	Johdanto	190
5.2	Genotoksiset vaikutukset	191

5.3	Genotoksisuus eläin- ja solukokeissa	192
5.4	Ei-genotoksiset vaikutukset.....	196
5.5	Karsinogeenisuuskokeet eläimillä	206
5.6	Syöpä ja epidemiologisia tutkimuksia	213
5.7	Hermosto	224
5.8	Lisääntymisterveys.....	229
5.9	Muita vaikutuksia	236
6	VÄLITAAJUISTEN KENTTIEN VAIKUTUKSIA	249
	<i>Jukka Juutilainen, Hannele Huuskonen</i>	
6.1	Johdanto	250
6.2	Yleistä haitallisuutta testaavat tutkimukset.....	251
6.3	Syöpä	251
6.4	Hermosto	251
6.5	Lisääntymisterveys.....	252
6.6	Muita vaikutuksia	255
7	RADIOTAAJUISTEN KENTTIEN JA SÄTEILYN VAIKUTUKSET	261
	<i>Jukka Juutilainen, Dariusz Leszczynski, Reetta Nylund, Päivi Heikkinen, Maila Hietanen, Christian Haarala Björnberg, Anssi Auvinen, Hannele Huuskonen, Tommi Toivonen</i>	
7.1	Johdanto	262
7.2	Syöpä, eläinkokeet	264
7.3	Syöpävaaraa koskevat väestötutkimukset	268
7.4	Hermosto	281
7.5	Lisääntymisterveys.....	290
7.6	Radiotaajuisten kenttien biologisia vaikutuksia	291
7.7	RF-altistuskokeiden suunnittelun tekniset näkökohdat.....	304
8	ALTISTUMISEN RAJOITTAMINEN	319
	<i>Kari Jokela, Antti Niittylä</i>	
8.1	Yleistä turvallisuusnormeista.....	320
8.2	ICNIRPin ohjeavot	324
8.3	Euroopan unioni	345
8.4	Valvonta Suomessa	346
8.5	Yhteenvedo	353
9	SÄTEILYLÄHTEET JA ALTISTUMINEN	359
	<i>Kari Jokela, Leena Korpinen, Maila Hietanen, Lauri Puranen, Laura Huurto, Harri Pättikangas, Tim Toivo, Ari-Pekka Sihvonen, Heidi Nyberg</i>	
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
10	ALTISTUMISEN MITTAUS JA LASKENTAMALLIT	455
	<i>Lauri Puranen</i>	
10.1	Johdanto	456
10.2	Sähkökentän ja magneettikentän mittausperiaatteet	456
10.3	Sähkömagneettisten kenttien mittalaitteet	474
10.4	Kehon sisäisten virtojen mittaus	479
10.5	SAR-mittaukset	483
10.6	Kalibrointimenetelmät	486
10.7	Mittausten epävarmuus	496
10.8	Esimerkkejä laskentamalleista	497
11	SÄHKÖMAGNEETTISET KENTÄT TERVEYSRISKINÄ	501
	<i>Tapio Litmanen, Jaakko Kuustonen, Kari Jokela</i>	
11.1	Riskien hahmottaminen	502
11.2	Riskiajattelun yleistyminen	503
11.3	Riskianalyysi päätöksenteon työkaluna	505
11.4	Riskinarviointi	506
11.5	Riskikommunikaatio	508
11.6	Riskinhallinta	509
11.7	Sosiologisten riskiteorioiden tyyppejä	510
11.8	Varovaisuusperiaate	517
	LIITTEET	529
	HAKEMISTO	550

1

IONISOIMATON SÄTEILY JA SÄHKÖMAGNEETTISET KENTÄT

Kari Jokela

SISÄLLYSLUETTELO

1.1	Katsaus kirjan sisältöön	12
1.2	Ionisoimattoman säteilyn osa-alueet	16
1.3	Ionisoimattoman säteilyn lähteitä	20
1.4	Ionisoimattoman säteilyn valvonta Suomessa	23

1.1 | Katsaus kirjan sisältöön

Nykyaikaisessa yhteiskunnassa asuva kansalainen joutuu ihmisen synnyttämien sähkömagneettisten kenttien ja säteilyn ympäröimäksi, varsinkin taajama- ja kaupunkialueella. Taustakenttien lähteitä ovat esimerkiksi sähkövoimalinjat, rakennuksiin sijoitetut muuntamot, rakennusten sähköverkot, kotien sähkölaitteet, näyttöpäätteet, junien sähkömoottorit, kauppojen tuotesuojaportit, radioasemat sekä matkapuhelimet ja niiden tukiasemat. Myös teollisuudessa ja lääketieteessä käytetään voimakkaita sähkömagneettisia kenttiä synnyttäviä laitteita. Merkittäviä luonnon lähteitä ovat maan oma magneettikenttä, salamointi sekä aurinko, joka lähettää voimakkaita sähkömagneettisia aaltoja laajalla aallonpituusalueella.

Onko sähkömagneettisista kentistä terveydellistä haittaa ihmiselle ja millä perusteilla kenttiä tulisi rajoittaa? Altistuminen kuvaa sitä fyysikaalista vaikutusta, joka sähkömagneettisilla kentillä on ihmiskehoon. Tähän vaikuttaa moni seikka kuten kentän voimakkuus, taajuus ja ihmisen asento kenttään nähden. Altistuminen voidaan määrittää laskeamalla tai mittaamalla. Altistumista voidaan sitten verrata standardeissa ja suosituksissa esitettyihin biologisiin perusteisiin asetettuihin raja-arvoihin.

Biologiset perusteet raja-arvoille ovat pitkäjänteisen tutkimustyön tulosta. Voimakkaiden sähkömagneettisten kenttien aiheuttama kudosten lämpeneminen ja hermojen stimuloituminen tunnetaan suhteellisen hyvin, joten niiden osalta tieto on jo varsin vakiintunutta. Monissa tutkimuksissa on kuitenkin havaittu vaikutuksia myös sellaisilla kentänvoimakkuuksien tasoilla, joilla merkittävää lämpenemistä tai hermojen stimuloitumista ei tapahdu.

Silloin kun säteilyaltistus ei ole niin suuri, että pätevästi todettuja vaikutuksia voisi syntyä, puhutaan matalantason altistuksesta. Suhteellisen heikkojen sähkömagneettisten kenttien biologisista ja terveydellisistä vaikutuksista on olemassa erilaisia teorioita ja oletuksia, mutta ei kuitenkaan tieteellisesti vakuuttavaa näyttöä. Tällaisiakin vaikutuksia on tutkittava, jotta voidaan olla varmoja suojelutoimien riittävyydestä, mutta nykyisellä tiedolla ei ole riittävän painavaa syytä asettaa raja-arvoja yksittäisten ja ristiriitaisten tutkimustulosten pohjalta.

Tässä johdantoluvussa määritellään aluksi tärkeimmät koko ionisoi-

mattoman säteilyn kattavat peruskäsitteet. Sen jälkeen rajataan kirjan tarkastelualue sähkömagneettisiin kenttiin tasakentistä aina 300 GHz taajuisiin sähkömagneettisiin aaltoihin. Luvussa hahmotellaan hyvin yleisellä tasolla miten kentät kytkeytyvät ihmiseen ja luodaan alustava katsaus tavallisimpiin sähkömagneettisten kenttien lähteisiin. Lisäksi esitellään lyhyesti säädökset, jotka rajoittavat altistumista sekä kuvataan miten ionisoimatonta säteilyä valvotaan Suomessa. Valvontaan osallistuvat Suomessa useat eri viranomaiset, joskin muun muassa Säteilyturvakeskuksen rooli on ollut varsin näkyvä. Alalla toimivalta asiantuntijaviranomaiselta vaaditaan paljon asiantuntemusta, jota saadaan vain paneutumalla tutkimukseen, kehitystyöhön, uuden tiedon keruuseen ja tiedonvälitykseen.

Luvussa 2 Biosähkömagneetiikan fysikaalisia perusteita käydään läpi sähkömagneettisen kenttäteorian perusasioita, joita tarvitaan arvioitaessa altistumista sähkö- ja magneettikentille. Huomion kohteena ovat erityisesti peruskäsitteet ja kenttää kuvaavat suureet ja yksiköt. Sähkömagneettisen teorian esityksessä ei voi välttää kaavojen käyttöä, mutta tavoitteena on selviytyä mahdollisimman yksinkertaisilla malleilla. Tieteenalana biosähkömagneetiikka kattaa kehoon kohdistuvien sähkömagneettisten kenttien dosimetriaa ja biologiset vaikutukset sekä tarkastelee myös käänteisesti kehon itsensä tuottamien kenttien yhteyksiä biologisiin prosesseihin.

Sähkömagneettisten kenttien kytkeytymistä kehoon käsitellään luvussa 3, Dosimetria. Ihminen on suhteellisen hyvä johde ilmaan verrattuna ja kerää suurilla taajuuksilla tehoa sähkömagneettisesta aallosta kuten vastaanottoantenni. Biologisia vaikutuksia arvioitaessa ja tutkittaessa on tunnettava kudosten ja solujen sähköiset ominaisuudet sekä tiedettävä miten soluihin vaikuttavat sisäiset kentät määräytyvät koko kehoon kohdistuvista ulkoisista kentistä. Tällä alueella tarvitaan kenttäteoriaa, mutta yksinkertaisilla malleilla selvitetään keskeisimmät kenttien kytkeytymistä säätelevät fysikaaliset lainalaisuudet.

Luvuissa 4–7 tarkastelun kohteena ovat sähkömagneettisten kenttien biologiset ja terveydelliset vaikutukset. Altistumisen vaikutuksia voidaan tutkia monin eri keinoin. Pitkällä aikavälillä ilmaantuvia sairauksia ja niiden riskiä voidaan tutkia keräämällä epidemiologisin menetelmin tilastollista tietoa altistuksen ja sairauden välisestä syy-seuraussuhteesta. Akuuteista vaikutuksista saadaan tietoa vapaaehtoisilla koehenkilöillä tehdyistä kokeista. Eläinkokeilla tutkitaan kontrolloiduissa laboratorioolosuhteissa lyhyt- ja pitkäaikaisia vaikutuksia, joista voidaan myös tie-

tyin rajoituksin arvioida altistumisen haitallisuutta ihmiselle. Soluviljelmällä saatuja tuloksia ei voi suoraan liittää ihmiseen, mutta niiden tärkeänä tehtävänä on lisätä ymmärrystä niistä biofysikaalisista ja biologisista mekanismeista, joilla ionisoimaton säteily vaikuttaa eläviin organismeihin. Lisäksi tarvitaan biologista tutkimusta tukevaa dosimetristä tutkimusta, jonka avulla saadaan tietoa kehon ja sen kudosten sisällä vaikuttavista todellisista sähkö- ja magneettikentistä. Ne poikkeavat useimmiten huomattavasti ulkoisista kentistä. Näiden poikkitieteellisten tutkimusten avulla pyritään muodostamaan käsitys siitä, millaisen riskin sähkömagneettiset kentät muodostavat ja kuinka suuri altistuminen voidaan sallia, jotta säteilyä synnyttäviä laitteita voidaan käyttää turvallisesti.

Kirjassa esitellään verraten seikkaperäisesti biologista tutkimusta ja mainitaan esimerkkeinä jopa yksittäisiä tutkimuksia, jotta lukijalle muodostuisi kuva minkätyyppisestä tutkimuksesta on kyse. Voimakkaiden, altistumisrajat selvästi ylittävien kenttien vaikutukset ovat selviä, mutta aika näyttää, mitä tuloksia heikompien kenttien vaikutustutkimuksista jää jäljelle. Tutkimukset on jaoteltu sen mukaan, minkä tyyppistä terveyshaittaa – kuten syöpää – tulokset voisivat selittää. Huomion kohteena ovat erityisesti genotoksiset vaikutukset eli solun perimään kohdistuvat mutaatiot, solujen toiminnan muuttuminen pahanlaatuiseen suuntaan, hermotoiminnan muutokset sekä vaikutukset hedelmällisyyteen ja sikiöön. Biologisia vaikutuksia käsittelevissä luvuissa pohditaan myös varsin laajasti niitä matalantason altistuksen biofysikaalisia vaikutusmekanismeja, jotka voisivat selittää miten solut reagoivat kenttiin molekyylitasolla. Perusongelma on se, että tällä hetkellä ei tunneta mitään biofysikaalista teoriaa, joka uskottavasti selittäisi millä mekanismilla heikon eli matalantason sähkömagneettisen kentän vaikutus välittyy elävään soluun.

Altistumista rajoittavat normit ovat luonteeltaan velvoittavia säädöksiä tai ohjeellisia suosituksia. Tärkeimmät kansainväliset suositukset ja direktiivit sekä kotimaiset säädökset on käsitelty luvussa 8, Altistumisen rajoittaminen. Luvun kohderyhmiä ovat erityisesti valvontaviranomaiset, laitesuunnittelijat ja käytön turvallisuudesta vastaavat henkilöt. Esimerkiksi matkapuhelimien radioaaltojen aiheuttama altistuminen on tärkeä laitteiden suunnittelussa huomioitavat tekijä, sillä se rajaa lähetystehoja. Dosimetriaa ja terveysvaikutuksia käsitelleet luvut auttavat lukijaa ymmärtämään mihin nykyiset sähkömagneettisia kenttiä koskevat altistumisrajat ja standardit perustuvat. On myös huomioitava, että altistumisrajat ja niihin perustuvat muut turvalli-

suusstandardit eivät välttämättä ole lopullisia, vaan niitä kehitetään sitä mukaa kun uutta tietoa sähkömagneettisten kenttien vaikutuksista saadaan.

Luvussa 9, Säteilylähteet ja altistuminen esitellään sähkömagneettisten kenttien lähteitä, sekä altistumistasoja niiden läheisyydessä. Sähkömagneettisia kenttiä ja säteilyä synnyttävien laitteiden eli säteilylaitteiden turvallisen käytön edellytyksenä on, että käyttäjiin ja mahdollisiin sivulisiin kohdistuvan säteilyaltistuksen suuruus tunnetaan. Luvussa kuvataan muun muassa magneettikuvauslaitteiden, voimalinjojen, radioasemien ja teollisuudessa käytettävien suurtaajuuskuumentimien aiheuttamat tyypilliset kentänvoimakkuuksien tasot ja arvioidaan niiden pohjalta altistumisen voimakkuutta eri tilanteissa.

Turvallisuusarvioinnissa altistuminen määritetään mittaamalla, laske-
malla tai arvioimalla syntyviä kenttiä laitetietojen pohjalta. Tulosta ver-
rataan raja-arvoihin ja tarvittaessa annetaan suojausohjeita, joiden avul-
la altistumista voidaan vähentää. Tarvittavat mittaus- ja laskentamene-
telmät ovat huomion kohteena luvussa 10. Säteilyturvallisuusarvio voi
joskus perustua pelkästään laitteen teknisiin tietoihin, mutta useimmi-
ten mittaukset ja niitä täydentävät laskelmat ovat ainoa luotettava tapa
määrittää altistuminen. Säteilyturvallisuusarvio on tehtävä ainakin sil-
loin, kun altistamisrajat voivat ylittyä tai viranomaismääräykset niin
vaativat. Muita syitä ovat suuritehoisen säteilylaitteen tai uuden tekno-
logian käyttöönotto.

Lopuksi, luvussa 11, Sähkömagneettiset kentät terveystörinä, pohdi-
taan yleiseltä kannalta mitä riski on, miten kansalaiset riskejä hahmot-
tavat ja mitä vaihtoehtoja niiden hallitsemiseksi on tarjolla. Perinteis-
ten altistumista rajoittavien normien ja viranomaisvalvonnan rinnalle
on nousemassa varovaisuusperiaatteen mukainen lähestymistapa. Sil-
loinkin, kun riskiä ei voida tieteellisesti todentaa, on tietyissä tapauk-
sissa käytettävä järkevät mahdollisuudet altistumisen pienentämiseksi
ja rajoittamiseksi. Sähkömagneettisten kenttien kohdalla käydään mo-
nissa maissa vilkasta keskustelua, aiheuttavatko esimerkiksi sähkölait-
teet, matkapuhelimet ja tukiasemat erilaisia pahanolon tuntemuksia eli
sähköherkkyyttä. Tällaisessa tilanteessa riskikommunikaation merkitys
korostuu. Nykyaikaisessa yhteiskunnassa asiantuntijoilla ja viranomaisil-
la on oltava keskusteluyhteys myös kansalaisiin, joilla on oikeus saada
parhaaseen käytettävissä olevaan tietoon perustuvat vastaukset heitä
askarruttaviin kysymyksiin. Tämän tiedon kokoaminen yksiin kansiin
on eräs tämän kirjan tavoite.

1.2 | Ionisoimattoman säteilyn osa-alueet

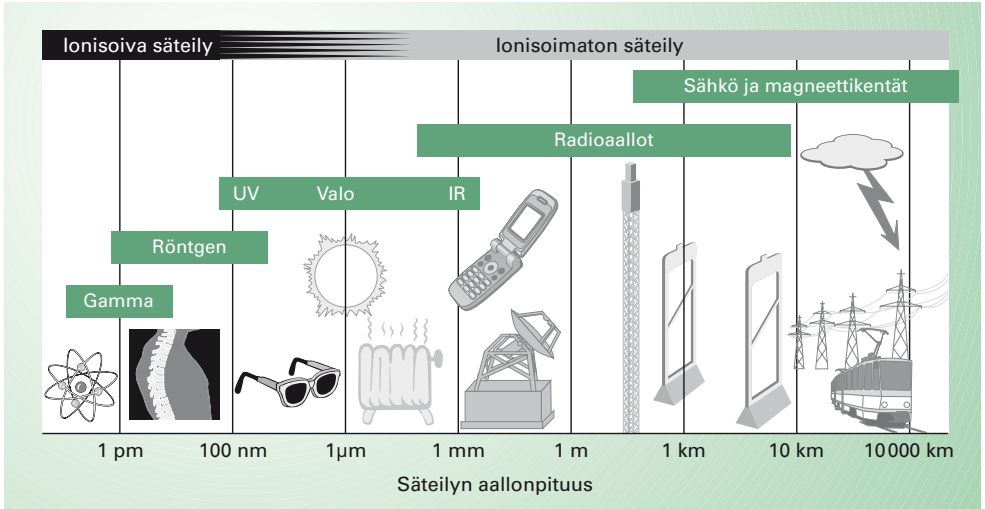
Ionisoimaton säteily muodostuu sähkö- ja magneettikentistä. Kun kentän voimakkuus pysyy vakiona tai sen muutosnopeus on pieni, puhutaan staattisista tai hitaasti ajan suhteen muuttuvista kentistä. Kun kentän muutosnopeus kasvaa, kentät alkavat edetä sähkömagneettisena aaltoliikkeenä. Tällöin voidaan kentistä käyttää termiä säteily. Ionisoimattomaksi säteilyksi luetaan joskus myös ultraääni, joka on mekaanista aaltoliikettä.

Hyvin energieittinen sähkömagneettinen säteily ja hiukkassäteily ovat ionisoivaa säteilyä, jonka lähteitä ovat muun muassa radioaktiiviset aineet, röntgenlaitteet ja hiukkaskiihdyttimet. Näistä lähtevän fotonin tai hiukkasen energia on niin suuri, että vuorovaikutus materian kanssa synnyttää ioneja väliaineessa. Atomien ionisoituminen aiheuttaa kemiallisten sidosten katkoksia molekyyliessä kuten esimerkiksi DNA:ssa. Riittävän pienille taajuuksille tultaessa fotonin energia pienenee, ja kemiallisen sidoksen ionisoituminen ei enää ole mahdollista. Tästä alkaa ionisoimaton säteily, jolla fotonin energian suhteellisesta pienuudesta huolimatta on erilaisia vaikutuksia elävään kudokseen. Vaikutukset määräytyvät kenttien voimakkuudesta, taajuudesta, pulssimuodosta sekä altistuksen kestosta.

Yleisen määrittelyn mukaan ionisoimaton säteily alkaa siitä, kun fotonin energia jää alle 12 elektronivolttia (eV), jolloin ionisaatiota ei enää esiinny merkittävästi. Sama asia voidaan ajatella aallonpituuksina siten, että ionisoimattoman säteilyn aallonpituus on suurempi kuin 100 nm. Ionisoivan ja ionisoimattoman säteilyn raja kulkee röntgensäteilyn ja ultraviolettisäteilyn välissä.

Ionisoimattoman säteilyn spektri voidaan jakaa eri alueisiin, kuten kuvassa 1.1 on esitetty. Ionisoimatonta säteilyä ovat siis ultraviolettisäteily, näkyvä valo, infrapunasäteily, radioaallot sekä pientaajuiset ja staattiset sähkö- ja magneettikentät. Ultraviolettisäteily (UV-säteily), näkyvä valo ja lämpösäteily (IR-säteily) ovat optista säteilyä. Myös pientaajuiset ja staattiset kentät luetaan ionisoimattomaan säteilyyn, vaikka niiden aallonpituus on niin suuri, että ei voida puhua aaltoliikkeestä.

Sähkömagneettista säteilyä voidaan luonnehtia taajuuden, kentänvoimakkuuden ja aaltomuodon avulla. Säteilyn aallonpituus λ (m) ja taajuus f (Hz) ovat sidoksissa toisiinsa siten, että niiden tulo λf väliaineessa on



Kuva 1.1 Sähkömagneettisen säteilyn spektri on hyvin monimuotoinen

Spektri alkaa staattisista ja pientaajuisista sähkö- ja magneettikentistä, joilla säteilyn aallonpituus voi olla kilometreistä tuhansiin kilometreihin. Spektri jatkuu ionisoivan säteilyn puolelle aina suurenergiseen gammasäteilyyn, jolloin aallonpituus on alle miljoonasosa mikrometristä eli pikometrejä ($\text{pm} = 1 \cdot 10^{-12}$). Näkyvän valon aallonpituus on mikrometrien ($\mu\text{m} = 1 \cdot 10^{-6}$) luokkaa, ja yleisradioasemien lähettämän säteilyn aallonpituus vaihtelee alle metristä kilometreihin. Ionisoivan ja ionisoimattoman säteilyn raja kulkee röntgensäteilyn ja ultraviolettisäteilyn välissä.

vakio. Tämä vakio on sähkömagneettisen aallon etenemisnopeus c (m/s). Ilmassa voidaan riittävällä tarkkuudella käyttää tyhjän valonnopeutta $c_0 \sim 3 \cdot 10^8$ m/s.

Toinen merkittävä lainalaisuus taajuuden suhteen on se, että fotonin energia E on suoraan verrannollinen taajuuteen. Tätä lainalaisuutta voidaan kuvata yhtälöllä $E = hf$, jossa h on Planckin vakio. Kun säteilyn taajuus pienenee, niin myös fotonin energia pienenee. Tämä ei tarkoita sitä, että pientaajuiset kentät olisivat aina voimakkuudeltaan heikompia kuin suurtaajuiset kentät. Ainoastaan yksittäisen fotonin energia on pienempi. Kentänvoimakkuus syntyy fotonitiheydestä eli siitä, kuinka paljon fotoneita on kentässä. Hyvin suuri määrä heikkojakin fotoneita voi esimerkiksi lämmittää kudoksia.

Staattinen magneettikenttä

Staattinen magneettikenttä pysyy vakiona tai muuttuu vain hyvin hitaasti ajan suhteen. Sähkömagneettisen teorian mukaan kentän muutos tai kappaleen liikkuminen kentässä synnyttää eli indusoi kentässä olevaan kappaleeseen (kehoon) sisäisen sähkökentän, joka saa aikaan sähkövirtoja hyvin johtavissa kudoksissa. Voimakkaat staattiset magneettikentät voivat aiheuttaa pahoinvointia, päänsärkyä, huimausta ja magnetofosfeeneja.

Pientaajuiset sähkö- ja magneettikentät

Pientaajuisien sähkö- ja magneettikenttien voidaan ajatella jakaantuvan hyvin pientaajuisiin (Extremely Low Frequency, ELF) ja välitaajuisiin kenttiin (Intermediate Frequency, IF). Hyvin pientaajuisissa sähkö- ja magneettikentissä (alle 300 Hz) kentän muutosnopeus on jo riittävän suuri indusoimaan paikallaan olevaan ihmiseen sähkökenttiä ja -virtoja. Ulkoinen magneettikenttä aiheuttaa kehossa induktiosähkökentän ja se puolestaan kiertäviä sähkövirtoja eli induktiovirtoja (kuva 1.2a). Sähkömagneettinen induktio riippuu kehon koosta ja asennosta sähkö- ja magneettikenttien suuntaan. Ulkoinen sähkökenttä synnyttää kehon pinnalle kentän tahdissa muuttuvan pintavarauksen, joka pyrkii kumoamaan ulkoisen kentän vaikutuksen. Kehon sisälle jää kuitenkin pieni virtoja aiheuttava jäännöskenttä.

Riittävän voimakkaina induktiosähkökenttä ja -virrat voivat aiheuttaa sähköärsytystä hermo- ja lihassoluissa. Suuret sisäiset virrat voivat olla vaarallisia, koska ne voivat laukaista kammiovärinän tai johtaa hengityksen lamaantumiseen. Tämä voi olla mahdollista äärimmäisen voimakkaassa yli yhden teslan magneettikentässä 50 Hz taajuudella. Hermosolut muodostavat erityisesti keskushermostossa monimutkaisia verkostoja, joiden sähköisen toiminnan häiriintymistaso on matalampi kuin yksittäisten hermosolujen, koska pienet häiriöjännitteet voivat summutua hermoliitoksissa eli synapseissa. Häiriintyminen voi ilmetä magnetofosfeeneina, jotka ovat epämääräisiä valonvälähdyksiä näkökentän laidoilla.

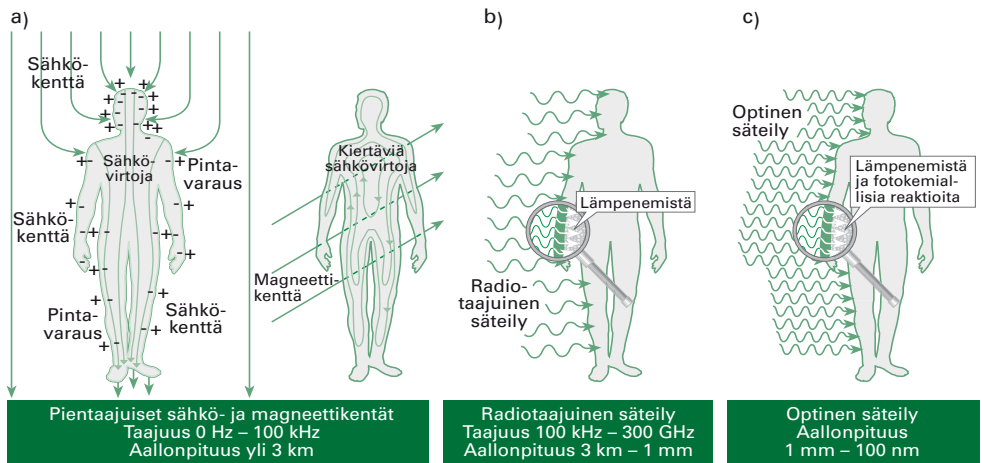
Välitaajuisista kenttien (300 Hz – 100 kHz) kytkäytyminen kehoon on samantapaista kuin ELF-kenttien. Välitaajuisien kenttien tunnetut haittavaikutukset ovat konventionaalinen sähköärsytys hermo- ja lihassoluissa. Magnetofosfeenien tyyppisiä ilmiöitä ei ole havaittu. Taajuusalueen yläpäässä on myös kudosten lämpeneminen mahdollista.

Radiotaajuiset kentät

Erityisesti radio- ja pientaajuisien kenttien osalta taajuusjaottelu ei ole kaikilta osin vakiintunutta, vaan käytäntö on vaihtelevaa. Kun tässä kirjassa puhutaan radiotaajuuksista (Radio Frequency, RF), tarkoitetaan taajuuksia 100 kHz – 300 GHz. Radiotaajuuksilla vallitseva fyysikaalinen vaikutusmekanismi kudoksessa on energian absorboituminen lämmöksi. Mikroaalloilla (300 MHz – 300 GHz) lämpeneminen muuttuu yhä pinnallisemmaksi taajuuden kasvaessa (kuva 1.2b). Voimakas ja lyhyt mikroaaltopulssi voi lisäksi aiheuttaa termoelastisia värähtelyjä, jotka aistitaan kuuloilmionä. Tämän voi havaita häiritsevästä surinana esimerkiksi voimakkaan tutkan keilassa.

Optinen säteily

Optinen säteily on ionisoimatonta säteilyä, jonka aallonpituus on hyvin pieni. Sähkömagneettisten kenttien ja optisen säteilyn rajana on aallon-



Kuva 1.2 Ionisoimattoman säteilyn fyysikaalisia ja biologisia vaikutuksia ihmisessä

Kohta a) Staattisissa tai hyvin hitaasti muuttuvissa magneettikentissä kehon liikkeet tai veren virtaus indusoivat kehoon sähkökenttiä ja -virtoja. Pientaajuiset sähkö- ja magneettikentät indusoivat myös paikallaan olevaan ihmiseen sähkökenttiä ja -virtoja. Kohta b) radiotaajuuksilla (yli 100 kHz) on ominaista, että kudokset alkavat lämmentä ennen kuin sähköärsytyskynnys saavutetaan. Lämpeneminen muuttuu yhä pinnallisemmaksi taajuuden kasvaessa. Kohta c) optisen säteilyn alueella (100 nm – 1 mm) säteily ei enää tunkeudu ihoa ja silmän eri osia syvemmälle.

pituus 1 mm (300 GHz), jolla mikroaaltosäteily loppuu ja infrapunasäteily alkaa. Optisen säteilyn alueella käytetään aallonpituutta taajuuden sijaan, kun halutaan erotella eri spektrialueita. Optisen säteilyn osa-alueita ovat infrapunasäteily (780 nm – 1 mm), näkyvä valo (400–780 nm) sekä ultraviolettisäteily (UV) (100–400 nm). Kudosten lämpeneminen on keskeinen optisen säteilyn vaikutus, lisäksi fotokemialliset vaikutukset ovat merkittäviä erityisesti UV-alueella (kuva 1.2c). Optinen säteily on tämän kirjan tarkastelualueen ulkopuolella, ja sitä käsitelläänkin kirjasarjan seuraavassa eli 7. osassa, Ultraviolettisäteily ja lasersäteily.

1.3 | Ionisoimattoman säteilyn lähteitä

Ionisoimattoman säteilyn spektri on laaja ja erilaisten säteilylähteiden määrä suuri. Valtaosa terveydelle haitallisista voimakkaista säteilylähteistä on keinotekoisia, poikkeuksena aurinko. Seuraavassa esitetään yleiskatsaus sähkö- ja magneettikenttien esiintymiseen elinympäristössämme. Johdonmukaisuuden vuoksi on tässä mainittu joitakin optisen säteilyn lähteitä. Tarkoituksena on luoda pohjaa biologisiin vaikutuksiin keskittyviin lukuihin 4–7 ja altistumisrajoja käsittelevään lukuun 8. Tarkempi esitys kenttiä synnyttävistä lähteistä on luvussa 9.

Sähkömagneettiset kentät

Voimakkaimmat staattiset magneettikentät, joille ihminen voi altistua, ovat magneettikuvauslaitteissa. Lisäksi potilaaseen kohdistuu hyvin voimakkaita pulssimaisia magneettikenttiä kuvauksen aikana. Staattiset ja muuttuvat magneettikentät ovat niin voimakkaita, että kudosten lämpeneminen, hermojen sähköärsytys ja kehonsisäisten metalli-istutteen (implanttien) liikkuminen on mahdollista. Lyhytaikainen altistuminen magneettikuvauslaitteen kentille ei ole osoittautunut haitalliseksi muutamia onnettomuustapauksia lukuun ottamatta. Rutiinikäytössä olevien laitteiden kenttä on useimmiten 0,6–1,5 T; joskin yli 3 T -laitteita on tutkimuskäytössä.

Metallinkäsittelyyn ja -jalostukseen käytettävissä laitteissa ja prosesseissa voi esiintyä suhteellisen voimakkaita staattisia magneettikenttiä aina 100 mT asti. Vertailun vuoksi mainittakoon, että maan oma magneettikenttä on suuruudeltaan noin 0,05 mT.

Luonnossa on erilaisia sähkökenttien lähteitä. Esimerkiksi negatiivisesti varautunut maan kuori ja positiivisesti varautunut ylempi ilmakehä tuottavat välilleen 130 V/m staattisen sähkökentän. Varauksia ja kenttää ylläpitävät ukkosmyrskyt, joita on jatkuvasti käynnissä maapallon eri puolilla. Pilviin kertyneiden varausten purkautuminen salamanleimahduksessa aiheuttaa hyvin leveäkaistaista sähkömagneettisia häiriöitä taajuusalueella 5–100 kHz.

Pientaajuisia 50 Hz sähkökenttiä syntyy sähköenergian tuotannon, jakelun ja käytön yhteydessä. Suurjännitteisten voimajohtojen alla magneettikentät ovat yleensä 3–10 μT ja sähkökentät 1–10 kV/m. Nämä kentät vaimenevat voimakkaasti etäisyyden kasvaessa siten, että 60 metrin etäisyydellä voimajohdoista magneettikenttä on vaimentunut jo alle 1 μT ja sähkökenttä alle 0,1 kV/m. Magneettikentän voimakkuus ei siten ole lähelläkään nykyisiä raja-arvoja (100 μT), mutta sähkökentän voimakkuuden enimmäisarvo 5 kV/m voi ylittyä 400 kV johdon alla.

Metalliteollisuudessa on voimakkaita 50 Hz magneettikenttien lähteitä, joiden synnyttämä magneettivuon tiheys voi ylittää työntekijöitä koskevan altistumisrajan 500 μT . Induktiokuumentimien ja valokaariuunien läheisyydessä työntekijä voi altistua yli 1 000 μT kentälle. Hitauslaitteiden läheisyydessä voi esiintyä yli 100 μT magneettivuon tiheyksiä.

Kotitalouksissa esiintyvien 50 Hz magneettikenttien vuontiheydet jäävät normaaliolosuhteissa alle 0,1 μT . Lattian alla sijaitseva kiinteistömuuntamo voi kuitenkin aiheuttaa huomattavan magneettikentän lattian tasalla. Muutamissa asunnoissa on mitattu suositusarvon 100 μT ylittäviä lukemia. Kodinkoneiden aiheuttamat, yleensä hetkelliset magneettikentät ovat 1–100 μT , mutta kentät esiintyvät vain muutaman senttimetrin etäisyydellä laitteista, eivätkä ole vaikutuksiltaan verrattavissa tilanteeseen, jossa koko keho altistuu.

Magneettikenttiin perustuvat kauppojen tuotesuojaportit (EAS) eli varashälytinportit ja lentokenttien metallinpaljastimet toimivat yleisimmin taajuusalueella 100 Hz – 100 kHz. Laitteen läpi kävelevä henkilö altistuu hetkellisesti suhteellisen voimakkaalle magneettikentälle, joka saattaa ylittää väestöä koskevan raja-arvon (raja-arvo on 6,25 μT taajuuksilla 800 Hz – 150 kHz). Laite saattaa aiheuttaa häiriöitä sydämentahdistimen tai sydämen sähköisen toiminnan palauttavan defibrillaattorin toiminnassa. Myös radiotaajuuksilla toimivia tuotesuojaportteja (RF-ID) on

käytössä, mutta niiden aiheuttama altistuminen on vähäisempää kuin pien-taajuuksilla toimivien porttien.

Jos suuritehoista radiotaajuista laitetta käytetään väärin, altistuminen voi olla niin voimakasta, että sen seurauksena syntyy palovammoja. Tällaisia laitteita ovat erityisesti mikroaaltokuivaimet, suurtehotutkat, yleisradiolähettimet sekä teollisuudessa käytettävät muovinsaumaajat. Suurimmat tehотиheydet syntyvät 2,45 GHz taajuudella toimivien mikroaaltokuivaimien läheisyydessä. Kuivaimia käytetään esimerkiksi rakennusten kosteusvaurioiden torjuntaan. Säteilyä lähettävän antennin edessä tehottiheys voi olla 1 000–5 000 W/m² ja seinän takanakin vielä satoja watteja neliömetrille. Mikroaaltouunien luukun saumoista emittoituu hieman vuotosäteilyä, mutta käyttäjän kohdalla tehottiheys on yleensä alle 100 mW/m².

Teollisuudessa käytetään 27 MHz taajuudella toimivia suurtaajuuskuumentimia muun muassa muovin saumaukseen. Saumaimen käyttäjään kohdistuvat ekvivalenttiset tehottiheydet ovat normaalissa työtilanteessa 10–100 W/m² ja suurimmillaan yli 1 000 W/m². Sähkökenttä saattaa indusoida raajoihin yli 100 mA virtoja, jotka voivat aiheuttaa selvää lämpenemistä.

ULA- ja TV-mastoissa työskentelevä asentaja voi altistua 10–100 W/m² säteilylle. Väestön altistumisen kannalta ULA- ja TV-asemien säteily on kuitenkin häviävän pientä, tyypillisesti alle 1 mW/m². Matkapuhelimien tukiasemien säteily (900 ja 1 800 MHz) ei ole juurikaan sen voimakkaampaa. Vertailun vuoksi mainittakoon, että matkapuhelimen säteilyn tehottiheys on noin 20 mW/m² yhden metrin etäisyydellä. Matkapuhelimen käyttäjän altistumista on arvioitava päähän imeytyvästä tehosta (SAR-arvo), joka saa olla enintään 2 W/kg.

Epäsuora terveyshaitta saattaa syntyä tilanteessa, jossa sähkömagneettiset kentät häiritsevät turvallisuuden kannalta tärkeiden laitteiden kuten kehonsisäisten sydämentahdistimien, defibrillaattoreiden, hermostimulaattoreiden, lääkeannostelijoiden ja potilaaseen ulkoisesti kytkettyjen valvontalaitteiden tai kuulokojeen toimintaa. Häiriöitä voi aiheutua erityisesti matkapuhelimista, mutta myös kauppojen tuotesuojaportit, metallinpaljastimet ja radiotaajuiset tunnistuslaitteet ovat esimerkkejä uuden teknologian mukanaan tuomista häiriöongelmista. Joidenkin suhteellisen voimakkaasti säteilevien laitteiden käyttöä on varmuuden vuoksi rajoitettu tietyissä tilanteissa kuten lentokoneissa ja sairaaloissa.

1.4 Ionisoimattoman säteilyn valvonta Suomessa

Ionisoimattoman säteilyn käyttöön perustuvien tai sitä muuten tuottavien teknisten sovellusten lisääntyessä 1960-luvulta lähtien alkoi karttua myös tieto riski- ja vaaratekijöistä. Niitä selvitettiin Suomessa jo 1970-luvulla silloisessa Säteilyturvallisuuslaitoksessa ja Työterveyslaitoksessa. Kun tietoa oli saatu riittävästi, käynnistyi säädösvalmistelu turvallisuusnormien antamiseksi ja valvonnan käynnistämiseksi.

Ensimmäinen säädös oli vuonna 1985 annettu valtioneuvoston päätös, joka koski työssä käytettäviä suurtaajuuslaitteita ja niiden tarkastusta. Vuonna 1986 laajennettiin säteilylaki koskemaan myös ionisoimatonta säteilyä. Säteilylain rooli ionisoimattoman säteilyn valvonnassa on muotoutunut niin, että säteilylain nojalla Säteilyturvakeskus valvoo sellaisia ionisoimattoman säteilyn turvallisuusongelmia, joihin muu lainsäädäntö ei ulotu ja joiden kohdalla ei valvovaa viranomaista luonnostaan ole, (kuva 1.3). Ionisoimattoman säteilyn alalla toimivia valvontaviranomaisia ovat työsuojeluviranomaiset, kuntien terveysviranomaiset ja Lääkelaitos. Myös Viestintävirasto, Turvatekniikan keskus ja Kuluttajavirasto joutuvat työsään tekemisiin ionisoimatonta säteilyä tuottavien laitteiden kanssa.

Väestön altistuminen

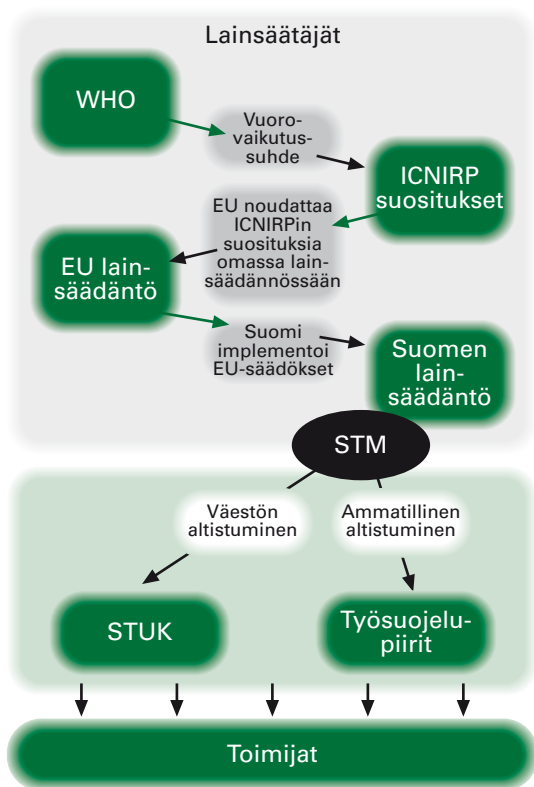
Euroopan unionin neuvosto vahvisti vuonna 1999 jäsenvaltioille osoitetun suosituksen, jossa esitetään pääperiaatteet ja ohjeet väestön kohdistuvien sähkömagneettisten kenttien aiheuttaman altistumisen rajoittamiseksi. Suosituksen ohjeet noudattavat ICNIRPin (International Commission on Non-Ionizing Radiation) julkaisemia väestöä koskevia ohjeita. Tämän perusteella uudistuksen valmistelu käynnistettiin Suomessa jo vuonna 1998, ja neljä vuotta myöhemmin sosiaali- ja terveysministeriö antoi uuden aiempaa kattavamman asetuksen ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistumisen rajoittamisesta (294/2002).

Ammatillinen altistuminen

Sähkö- ja magneettikenttäaltistumista koskevan työturvallisuusnormiston kehitys on paljolti sidoksissa yleiseurooppalaiseen kehitykseen, jota Euroopan unionissa ohjataan jäsenvaltioita velvoittavilla direktiiveillä. Pääsääntöisesti työntekijöiden altistumista koskevat turvallisuusnormit an-

netaan työturvallisuuslain nojalla ja väestön altistumista koskevat turvallisuusnormit säteilylain nojalla.

Euroopan unionin neuvosto on antanut vuonna 2004 uuden direktiivin (2004/40/EY) työntekijöiden terveyttä ja turvallisuutta koskevista vähimmäisvaatimuksista. Se pitää sisällään määräykset, joiden tavoitteena on rajoittaa työntekijöiden altistumista sähkömagneettisista kentistä aiheutuville riskeille. Tämä sähkö- ja magneettikenttiä koskeva työsuojeludirektiivi tulee saattaa voimaan myös Suomessa viimeistään vuonna 2008. Siihen asti noudatetaan sosiaali- ja terveysministeriön päätöstä ionisoimattoman säteilyn altistuksen enimmäisarvoista (1474/1991). Näiden noudattamista työpaikoilla valvovat työsuojeluviranomaiset.



Kuva 1.3 Sähkö- ja magneettikenttien valvonta Suomessa

ICNIRP laatii yhteistyössä WHO:n kanssa kansainvälisiä ohjearvoja altistumisen rajoittamiseksi. Näiden perusteella EU antaa suosituksia ja direktiivejä. Suomi on EU:n jäsenenä velvollinen toimeenpanemaan direktiivit osaksi kansallista lainsäädäntöä. Terveyttä ja turvallisuutta koskevien kansallisten säädösten on täytettävä direktiivien vaatimukset, mutta kansallisin perustein voidaan vaatimustaso asettaa tiukemmaksikin. Valvontaa kuvassa edustavat STUK ja työsuojelupiirit. Muita valvontaviranomaisia ovat kuntien terveysviranomaiset, Lääkelaitos, Viestintävirasto, Turvatekniikan keskus ja Kuluttajavirasto. Työterveyslaitos tutkii, välittää tietoa, tarjoaa asiantuntijapalveluita ja kouluttaa työterveys- ja turvallisuusalan asiantuntijoita.

KIRJALLISUUTTA

Jokela K. Radiotaajuiseen säteilyyn liittyviä turvallisuuskysymyksiä. STUK-B63. Helsinki, 1985.

AEL-INSKO. Sähkömagneettisen säteilyn turvallisuusriskit. Helsinki, 1994.

EU. Non-ionizing radiation - Sources, exposure and health effects. Employment and social affairs. Brussels, 1996.

ICNIRP. Exposure to Static and Low Frequency Electromagnetic Fields, Biological Effects and Health Consequences (0–100 kHz) - Review of the Scientific Evidence and Health Consequences. Bernhardt JH, Mattes R, McKinlay A, Vecchia P, Veyret B (eds.) International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, 2003.

IRPA. Non-Ionizing Radiations: Physical Characteristics, Biological Effects and Health Hazard Assessment. Proceedings of the International Non-Ionizing Radiation Workshop. Melbourne, 1988.

Klaunberg BJ, Grandolfo M, Erwin DN. Radiofrequency Radiation Standards, Biological Effects, Dosimetry, Epidemiology and Public Health Policy. NATO ASI Series. New York, 1995.

NCRP Report no 86: Biological Effects and Exposure Criteria for Radiofrequency Electromagnetic Fields, 1986.

NRPB. Report of an independent Advisory Group on Non-ionising Radiation: Health Effects from Radiofrequency Electromagnetic Fields, Documents of the NRPB. Volume 14, No. 2, Chilton, 2003.

WHO. Non-Ionizing Radiation Protection. European series No.10. Copenhagen, 1982.

WHO. Environmental Health Criteria 35: Extremely Low Frequency (ELF) Fields. Geneva, 1984.

WHO. Environmental Health Criteria 137: Electromagnetic Fields (300Hz to 300 GHz). Geneva, 1993.

