

STUK-TR 5 / MAALISKUU 2008

TR

Väestön altistuminen radiotaajuisille kentille Suomessa

Tommi Toivonen

ISBN 978-952-478-323-1 (print, Edita Prima Oy, Finland 2008)
ISBN 978-952-478-324-8 (pdf)
ISSN 1796-7171

Alkusanat

Radioaaltojen käyttö tiedonsiirrossa on lisääntynyt voimakkaasti langattomien sovellusten yleistyessä. Langattomuus helpottaa useiden tekniikoiden hyödyntämistä ja suurin osa ihmisistä käyttääkin nykyään monia radiolaitteita päivittäin. Nykyiset sovellukset eivät aiheuta vaarallista altistumista väestölle, koska päätelaitteiden tehot ovat pieniä ja suuritehoisemmat laitteet on sijoitettu turvallisen matkan päähän sivullisista. Uudet laitteet ja ympäristöön ilmestyvät mastot huolestuttavat kuitenkin monia ihmisiä. Esimerkiksi STUKin ionisoimattoman säteilyn laboratorioon tulee vuosittain satoja kyselyitä langattomien laitteiden terveysvaikutuksista. Tämän vuoksi on katsottu tarpeelliseksi tehdä mahdollisimman kattava puolueeton selvitys ihmisten altistumisesta radio- ja mikroaalloille normaalissa elinympäristössä.

Tässä raportissa esitetään tyypilliset altistumistilanteet erilaisissa asuinympäristöissä vaikuttaville taustakentille ja yleisesti käytössä olevien päätelaitteiden kentille. Altistuminen saattaa vaihdella hyvin voimakkaasti paikan tai jonkin laitteen käyttötilanteen mukaan, joten altistumista ei pystytä määrittämään tarkasti. Tämän vuoksi sovelluksista on kerätty teknisiä tietoja ja mittaustuloksia, joiden perusteella voidaan arvioida tyypillinen ja suurin altistuminen ja sen vaihteluväli. Kehossa kiinni pidettävät laitteet altistavat yleensä selvästi eniten. Kauempana sijaitsevien lähettimien kentät ovat huomattavasti pienempiä. Altistuminen aiheutuu lähes kaikkialla yhdestä tai kahdesta lähteestä. Muut lähteet aiheuttavat suurimpaan lähteeseen verrattuna hyvin pienen kentän.

STUKin julkaisemassa kirjassa Ionisoimaton säteily, sähkömagneettiset kentät, käydään kattavasti läpi ionisoimattoman säteilyn peruskäsitteet, terveysvaikutukset, altistumisrajat ja mittaukset. Tämän raportin tarkoituksena on täydentää kirjan sisältöä käytännön altistumistilanteiden ja käytössä olevien tekniikoiden osalta. Radioaaltojen ja altistumisen peruskäsitteitä käydään kuitenkin lyhyesti läpi raportin johdannossa. Toisessa luvussa esitellään yleisimmät radioaaltoaltistumista tai taustakenttiä aiheuttavat tekniikat. Kolmannessa luvussa käsitellään muita altistumista aiheuttavia sovelluksia. Neljännessä luvussa kuvailaan muutamia radioaaltoja hyödyntäviä sovelluksia, jotka ovat hyvin pienitehoisia tai muuten aiheuttavat hyvin vähän altistumista. Viidennessä luvussa esitellään joitakin altistumismittauksia sekä saatuja tuloksia ja kuudennessa luvussa taustakenttien tasoja erilaisissa asuinympäristöissä. Viimeisessä luvussa on yhteenveto selvityksessä havaituista asioista.

Sisällys

ALKUSANAT	3
1. JOHDANTO	7
2. YLEISIMMÄT RADIOTAAJUISEN SÄTEILYN LÄHTEET	9
2.1 Radio- ja TV-lähetykset	9
2.2 Matkapuhelimet	9
2.3 Matkapuhelintukiasemat	10
2.4 Langaton lähiverkko, WLAN	11
2.5 Bluetooth	11
2.6 Mikroaaltouunit	11
3. MUITA YLEISIÄ RADIOTAAJUISEN SÄTEILYN LÄHTEITÄ	13
3.1 Itkuhälyttimet	13
3.2 Johdottomat puhelimet, DECT, CT1, CT2	13
3.3 Radiopuhelimet	14
3.4 TETRA, Viranomaisverkko (VIRVE), HelEnNET	14
3.5 Kiinteät langattomat liityntäverkot, @450, WiMAX	15
3.6 Radioamatööritoiminta	16
3.7 Merenkulun viestintä	16
3.8 Ilmailun radiolaitteet	16
3.9 Tutkat	17
4. PIENITEHOISIA RADIOTAAJUISEN SÄTEILYN LÄHTEITÄ	19
4.1 Autojen keskuslukituksen kaukosäätimet	19
4.2 Etätunnistuslaitteet (RFID)	19
4.3 Huonokuuloisten apuvälineet	19
4.4 Langattomat hälytinjärjestelmät	19
4.5 Pienoisilma-alusten kauko-ohjaus	19
4.6 Langattomat kuulokkeet ja kaiuttimet	20

5.	MITTAUSAINEISTOA ERILAISISTA ALTISTUMISTILANTEISTA	21
5.1	TV:n ja radion yleislähetykset	21
5.2	Matkapuhelimet	22
5.3	Matkapuhelintukiasemat	24
5.4	Lentokentän laitteet	24
6.	TAUSTAKENTTIÄ ERILAISISSA ASUINYMPÄRISTÖISSÄ	26
6.1	Mittausjärjestely	26
6.2	Kaupungin keskusta ja esikaupunkialue	26
6.3	Maaseutu	28
7.	YHTEENVETO	29
	TIETOLÄHTEITÄ	30
	STUK TR-SARJAN RAPORTIT	30

1. Johdanto

Radioaalloilla tarkoitetaan sähkömagneettisen spektrin aluetta noin 3 kHz:stä 300 GHz:in. Mikroaalloilla tarkoitetaan yleensä 300 MHz–30GHz taajuisia radioaaltoja. Taajuustasossa radioaaltojen alapuolella ovat pientaajuiset ja staattiset sähkömagneettiset kentät ja yläpuolella infrapuna sekä näkyvä valo.

Radiotaajuisen säteilyn tiedossa olevat terveysvaikutukset johtuvat aaltojen energian imeytymisestä kehoon ja sen aiheuttamasta lämpötilan noususta kudoksissa. Terveyshaittoja syntyy, mikäli kehon lämmönsäätelyjärjestelmä ei pysty poistamaan kudoksista radioaaltojen aiheuttamaa ylimääräistä lämpökuormaa. Mahdolliset terveysvaikutukset ilmaantuvat välittömästi eikä radiotaajuisella säteilyllä ole kumulatiivisia terveysvaikutuksia. Näistä tieteellisesti todistetuista haitallisista terveysvaikutuksista on johdettu väestön altistumisrajat, jotka on vahvistettu Suomessa sosiaali- ja terveysministeriön asetuksella (294/2002). Asetuksessa annetut raja-arvot perustuvat riippumattoman kansainvälisen ionisoimattoman säteilyn komission (ICNIRP) ohjearvoihin. Näiden perusteella on annettu myös Euroopan unionin neuvoston suositus (1999/519/EC), joten samat rajat ovat käytössä muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta kaikissa EU-maissa. Joissakin Euroopan maissa ja kaupungeissa käytetään eri tavalla määriteltyjä, jonkin verran tiukempia rajoja lähinnä poliittisista syistä.

Työperäiselle altistumiselle annetut ohjearvot ovat pääosin viisi kertaa suuremmat kuin koko väestölle. Näihin arvoihin perustuen Euroopan Unioni antoi vuonna 2004 direktiivin (2004/42/EY), joka määrää vähimmäisvaatimukset työntekijöiden suojelemiseksi. Tämä direktiivi saatetaan Suomessa voimaan lähivuosina ministeriön asetuksella, joka korvaa nykyisin voimassa olevan sosiaali- ja terveysministeriön päätöksen (1474/1991).

Altistumisen mittana käytetään yleisesti ominaisabsorptionopeutta eli SAR-arvoa (Specific Absorption Rate), joka kuvaa kudossmassayksikköön

absorboituvaa tehoa. Suureen yksikkö on W/kg. Koko kehon altistuessa lämmönsäätelyjärjestelmä poistaa ylimääräisen lämpötehon kehosta hikoilun ja johtumisen avulla. Paikallisen altistumisen tapauksessa riittää, että ylimääräinen lämpöteho siirtyy ympäröiviin kudoksiin. Tämän vuoksi keho sietää paikallista altistumista huomattavasti paremmin kuin koko kehon altistumista ja myös altistumisrajat määritellään näille erikseen.

Paikallisen altistumisen mittana on päätetty käyttää SAR-arvoa 10 gramman kuutiomaisen kudossmassan keskiarvona, joka on biologisesti järkevä, koska tätä pienemmät huiput tasaantuvat tehokkaasti lämmön johtumisen vuoksi. Kuution sivun pituus riippuu jonkin verran kudostyyppistä mutta tyypillinen arvo on noin 2,2 cm. Väestön SAR:n enimmäisarvot ovat koko keholle 0,08 W/kg, paikallisesti raajoissa 4 W/kg ja paikallisesti päässä tai vartalossa 2 W/kg. Rajoissa käytetään lisäksi 6 minuutin aikakeskiarvoa, koska keho tasaa tehokkaasti hetkellistä lämpökuormaa.

SAR on kehon sisällä vaikuttava suure, joten sen reaaliaikainen mittaaminen on hyvin vaikeaa. Käytännössä SAR pystytään mittaamaan vain laboratorio-olosuhteissa ihmisen muotoa ja sähköisiä ominaisuuksia jäljittävään fantomiin perustuvalle koejärjestelyllä. Altistumisrajoja on kuitenkin pystyttävä valvomaan myös kenttäolosuhteissa, joten SAR-rajoista on johdettu käyttökelpoisempia viitearvoja häiriintymättömälle sähkökentälle (V/m), magneetikentälle (A/m) ja niiden ekvivalenttiselle tehotiheydelle (W/m²). Nämä viitearvot on määritelty laskemalla vapaassa tilassa vaikuttava kentänvoimakkuus, johon joutuva ihminen ei altistu pahimmassakaan tapauksessa SAR-rajat ylittävälle säteilylle. Pahinta tapausta määritettäessä on huomioitava kaikki mahdolliset ihmisten koot, painot ja asennot, joten useimmissa tapauksissa viitearvot lievästi ylittävä kenttä ei vielä aiheuta rajat ylittävää SAR-arvoa.

Altistumisen kohdistuminen kehon eri osiin

riippuu taajuudesta ja lähteen tyypistä. Kehon lähellä pidettävät laitteet altistavat käyttäjää tyypillisesti hyvin paikallisesti ja kaukana sijaitsevat antennit tasaisesti. Matalilla taajuuksilla kentät vaimenevat kudoksissa kohtuullisen hitaasti, jolloin altistuminen kohdistuu tasaisesti eri syvyyksille ja paikallinen SAR ei muodostu merkittävästi suuremmaksi kuin koko kehon keskiarvo. Taajuuden kasvaessa vaimeneminen nopeutuu ja altistuminen keskittyy kehon pintaosiin. Korkeilla taajuuksilla (>6 GHz) lähes kaikki teho absorboituu alle 3 cm:n syvyydelle, jolloin paikallinen altistuminen on aina merkittävämpää kuin koko kehon keskiarvo.

Kehossa kiinni pidettävien laitteiden lähettämästä tehosta merkittävä osa kytkeytyy antennin lähikentästä suoraan kehoon (esimerkiksi 50 %). Tällöin altistuminen riippuu vain lähettimen tehosta ja siitä, kuinka suureen kudossmassaan teho absorboituu. Hyvin pienikokoisen, korkealla taajuudella toimivan lähteen aiheuttama altistuminen saattaa teoriassa kohdistua lähes kokonaan 10 g:n kudossmassaan. Tällöin esimerkiksi 40 mW:n lähetystehosta absorboituva 20 mW teho aiheuttaisi altistumisrajojen suuruisen SAR-arvon (2 W/kg). Suurikokoisemman ja matalammalla taajuudella toimivan laitteen aiheuttama altistuminen kohdistuu väistämättä suurempaan kudossmassaan (esimerkiksi 1 kg), jolloin vastaavasti 20 mW absorption aiheuttama altistuminen (0,02 W/kg) olisi vain sadasosan altistumisrajoista.

Kun altistuva henkilö on vähänkin kauempana, tilannetta voidaan tarkastella tehotiheydelle annettujen viitearvojen kautta. Tällöin radioaalto lähtee etenemään säteittäisesti antennista pois päin, jolloin antenniin syötetty teho (P) jakautuu antennia ympäröivälle pallopinnalle. Näin ollen tehosiheys (S) vaimenee etäisyyden kasvaessa verrannollisena pallon pinta-alaan, joka on tunnetusti verrannollinen säteen (r , etäisyys antennista) neliöön. Teho ei kuitenkaan jakaudu pallopinnalle tasaisesti, joten toisissa suunnissa tehosiheys on suurempaa, toisissa pienempää. Suurimman tietyllä etäisyydellä vaikuttavan tehosiheyden suhdetta samalla etäisyydellä vaikuttavaan keskimääräiseen tehosiheyteen kutsutaan antennin suuntaavuudeksi (D). Todellisen keskimääräisen tehosiheyden mittaaminen on työlästä, joten suurinta tehosiheyttä verrataan tämän sijasta yleensä antenniin syötetystä tehosta laskettuun keskimääräiseen tehosiheyteen. Tätä suhdetta kutsutaan antennin vahvistukseksi (G),

joka on antennin sisäisten häviöiden verran pienempi kuin suuntaavuus. Edellä oleva tarkastelu voidaan esittää matemaattisesti kaavalla 1.

$$S = \frac{PG}{4\pi r^2} . \quad (\text{Kaava 1})$$

Pienikokoisen lähteen vahvistuksena käytetään yleisesti arvoa 1,64 (puoliaaltodipolin vahvistus). Suurten lautasantennien vahvistus voi olla esimerkiksi 10000. Tehon ja vahvistuksen tulo ilmoitetaan usein yhdessä suurella EIRP (tehollinen isotrooppinen säteilyteho). Teho ja vahvistus vaikuttavat antennin turvaetäisyyteen merkittävästi, mutta etäisyyden kasvaessa tehosiheys pienenee nopeasti. Ihmiseen kohdistuu samanaikaisesti radioaalto- ja lukemattomista lähteistä mutta altistumisen arvioinnissa vain lähimpänä sijaitsevat lähteet merkitsevät. Esimerkiksi kymmenen metrin päässä sijaitsevan antennin lähetystehon pitäisi olla satakertainen, jotta sen aiheuttama tehosiheys olisi sama kuin metrin päässä sijaitsevan samanlaisen antennin. Vastaavasti sata antennia, jotka sijaitsevat sadan metrin päässä, aiheuttavat yhden prosentin lisän metrin päässä olevan samanlaisen ja samalla teholla lähettävän antennin aiheuttamaan altistumiseen.

Radio- ja mikroaaltosovellukset käsitellään tässä raportissa niiden yleisyyden mukaisessa järjestyksessä. Suuritehoiset, alle 1 GHz taajuuksilla toimivat laitteet aiheuttavat kentän kaikkialle. Myös matkapuhelimet ja niiden tukiasemat, kannettavien tietokoneiden langattomat Internet-yhteydet ja mikroaaltouunit kuuluvat lähes jokaisen suomalaisen elinympäristöön. Näiden lisäksi on käytössä radio- ja mikroaaltolaitteita, joita käyttää pienempi ihmisjoukko tai jotka liittyvät esimerkiksi ilmailun, maanpuolustuksen tai merenkulun tarpeisiin ja saattavat aiheuttaa paikallisesti suuren osan taustakentästä. Näiden sovellusten lisäksi on käytössä suuri joukko erilaisia matalatehoisia laitteita, jotka eivät aiheuta missään tilanteessa merkittävää altistumista mutta jotka ovat huolestuttaneet joitakin ihmisiä.

2. Yleisimmät radiotaajuisten säteilyn lähteet

2.1 Radio- ja TV-lähetyskset

Yleisradion radiolähetyskset alkoivat vuonna 1926 ja TV-lähetyskset vuonna 1955. Lähetyskset ovat kuuluneet koko maahan jo kymmeniä vuosia. Äänen ja kuvan yleislähetyskille on varattu useita taajuusalueita. Esimerkiksi TV-lähetyskille on varattu taajuuksia 47–862 MHz väliltä (VHF I-III, UHF) ja ääniyleisradiolähetyskille kaista 87,5–108 MHz. Analogisten lähetysten loppuminen on muuttanut jossain määrin TV-lähetysten aiheuttamia taustakenttiä, koska digitaalisia TV-lähetyskset on nykyään vain UHF-alueella. Alempien TV-käytössä oleiden taajuuksien tulevaisuuden hyödyntämisestä ei ole vielä varmaa tietoa.

Lähetystehot ovat suuria, koska yksittäisen lähetinaseman kantama voi olla yli sata kilometriä. Lähettimet sijoitetaan kuitenkin kantaman parantamiseksi korkeisiin mastoihin, joten maan tasalle aiheutuvat kentänvoimakkuudet ovat pieniä. Antennien keilat pyritään suunnittelemaan siten, että kentänvoimakkuus jakautuisi mahdollisimman tasaisesti eri etäisyyksille.

Viidennessä luvussa esitellään mitattuja kentänvoimakkuuksia eri etäisyyksillä pääaseman lähettimestä erilaisissa maastonkohdissa. TV- ja radiolähettimien aiheuttamat tehotehiheydet ovat suurimmillaan korkeissa kohdissa muutamien kilometrien säteellä mastoista. Mitatut kentänvoimakkuudet ovat tyypillisesti enintään kymmenes-tuhannesosia altistumisrajoista, joten lähetyskset eivät aiheuta väestölle merkittävää altistumista.

2.2 Matkapuhelimet

Yleisin väestön altistumista aiheuttava tekniikka ovat matkapuhelimet. Ne eivät nykytiedon mukaan aiheuta terveyshaittoja.

GSM-puhelimet toimivat yleensä kahdella taajuusalueella. Alempi kaista on 876–915 MHz (GSM 900, E-GSM ja R-GSM) ja ylempi 1710–1785 MHz taajuuksilla (GSM 1800, aiemmin käytettiin nimeä DCS 1800). Lähetysteho on 900 MHz

alueella 2 W ja 1800 MHz alueella 1 W. GSM-signaali on jaettu aikatasossa kahdeksaan jaksoon, joista yhtä puhelin käyttää lähettämiseen. Muut aikavälit jäävät muille samaa kanavaa käyttäville puhelimille. Näin ollen puhelimen keskimääräinen lähetysteho on 1/8 huipputehosta eli 900 MHz alueella 250 mW ja 1800 MHz alueella 125 mW. Puhelinta käytettäessä arviolta puolet lähetystehosta absorboituu käyttäjän päähän. Eri puhelinmallien SAR-arvot vaihtelevat melko paljon, koska SAR-jakauma riippuu muun muassa puhelimen koosta, muodosta ja antennin hyötysuhteesta.

3G- eli UMTS-matkapuhelimet toimivat 1920–1980 MHz taajuusalueilla ja lähetysteho on enimmillään 125 mW. 3G-puhelimet toimivat käytännössä aina myös GSM-verkossa.

Matkapuhelinten aiheuttamaa säteilyaltistumista rajoitetaan EU:n alueella telepätelaitteita koskevalla direktiivillä (1999/5/EY) ja kansallisilla säädöksillä. Puhelinten säteilyn valvonta perustuu omavalvontaperiaatteeseen siten, että laitteita EU:n alueelle tuova tai valmistava taho vastaa laitteiden vaatimustenmukaisuudesta. Käytännössä valmistajat mittaavat kaikkien puhelinmalliensa SAR-arvon ja varmistavat, että raja-arvo ei ylitä. Puhelinvalmistajat ilmoittavat mittaamansa SAR-arvon puhelimen myyntipakkauksessa käyttöohjekirjassa tai erillisellä lapulla.

STUK valvoo puhelinten säteilyä markkinavalvontana pistokokein. GSM-puhelinten markkinavalvonta aloitettiin vuonna 2003 ja UMTS-puhelinten vuonna 2007. Mitattujen puhelinten suurimmat SAR-arvot on tähän asti saatu lähes aina puhelimen toimiessa GSM 900-verkossa. Mitattujen puhelinten SAR arvot ovat vaihdelleet välillä 0,2 ja 1,4 W/kg ja täten alittaneet asetetun raja-arvon (2 W/kg). Mitatut arvot ovat myös lähes kaikissa tapauksissa olleet mittausepävarmuuden puitteissa samanlaiset kuin valmistajan ilmoittamat arvot. Ajantasaiset mittaustulokset ovat saatavilla STUKin Internet-sivuilta (www.stuk.fi).

STUKin mittaama ja pakkauksissa ilmoitettu SAR-arvo tarkoittaa aina kyseisen puhelimen aiheuttaman altistumisen enimmäisarvoa. Tämä vastaa tilannetta, jossa puhelin on huonossa kentässä ja puhelimen käyttäjä puhuu jatkuvasti. Normaalissa käyttötilanteessa altistuminen on selvästi vähäisempää, koska puhelimen lähetysteho säätyy tukiasemasignaalin voimakkuuden mukaan alemmalle tasolle akun säästämiseksi. Lisäksi puhelinta käytettäessä osan aikaa kuunnellaan, jolloin puhelin säättää lähetystään harvemmaksi ja SAR laskee tyypillisesti n. 30 %. Kaupunkialueella tukiasemaverkko on hyvin tiheä, jolloin puhelimet joutuvat lähettämään täydellä teholla vain harvoin.

Tyypillinen GSM-verkossa toimivan puhelimen lähetysteho ja siten myös SAR on joidenkin arvioiden mukaan noin kymmenesosa maksimista, kun puhelinta käytetään kävellessä. Liikkuvassa autossa tyypillinen lähetysteho on neljäsosan ja junassa puolet maksimista. 3G-puhelinten tehonsäätö on huomattavasti parempi kuin GSM-puhelinten. Tämän vuoksi näiden SAR-arvot jäävät normaalissa käyttötilanteessa yleensä merkittävästi pienemmiksi kuin GSM-puhelinten, edellyttäen että puhelinta käytetään 3G-verkon peittoalueella. Joidenkin arvioiden mukaan puhelinten teho on tällöin tyypillisesti alle sadasosan maksimista.

Matkapuhelimen käyttäjät voivat halutessaan vähentää altistumisensa merkittävästi ilmoitettua maksimitasoa pienemmäksi muutamilla yksinkertaisilla toimenpiteillä, kuten välttämällä pitkiä puheluita huonossa kentässä ja käyttämällä hands free -laitetta. Bluetooth-yhteydellä kytketyn kuulokkeen lähetysteho on enintään 2,5 mW. Teho laskee hyvässä yhteydessä, minimiteho on 0,25 mW. SAR-arvon voidaan arvioida karkeasti olevan enintään suuruusluokkaa 0,02 W/kg. Johdolla kytketty korvakuuloke vaimentaa päähän kohdistuvaa säteilyä tyypillisesti noin kymmenesosaan. Sekä Bluetooth- että langallisia kuulokkeita käytettäessä on muistettava, että puhuttaessa taskussa tai vyöllä (kehossa kiinni) oleva puhelin säteilee läheisiin kudoksiin suunnilleen yhtä paljon kuin sama puhelin säteilisi päähän korvalla käytettäessä. Altistumisen voi välttää lähes täysin puhumalla korvakuulokkeen kautta ja pitämällä puhelinta esimerkiksi pöydällä. Pienikin välimatka puhelimen ja kehon välillä riittää.

Matkapuhelinjärjestelmissä on myös erilaisia tiedonsiirto-ominaisuuksia (GPRS, EDGE, 3G),

joiden avulla puhelimella voi esimerkiksi selailta Internetiä tai yhdistää tietokoneen verkkoon. Matkapuhelin saattaa käyttää tiedonsiirrossa hieman suurempaa tehoa kuin puheikäytössä. Puhelinta ei kuitenkaan käytetä tällöin yleensä korvalla. Altistuminen jää vähäiseksi, koska jo parin sentin etäisyys puhelimen ja kehon välillä alentaa altistumista merkittävästi.

2.3 Matkapuhelintukiasemat

GSM-järjestelmän tukiasemaverkko kattaa koko Suomen. Tukiasemat toimivat 921–960 MHz (GSM 900, E-GSM ja R-GSM) ja 1805–1880 MHz (GSM 1800) taajuuksilla. GSM 900 -alueen tukiasemien signaali näkyy kohtuullisen tasaisesti kaikkialla. Tiheästi asutuilla alueilla on GSM 1800 -alueen tukiasemia lisäämässä kapasiteettia. 3G- eli UMTS-matkapuhelinjärjestelmän tukiasemat vastaavat säteilyturvallisuuden osalta GSM-tukiasemia. Ne toimivat 2110–2170 MHz taajuuksilla.

Matkapuhelinverkko koostuu kolmen tyyppistä tukiasemista, eli makrosoluista, mikrosoluista ja pikosoluista.

Makrosolutukiasemien kantama on muutamasta kilometristä 20 km:iin asutuksen tiheydestä riippuen. Ne hoitavat esimerkiksi yhden asuinalueen tai kylän matkapuhelinliikenteen. Lähetysteho on enintään noin 30 W. Antennit on sijoitettu yleensä melko korkealle, esimerkiksi talon katolle tai mastoon ja ne osoittavat horisonttiin. Antenneina käytetään korkeita kapeita elementtejä, jotka muodostavat matalan ja leveän viuhkamaisen keilan antennin etupinnan suuntaan. Antennien keiloja ei yleensä suunnata suoraan taloja kohti, koska ne haittaisivat yhteyttä. Mikäli antenni on asennettu siten, että sen eteen samalle tasolle on yleinen pääsy, väestön altistumisrajat saattavat ylittyä muutaman metrin päässä antennista. Tällöin antennin pitäisi olla varustettu varoitusmerkillä, jolla ilmoitetaan turvaetäisyys väestölle ja työntekijöille. Sen sijaan asunnon yläpuolelle, ulkoseinälle tai vastapäisen talon katolle sijoitetut antennit eivät aiheuta asuntoon merkittäviä kenttiä.

Mikrosolutukiasemat hoitavat liikennettä muutamien satojen metrien säteellä, eli esimerkiksi yhdellä kadulla tai aukiolla. Lähettimen teho on muutamia watteja. Antennit ovat usein matalampia kuin makrosolujen antennit, jolloin keila on korkeampi. Antennit osoittavat alaviistoon katolta tai talon seinältä. Mikrosolun tukiasemat eivät

yleensä aiheuta merkittävää altistumista, koska niiden lähetysteho on pieni. Väestön altistumisraajat saattavat ylittyä muutaman kymmenen sentin etäisyydellä suoraan antennin edessä mutta antennit pitäisi sijoittaa siten, että niiden välittömään läheisyyteen ei pääse.

Pikosolutukiasemat hoitavat esimerkiksi sisäpihan tai kokoustilan matkapuhelinliikennettä. Niillä saadaan parempi kuuluvuus paikallisiin katvealueisiin tai paljon liikennettä vaativiin paikkoihin. Antennit ovat yleensä pienikokoisia elementtejä, jotka on kiinnitetty seinälle katon rajaan. Lähetystehot ovat korkeintaan muutaman sadan milliwatin luokkaa, joten pikosolutukiasemien aiheuttama altistuminen ei ylitä raja-arvoja edes kosketusepäisyydellä.

Tukiasemien aiheuttama altistuminen on yleensä hyvin vähäistä. Antennien lähellä sijaitsevissa asunnoissa mitatut tehotiheydet ovat olleet enimmäkseen 1/200–1/10000 altistumisen enimmäisarvoista. Lähellä oleva tukiasema jopa yleensä vähentää ihmisiin kohdistuvaa keskimääräistä altistumista, koska matkapuhelimet lähettävät hyvässä kentässä huomattavasti pienemmällä teholla kuin kaukana tukiasemasta. Tukiasemat herättävät kuitenkin huolta esimerkiksi sen vuoksi, että niiden aiheuttama altistuminen on jatkuvaa eikä siihen voi vaikuttaa omilla valinnoilla.

2.4 Langaton lähiverkko, WLAN

Langattoman lähiverkon eli WLANin (Wireless Local Area Network) avulla voidaan yhdistää langattomasti erilaisia verkkolaitteita, kuten tietokoneita, käyttämällä mikroaaltoja tiedon siirtämiseen. Käyttökohteita ovat muun muassa kahviloissa, hotelleissa ja kokoussaleissa olevat ilmaiset tai maksulliset langattomat Internet-yhteydet. Langaton verkkosovitin on vakiovarusteena lähes kaikissa kannettavissa tietokoneissa, joten laajakaistaan yhdistetyt WLAN-tukiasemat ovat hyvin yleisiä myös yksityiskäytössä. Yksittäisen tukiaseman peittoalue on varsin pieni, joten WLANia käytetään tyypillisesti muulla tavoin toteutetun Internet-yhteyden (esim. ADSL) jatkeena.

Tällä hetkellä käytössä olevat langattoman lähiverkon laitteet perustuvat yleensä yhdysvaltalaisen IEEE:n (Institute of Electrical and Electronics Engineers) IEEE 802.11 -sarjan standardeihin ja niistä käytetään kauppanimeä Wi-Fi. Lähes kaikki Euroopassa käytettävät Wi-Fi-laitteet (tukiasemat

ja päätelaitteet) toimivat ISM-taajuuskaistalla 2400–2483,5 MHz ja niiden suurin sallittu lähetysteho on 100 mW EIRP. Teoreettinen maksimi tällä teholla lähettävän ja kehossa kiinni olevan WLAN-laitteen aiheuttamalle altistumiselle on noin 1 W/kg. Tyypillisesti altistuminen on kuitenkin vain 1/10 tai 1/100 tästä, koska Wi-Fi-laitteiden antennit eivät yleensä ole käytettäessä aivan kiinni kehossa. WLAN-laitteissa ei ole varsinaista adaptiivista tehonsäätöä, mutta lähetin on päällä vain, kun tietoa siirretään. Tämän vuoksi WLAN-laitteiden tyypillinen keskimääräinen lähetysteho on 100–1000 kertaa maksimitehon alapuolella. WLAN-tukiasemien aiheuttama altistuminen on käytännössä aina hyvin vähäistä. Esimerkiksi ylimetrin päässä sijaitsevan lähettimen aiheuttama kentänvoimakkuus on kaikissa tapauksissa alle tuhannesosan altistumisrajoista.

2.5 Bluetooth

Bluetooth on langattomaan tiedonsiirtoon perustuva standardi, joka toimii lisenssivapaalla ISM-taajuuskaistalla (Industrial, Scientific and Medical) 2400–2483,5 MHz. Bluetooth-tekniikkaa voidaan käyttää esim. matkapuhelimen ja hands free -kuulokkeen tai tietokoneen ja lisälaitteiden yhdistämiseen. Lähettimet jaetaan kolmeen luokkaan lähetystehon mukaan. Luokan 1 lähettimien suurin sallittu lähetysteho on 100 mW, luokan 2 lähettimien 2,5 mW ja luokan 3 lähettimien 1 mW. Lähettimien kantamat ovat vastaavasti noin 100 m, 20 m ja 10 m. Luokan 1 lähettimiä on lähinnä kannettavissa tietokoneissa. Bluetooth-tekniikalla varustetut langattomat tietokoneen hiiret ja kuulokkeet sisältävät luokkien 2 ja 3 lähettimiä. Luokan 1 lähettimen suurimmaksi SAR-arvoksi (10 g) saatiin eräessä tutkimuksessa noin 0,5 W/kg laitteen ollessa kiinni kehossa. Matkapuhelinten langattomat kuulokkeet ovat yleensä luokan 3 Bluetooth-laitteita, joten niiden aiheuttama altistuminen on vain prosentin osia altistumisrajoista.

2.6 Mikroaaltouunit

Lähes jokaisesta Suomen keittiöstä löytyvä mikroaaltouuni on matkapuhelimen jälkeen ehkä yleisin mikroaaltosovellus Suomessa. Unit toimivat Euroopassa luvista vapautetulla 2,45 GHz ISM-taajuudella. Uunin toiminta perustuu sähkömagneettisen kentän kuljettaman energian absorboitumiseen häviöllisessä väliaineessa. Mikroaalto

etenee esimerkiksi veden ja suolan muodostamassa johtavassa aineessa voimakkaasti vaimentuen, jolloin mikroaaltojen energia muuttuu lämmöksi. Väliaineen häviöllisyydestä riippuen aallot etenevät jonkin matkaa aineessa, jolloin lämpö kohdistuu syvemmälle lämmitettävään kappaleeseen. Tämä on usein selvä etu muihin lämmitysmenetelmiin, kuten infrapunaan (tavallinen uuni) ja konvektioon (keittäminen) verrattuna. Toisaalta johtavuuserot saattavat aiheuttaa häviöllisemmän aineen kiehumisen muiden osien jäädessä kylmiksi.

Mikroaaltouunien lämmitysteho on tyypillisesti noin 1 kW suuruusluokkaa. Teho johdetaan lähteenä käytettävästä magnetronista aaltoputkea pitkin uunitilaan. Uunitilan seinät ja luukun reikäverkko ovat metallia, joten ne eivät päästä mikroaalloja ulos uunista. Mikroaallot vaimenevat välittömästi, kun magnetroni sammutetaan, joten uuniin tai lämmitettävään ruokaan ei jää säteilyä kun luukku avataan.

Uunin luukun reuna ei ole galvaanisesti kytketty uuniin, vaan vuotosuojaus on tehty ns. aaltoloukulla. Rakenne ei päästä 2,45 GHz mikroaalloja vuotamaan uunista ulos. Aaltoloukku on suunniteltu toimimaan vain uunin käyttötaajuudella, joten esimerkiksi uunin sisään laitettu matkapuhelin voi säilyttää yhteyden tukiasemaan. Käyttötaajuudellakin pieni osa tehosta pääsee vuotamaan luukun reunojen välistä esimerkiksi luukun kulmien aiheuttamien epäideaalisuuksien vuoksi. Vuotosäteilyn suuruus saa olla CE-merkillä varustetussa uunissa 5 cm päästä uunin pinnasta 50 W/m². Kauemmaksi siirryttäessä vuotosäteilyn tehotiheys laskee nopeasti (kääntäen verrannollisesti etäisyyden neliöön). Esimerkiksi suurimmalla sallitulla vuotosäteilyn arvolla tehotiheys olisi metrin päässä vain noin prosentin altistumisrajoista. STUK on mitannut noin 30 uunia 1980- ja 1990-luvuilla ja vuotosäteilyn arvot ovat vaihdelleet 1–15 W/m² välillä. Täten mikroaaltouunien vuotosäteilylle ei ole katsottu tarpeelliseksi suorittaa jatkuvaa markkinavalvontaa.

3. Muita yleisiä radiotaajuisen säteilyn lähteitä

Yleisimpien radiotaajuisen säteilyn lähteiden lisäksi on käytössä radio- ja mikroaaltolaitteita, joita käyttää pienempi ihmisjoukko mutta jotka saattavat aiheuttaa merkittävän osan näiden altistumisesta tai paikallisista taustakentistä.

Laitteen käyttötapa ja erityisesti etäisyys laitteeseen vaikuttaa altistumiseen merkittävästi. Enimmäisaltistumista voidaan arvioida, jos tiedetään esimerkiksi keskimääräinen lähetysteho ja antennin vahvistus. Lisäksi laitteen tyypillisen lähetteen kestosta, antennin keilan liikkeestä, mahdollisista kenttämittaustuloksista ja muista tyypilliseen käyttöön liittyvistä tiedoista voidaan arvioida altistumisen vaihtelua tapauskohtaisemmin. Tähän lukuun on kerätty näitä tietoja eri sovelluksista.

3.1 Itkuhälyttimet

Itkuhälyttimiä käytetään toisessa huoneessa tai pihalla nukkuvan vauvan heräämisen havaitsemiseen. Lähetinosa sijoitetaan lapsen läheisyyteen ja vastaanotinta kannetaan mukana esimerkiksi vyöllä. Lähetinosassa on äänitunnistin, joka aktivoi lähettimen, kun lapsi herää ja alkaa äännellä. Ääni kuuluu radioaaltojen välityksellä vastaanottimesta, jolloin hoitaja tietää mennä lapsen luokse. Joissakin malleissa on lisäksi kamera lapsen seuraamista varten ja toinen lähetin, jolla voidaan puhua lapselle. Radioyhteys voidaan toteuttaa radiopuhelimissa käytettävällä PMR446-tekniikalla, langattomien puhelinten DECT-tekniikalla tai muutamilla itkuhälytinkäyttöön varatuilla taajuuksilla 27–50 MHz (LA) sekä 860 MHz alueilla. Lisäksi etenkin kameralla varustetut mallit saattavat käyttää vapaata 2,4 GHz ISM-kaistaa. LA- ja DECT-tekniikalla toteutettujen hälyttimien nimellinen kantama on noin 100–300 m, 860 MHz laitteiden noin 800 m ja PMR-laitteiden 3 km.

Lapsen viereen asetettu lähetinosa aiheuttaa radioaaltoille altistumista, jonka suuruus riippuu laitteen tyypistä. LA, DECT, 860 MHz ja 2,45 GHz taajuuksilla toimivien laitteiden suurin lähetysteho

on 10 mW, joten niiden aiheuttama altistuminen on hyvin vähäistä. Kehoon kiinni painetun laitteen aiheuttama SAR on enimmillään sadasosia ja puolen metrin päässä olevan laitteen tuhannesosia altistumisrajoista.

Pidemmän kantaman PMR446-tekniikkaan perustuvat itkuhälyttimet käyttävät enintään 500 mW lähetystehoja. Tämä ei todennäköisesti aiheuta altistumisrajojen ylittymistä edes pahimmassa tapauksessa kehoon kiinni painettuna, mutta altistuminen on samaa suuruusluokkaa rajojen kanssa (arviolta enintään 1 W/kg). Laitteen sijoittaminen jo 20 cm päähän vähentää altistumista merkittävästi. Puolen metrin päässä olevan laitteen aiheuttaman tehotiheys on enimmillään noin 10 % raja-arvoista. Altistuminen on kuitenkin tyypillisesti lyhytkestoisista. Itkuhälyttimet lähettävät radioaaltoja vain saadessaan herätteen (lapsen itkiessä), joten altistumista tapahtuu vain muutaman minuutin ajan lapsen herätessä.

3.2 Johdottomat puhelimet, DECT, CT1, CT2

DECT-tekniikka (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) käytetään yleisesti langattomissa kiinteän verkon puhelimissa. Laitteet toimivat 1,9 GHz taajuudella. Järjestelmässä sallitaan 250 mW teho yhtä radiokanavaa kohti. Jokainen kanava on jaettu 24 aikaikkunaan, joista puolet on tukiasemien ja puolet puhelinten käytössä. Yksi puhelin lähettää näin ollen keskimääräistä tehoa 1/24 radiokanavan kokonaistehosta eli 10,4 mW.

DECT-tukiaseman lähetysteho riippuu tukiasemaa käyttävien puhelinten määrästä. Yhden puhelimen tukiasema lähettää 10,4 mW teholla. Tämä on kotikäytössä yleisin tilanne. Esimerkiksi toimistoissa ja tavarataloissa on käytössä DECT-tekniikkaan perustuvia sisäpuhelinjärjestelmiä, joissa tukiasemat hoitavat useiden puhelimien liikenteen. Lähetysteho on tällöin 10,4 mW kerrottuna puhelinten määrällä. DECT-järjestelmässä on 120 liikennekanavaa, joten tukiaseman teoreettinen

maksimiteho on 1,25 W.

DECT-puhelinten SAR-arvo on julkaistujen mitaustulosten mukaan enimmillään 0,05–0,1 W/kg. Tukiasemien aiheuttama altistuminen on vielä huomattavasti pienempää, koska käyttäjä ei ole kosketuksessa antenniin.

CT1- ja CT2-standardien mukaiset vanhemmat johdottomat puhelimet toimivat 900 MHz taajuusalueella osittain nykyisellä GSM-kaistalla. Näillä tekniikoilla toteutettuja puhelimia ei enää myydä Suomessa, mutta joitakin vanhoja laitteita on todennäköisesti vielä käytössä. CT1-puhelinten suurin sallittu lähetysteho on 10 mW ja CT2-puhelinten 20 mW, joten niiden aiheuttama SAR-arvo jäänee kaikissa tapauksissa alle 0,1 W/kg.

3.3 Radiopuhelimet

Monissa radiopuhelimeissa käytetään PMR-tekniikkaa (Personal/Professional Mobile Radio). Useimmat yksityiskäyttöön tarkoitetut puhelimet toimivat luvista vapautetulla 446 MHz taajuudella (PMR446). PMR446-puhelinten lähetysteho saa olla enintään 500 mW ja tyypillinen kantama on noin 3 km. Tämän tyyppisiä puhelimia käytetään yleensä kasvojen edessä, jolloin laite ei ole aivan kiinni päässä. SAR-arvo on tällöin arviolta enintään 0,5 W/kg. Lähetin on päällä vain, kun laitteeseen puhutaan (tangenti pohjassa), joten aikakeskiarvo jää tyypillisessä käytössä huomattavasti pienemmäksi. Korvalla käytettävien mallien SAR-arvo saattaa olla hieman suurempi, enimmillään yli 1 W/kg, mutta ei kuitenkaan yli väestön altistumisrajan (2 W/kg).

Monilla yrityksillä, kuten kuljetusliikkeillä ja huoltoyhtiöillä, on PMR-tekniikkaan perustuvia yksityisiä radiopuhelinjärjestelmiä muilla saman alueen taajuuksilla. Näiden laitteiden säteilyteho voi olla jonkin verran suurempi, noin 1 W:n luokkaa. Enimmillään tämän tyyppinen puhelin saattaa aiheuttaa korvalla käytettäessä hieman väestörajoja suuremman, noin 2–4 W/kg altistumisen. 1 W laitteet ovat kuitenkin ammattikäyttöön tarkoitettuja, joten altistumista pitää verrata ammatillisen altistumisen raja-arvoihin (10 W/kg). PMR-tekniikkaa hyödynnetään myös TETRA-standardin mukaisissa verkoissa, esimerkiksi Suomen viranomaisverkko VIRVEssä. TETRA-sovellukset käsitellään erikseen tässä luvussa.

LA-puhelimet eli lyhytaaltopuhelimet ovat luvasta vapautettuja 27 MHz taajuudella toimivia radiopuhelimia. LA-puhelimet lähettävät amplitu-

dimoduloitua signaalia, jonka lähetysteho saa olla korkeintaan 5 W. Kannettavan laitteen lähetysteho saa olla korkeintaan 1 W. Näin matalalla taajuudella radioaalto absorboituu kudoksiin hitaasti ja puhelimia käytetään tyypillisesti kasvojen edessä jolloin antennin ja pään väliin jää useita senttejä. Tämän vuoksi laitteen teho absorboituu kohtuullisen laajalle alueelle ja 10 g kudossmassan keskiarvona laskettu SAR-arvo jää hyvin pieneksi. Lisäksi laite lähettää vain, kun tangenti on pohjassa. Radiopuhelinliikenteessä puhutaan tyypillisesti lyhyesti, joten altistumisen aikakeskiarvo on vielä selvästi pienempi kuin hetkellinen altistuminen.

LA puhelinten uudemmissa versioista käytetään nimiä PR-27 (Private Radiotelephone) ja CB (Citizen's band). Näitä asennetaan esimerkiksi autoihin ja veneisiin ja niillä voidaan ottaa yhteys myös vanhempiin LA-puhelimiin. Laitteet toimivat myös luvasta vapautetulla 27 MHz taajuudella. Suurin sallittu lähtöteho on 4 W. PR-27 lähete on taajuusmoduloitua ja CB-puhelinten taajuus-, amplitudi- tai yksisivukaistamoduloitua.

Metsästys- ja muuhun harrastuskäyttöön tarkoitettut VHF-radiopuhelimet toimivat 68 MHz taajuudella, joka on luvanvarainen ja laitteen käytöstä peritään vuosittainen käyttömaksu (Ficora). Näiden lähetystehot ovat suuruusluokkaa 5 W. VHF-puhelimet ovat lähetystehon ja käyttötarkoituksen osalta samanlaisia kuin PR27- tai CB-puhelimet, joten niiden aiheuttama altistuminen on vähäistä.

3.4 TETRA, Viranomaisverkko (VIRVE), HelEnNET

TETRA (Terrestrial Trunked Radio) on digitaalinen matkapuhelinjärjestelmä, joka on tarkoitettu viranomais- ja ammattikäyttöön. Suomessa käytössä oleva VIRVE (Viranomaisverkko) on toteutettu TETRA-tekniikalla, ja sitä käyttävät mm. poliisi, palo- ja pelastustoimi, sosiaali- ja terveystoimi, tulilaitos ja puolustusvoimat. Pääkaupunkiseudulla on myös Helsingin Energian omistama ja operoima TETRA-tekniikkaan perustuva HelEnNet-verkko, joka on yritysten ja organisaatioiden käytössä. TETRA-puhelimia voidaan käyttää yhdensuuntaisiin ja kahdensuuntaisiin puheluihin sekä ryhmäpuheluihin.

TETRA käyttää tiedonvälitykseen TDMA-tekniikkaa (Time Division Multiple Access) eli aikajakokanavointia. 25 kHz kanavat on jaettu neljään aikajaksoon. Puheen lähetyksessä TETRA-puheli-

men signaali on purskemaista, jonka toimitasuhde on 25 %, eli keskimääräinen teho $\frac{1}{4}$ maksimitehosta. Purskeen kesto on 14,2 ms ja purske toistuu 56,7 ms välein eli pulssintoistotaajuus on 17,6 Hz. Datan siirrossa tarvitaan useampia aikajaksoja, jolloin toimitasuhde ja keskimääräinen lähetysteho kasvavat.

TETRA:n käyttöön on varattu Suomessa taajuuksia 385–426 MHz alueella. Tukiasemien suurin säteilyteho on 25 W kanavaa kohden eli suurimmillaan noin 100 W antennia kohti. Suuritehoiset tukiasemat on sijoitettu katoille yleensä korkean maston päähän eivätkä näin ollen aiheuta merkittävää altistumista edes katolla liikkujille. Maanpinnan tasalla mitatut tehotiheydet ovat olleet tyypillisesti alle sadasosan altistumisrajoista vaikka tukiasema olisi hyvin lähellä.

TETRA-käsi puhelimien suurimmat lähetystehot ovat 1 W tai 3 W. Normaalisissa puhekäytössä toimitasuhde on $\frac{1}{4}$, joten keskimääräinen lähetysteho on 250 mW tai 750 mW. 1 W TETRA-puhelimien SAR-arvot ovat kirjallisuuslähteiden mukaan samaa suuruusluokkaa kuin GSM-puhelimien eli noin 1 W/kg maksimiteholla lähettävän puhelimen ollessa korvalla. 3 W puhelimien SAR olisi näin ollen enimmillään 3 W/kg, eli väestön altistumisraja saattaa ylittyä. TETRA-puhelimet ovat kuitenkin yksinomaan ammattikäyttöön tarkoitettuja, jolloin sovelletaan ammatillisen altistumisen rajaa 10 W/kg. Todellinen SAR on yleensä huomattavasti pienempi, sillä TETRA-puhelimissa on tukiasemasignaalin voimakkuuden mukaan säätyvä lähetysteho. Suoraan puhelimesta toiseen ilman tukiasemaa puhuttaessa laite tosin käyttää aina maksimitehoa. Lisäksi päätelaite saattaa joissain tilanteissa välittää muiden päätelaitteiden signaalia tukiasemille, jolloin lähetin on päällä, vaikka puhelinta ei käytetä.

3.5 Kiinteät langattomat liityntäverkot, @450, WiMAX

Puhelinjohtojen tai kaapelien puuttuessa internet-yhteyden viimeiset kilometrit voidaan toteuttaa kiinteällä langattomalla liityntäverkolla. Tarkoitukseen on kehitetty useita tekniikoita, joista osa toimii myös mobiilikäytössä. Suomessa on tällä hetkellä saatavilla @450- ja WiMAX-kauppanimillä myytäviä kiinteitä langattomia yhteyksiä. Näiden lisäksi on tarjolla matkapuhelinjärjestelmiin perustuvia internet-liittymiä.

Kauppanimellä @450 myytävä tietoliikenne-yhteys on matkaviestinverkko, joka hyödyntää osaa NMT-matkapuhelinkäytöstä vapautuneesta 450 MHz taajuuskaistasta (453,7–456,9 MHz). Järjestelmä on avattu vuoden 2007 alkupuolella ja vuoden 2009 loppuun mennessä järjestelmän pitäisi kattaa koko Suomen. Matalan taajuuden ansiosta yhden tukiaseman kantoalue on hyvin laaja. Järjestelmän tukiasemien lähetysteho on enimmillään noin 20 W. Antennit sijoitetaan korkeisiin mastoihin noin 100 m korkeuteen, joten sivulliset eivät joudu missään tilanteessa antennien lähelle.

@450-järjestelmän päätelaitteina käytetään sisäisiä modeemikortteja ja ulkoisia modeemeja. Kannettaviin tietokoneisiin soveltuvien modeemikorttien suurimmat lähetystehot ovat 125 mW ja ulkoisten modeemien 200 mW. Useimpiin laitteisiin on mahdollista liittää erillinen antenni, joka voidaan sijoittaa yhteyden parantamiseksi esimerkiksi ikkunalaudalle tai kiinteästi talon katolle. Ulkoiset modeemit tai erillisen antennin kanssa käytettävät laitteet eivät aiheuta merkittävää altistumista, koska niitä ei pidetä kiinni kehossa. Esimerkiksi pöydällä metrin päässä käyttäjältä olevan antennin aiheuttama tehotiheys on alle 2 % raja-arvoista. Kannettavaan liitettävä sisäinen modeemi saattaa ilman erillistä antennia käytettäessä olla kiinni esimerkiksi käyttäjän reidessä. Jalkaan kohdistuva altistuminen on tällöin korkeintaan noin $\frac{1}{4}$ altistumisrajoista. Modeemit lähettävät vain, kun tietoa siirretään ja ne säätävät lähettimen tehoa merkittävästi alaspäin, jos yhteys on hyvä. Tämän vuoksi keskimääräinen altistuminen on selvästi edellä mainittua vähäisempää.

WiMAX (Wireless Interoperability for Microwave Access) on langaton laajakaistatekniikka, joka mahdollistaa laajakaistayhteyden esimerkiksi haja-asutusalueella, kun oman kaapelin vieminen jokaiseen kotiin ei ole kannattavaa. Suomeen on rakennettu jo muutamia WiMAX-verkkoja (esim. Turkuun), mutta tekniikka on edelleen kehityksen alla. Suomessa järjestelmä toimii 3,5 GHz taajuudella. WiMAX toimii tukiasemakeskeisesti kuten WLAN, mutta WiMAX on luvanvarainen ja tukiasemien peittoalue on huomattavasti suurempi. WiMAX-tukiasemien lähetinteho tyypillisesti yhden watin suuruusluokkaa ja antennin vahvistus tukiaseman tyypistä riippuen 14–20 desibeliä. Tukiasemien aiheuttama altistuminen on vähäistä, koska ne sijoitetaan yleensä mastoihin eivätkä sivulliset eivät

pääse antennin välittömään läheisyyteen.

WiMAX-päätelaitteiden hetkelliset enimmäistehot ovat noin 160 mW ja keskimääräinen teho riippuu yhteyden kuormituksesta. WiMAX-tekniikka mahdollistaa joko erillisen ulkoisen antennin tai esimerkiksi kannettavaan kiinteästi asennettavan antennin käytön. Kannettavan korttipaikkaan liitetyn laitteen antenni voi olla kohtuullisen lähellä käyttäjän kehoa, joten SAR-arvo saattaa tällöin olla enimmillään noin puolet altistumisrajoista. Suurimmassa osassa laitteista päätelaite ja tukiasema lähettävät vuorotellen samalla kanavalla. Internet-selailussa suurin osa liikenteestä suuntautuu yleensä tukiasemasta päätelaitteeseen, joten päätelaite lähettää keskimäärin selvästi maksimitehoa vähemmän.

3.6 Radioamatööritoiminta

Radioamatööritoiminta on voittoa tuottamatonta harrastetoimintaa. Radioamatöörit pitävät yhteyttä toisiinsa ympäri maailman omilla radiolähettimillä, kouluttautuvat ja tekevät radioteknisiä kokeiluja. Radioamatööreillä on ollut suuri merkitys radiotekniikan kehityksessä ja harrastukselle onkin varattu monia taajuusalueita. Radioamatöörejä on Suomessa noin 6000 ja maailmanlaajuisesti yli 3 miljoonaa.

Radioamatöörien lähettimet toimivat yleisimmin HF-alueella 1,8–30 MHz. Lähetintehot ovat muutamista kymmenistä wateista jopa 1500 wattiin. Myös ylemmillä VHF-, UHF- ja SHF-alueilla on useita radioamatöörikäyttöön varattuja taajuuksia. Radioamatööreillä on usein suurikokoisia antennejä, jotka sijaitsevat korkeissa mastoissa. Niiden avulla signaali saadaan kantamaan kaukaisimpiin kohteisiin, mutta lähialueelle kohdistuva säteily on hyvin vähäistä.

Säteilyturvakeskus teki vuonna 1988 turvallisuusselvityksen radioamatööriasemille. Tutkitut lähettimet olivat HF- VHF- ja UHF-alueen laitteita, joiden suurimmat lähetystehot olivat noin 200–500 W. Selvityksessä todettiin, että esimerkiksi kerros- tai rivitalon katolle asennettu antenni ei aiheuta merkittäviä tehotiheyksiä alla oleviin asuntoihin tai piha-alueille. Joissakin tapauksissa todettiin, että antennin läheisyydessä (esim. katolla alle 5 m päässä antennista) on kohtuullisen voimakkaita radiotaajuisia sähkökenttiä ja liikkumista alueilla on tarpeen rajoittaa lähettimen ollessa päällä.

3.7 Merenkulun viestintä

Radioaaltoja on käytetty viestintään jo paljon ennen matkapuhelinten aikaa. Merenkulussa langaton viestintä on luonnollisesti ainoa vaihtoehto, joten tähän tarkoitukseen on kehitetty monia tekniikoita.

Meri-VHF toimii 156–174 MHz taajuusalueella ja sitä käytetään alusten väliseen viestintään. Lähettimet toimivat pääsääntöisesti korkeintaan 25 W teholla ja antenni on sijoitettu mahdollisimman korkealle. Kädessä pidettävien laitteiden maksimiteho on yleensä 5 W. Kiinteän antennin vieressä oleva tai kannettavaan laitteeseen puhuva henkilö altistuu jonkin verran radioaaltoille. Laitteet toimivat matalla taajuuksilla, joten altistuminen kohdistuu väistämättä suureen kudossmassaan ja paikallinen SAR jää kohtuullisen pieneksi. Suuritehoisen lähentiantennin vieressä seistessä tai kosketettaessa antennia altistuminen saattaa joissain tilanteissa ylittää koko kehon keskiarvona määritellyt altistumisrajat. Radioliikenteessä käytetään kuitenkin tyypillisesti mahdollisimman lyhyitä viestejä ja laitteet lähettävät vain, kun niihin puhutaan (tangenttia pidetään pohjassa), joten altistumisen aikakeskiarvo jää pienemmäksi.

MF- ja HF-taajuuksilla (alle 30 MHz) toimivat merenkulun viestintäjärjestelmät koostuvat laivoilla olevista lähettimistä ja kiinteistä tukiasemista. Laivojen lähettimet käyttävät yleensä enintään noin 150 W lähetystehoa. MF-meriradiojärjestelmällä on Suomessa neljä tukiasemaa joiden lähetysteho on enintään 5 kW.

Laivoilla käytetään tietoliikenneyhteyksien muodostamiseen myös satelliittilinkkejä. Näiden lähetystehot ovat kohtuullisen pieniä ja antennit on suunnattu taivaalle, joten oikein asennettuna nämä eivät aiheuta altistumista. Joissakin laitteissa on kuitenkin noudatettava 1–2 metrin turvaetäisyyttä suoraan päälle suuntaan.

3.8 Ilmailun radiolaitteet

Ilmailun viestintään käytetään pääasiassa VHF-alueella (118–136,9 MHz) toimivaa meri-VHF:n kaltaista järjestelmää ja satelliitteihin perustuvaa järjestelmää noin 15 GHz taajuusalueella. Liikuttelavien VHF-lähettimien teho on tyypillisesti enintään 5 W ja kiinteästi esimerkiksi lentokentille asennettujen laitteiden teho enintään noin 50 W.

Lentokoneiden paikanmääritykseen käytetään LW- ja MW-alueella (283,5–526,5 kHz) toimivia

NDB (non-directional beacon) radiomajakoita, VHF-taajuuksilla (108–118 MHz) toimivia VOR-majakoita (VHF-monisuuntasädemajakka, Very High Frequency Omnidirectional Range) ja UHF-alueella (962–1213 MHz) toimivaa DME (Distance Measuring Equipment) järjestelmää.

Majakoissa on tyypillisesti ympärisäteilevät antennit. NDB-majakat lähettävät muutaman sekunnin välein omaa tunnustaan 25–1000 W teholla. Keskimääräinen teho jää lähetteen alhaisen toistotaajuuden vuoksi pieneksi. VOR-majakat lähettävät jatkuvasti noin 50–200 W teholla. DME-järjestelmän maa-asetat ovat yleensä VOR-majakkan yhteydessä. Laitteiden pulssinaikainen huipputeho on 1 kW suuruusluokkaa. Majakat ovat aina lentokentillä aidatulla alueella.

Lentokentillä on lisäksi laskeutumista ohjaavia järjestelmiä kuten ILS (Instrument Landing System) ja MLS (Microwave Landing System). ILS-järjestelmä lähettää keiloja laskeutuvien lentokoneiden suuntaan, eli kiitotien päästä viistosti ylöspäin 108–112 MHz ja 329–335 MHz taajuusalueilla sekä laskeutumisreitinvarellalla suoraan ylöspäin 75 MHz taajuudella. Viistosti ylöspäin osoittavien keilojen teho on muutamia kymmeniä watteja. Lähettimet ovat kiitotien varellalla, joten niiden välittömään läheisyyteen ei ole pääsyä. Kauempana keila on korkealla ja kenttä hyvin pieni. Pystysuoran keilan lähettävät antennit ovat kiitotien jatkeella muutamien kilometrien päässä. Lähetinteho on suuruusluokkaa 2 W, joten näistä ei ole missään tapauksessa vaaraa. MLS-järjestelmää ei ole vielä otettu Suomessa käyttöön.

3.9 Tutkat

Tutkia käytetään moniin tarkoituksiin muun muassa merenkulussa, ilmailussa, maanpuolustuksessa ja ilmatieteessä. Tutkalla pystytään havaitsemaan radioaaltoja heijastavia kohteita jopa satojen kilometrien päästä lähettämällä lyhyitä mikroaaltopulsseja voimakkaasti suuntaavan antennin kautta ja mittaamalla niiden takaisinheijastumista. Antennin suunnasta, heijastuksen viiveestä ja voimakkuudesta voidaan päätellä kohteen suunta ja etäisyys ja arvioida sen kokoa.

Yksittäisen tutkapulssin teho voi olla hyvin suuri, mutta pulssin keston ja toistotaajuuden määrittelemä toimintasuhde on tyypillisesti hyvin pieni (<0,1 %), joten keskimääräinen teho on matalampi. Suurinta pulssitehoa käytetään pitkän

kantaman tutkissa. Näissä pulssin toistotaajuus on kuitenkin alhainen, koska seuraava pulssi ei saa lähteä ennen heijastuksen saapumista. Vastaavasti lyhyellä kantamalla käytetään suurempaa pulssin toistotaajuutta mutta matalampaa pulssitehoa. Tutka-antennien vahvistus on suuri (30–50 dB) mutta antennit tekevät tyypillisesti pyörivää tai muulla tavoin keilaavaa liikettä, joka vähentää yhteen suuntaan lähtevää tehotiheyttä aikakeskiarvona merkittävästi.

Nykytiedon mukaan haitallisten terveysvaikutusten (kudosten lämpeneminen) syntyy vaikuttaa vain keskimääräinen teho useamman minuutin keskiarvona. Pulssimaisella tutkasäteilyllä on kuitenkin havaittu yksi erityisvaikutus, jonka vuoksi altistumisrajoissa on erillinen raja pulssin energialle eli pulssin voimakkuudelle kerrottuna sen pituudella. Pulssimainen tutkasäteily saattaa aiheuttaa pienestä, mutta hyvin nopeasta lämpölaajenemisesta johtuvaa värinää kallossa, mikä kuuluu korvissa surinana, jos pulssin toistotaajuus on ihmisen kuuloalueella. Tämä ei ole varsinaisesti vaarallista mutta varmasti häiritsevää esimerkiksi nukkumaan mentäessä.

Merenkulkututkia käytetään navigointiin ja meriliikenteen ohjailuun lähes kaikissa satamissa, laivoissa ja suuremmissa veneissä. Merenkulkututkat toimivat yleensä S- tai X-alueella (2–4 GHz tai 8–12 GHz). Tutkien keskimääräinen lähetysteho riippuu laitteen asetuksista, kuten etäisyyskallasta. Suurissa laivoissa ja kiinteissä merialueiden valvontajärjestelmissä käytettävien tutkien huipputehot ovat enimmillään 50 kW suuruusluokkaa ja keskimääräinen teho muutamia kymmeniä watteja. Tutkien antennit sijoitetaan yleensä laivan ylimpään kohtaan, jolloin pääkeila menee laivalla olevien ihmisten yli. Tutkia ei myöskään yleensä pidetä päällä satamassa. Jos antennia ei voida sijoittaa laivan ylimpään kohtaan, niissä on yleensä sektorisammutus, eli esimerkiksi laivan etukannella oleva tutka sammuttaa lähettimen antennin osoittaessa taaksepäin. Suurten laivatutkien turvaetäisyydet ovat yleensä pääkeilan tasossa noin kaksi metriä. STUKin tekemissä mittauksissa ei ole tähän mennessä löydetty yhtään merenkulkututkaa, joka aiheuttaisi raja-arvojen suhteen merkittävää altistumista sivullisille tai laivojen henkilökunnalle.

Veneissä ja pienemmissä laivoissa käytettävien tutkien tyypillinen pulssiteho on 1–6 kW ja keskimääräinen lähetysteho muutamia watteja. Vene-

tutkien turvaetäisyys on tyypillisesti pienempi kuin pyörivän antennin varaama alue.

Lentokoneiden ohjailuun ja havaitsemiseen käytetään useita erilaisia tutkajärjestelmiä. Lennonjohdinto valvoo lentokenttien ja lentoreittien liikennettä erilaisilla tutkilla (ASR, ARSR). Lisäksi esimerkiksi koneiden laskeutumista valvotaan tarkkuuslähestymistutkalla (PAR, precision approach radar) ja lentokenttien säätä monitoroidaan säätutkilla. Näille on varattu useita taajuuksia noin 1 GHz alkaen.

Ilmailun valvontatutkien toimintasäde on jopa satoja kilometrejä, joten lähetystehot ovat suuria. Antennien keilat eivät kuitenkaan yleensä osu lähelle maata alueilla, jonne yleisöllä on vapaa pääsy. Suomen lentokenttien välittömässä läheisyydessä ei ole korkeita kerrostaloja, joihin antennien keilat saattaisivat osua, joten ilmailututkat eivät käytännössä aiheuta merkittävää altistumista väestölle.

Ilmastontutkimuksessa käytetään useita radio- ja mikroaaltosovelluksia. Esimerkiksi säätutkat ovat tärkeä työväline sade- ja pilvialueiden kartoituksessa. Säätutkien keilat saattavat joissain tapauksissa osoittaa kohtuullisen lähelle maanpintaa ja aiheuttaa esimerkiksi lähellä sijaitsevissa korkeissa rakennuksissa kohtalaisia tehotiheyksiä. Tutka-antennin keilausliike kuitenkin pienentää tehotiheyden aikakeskiarvoa huomattavasti.

Suomen ilmastontutkimukseen käytettävät säätutkat toimivat 5,6–5,65 GHz taajuudella ja

noin 250 W keskimääräisellä teholla (pulssiteho 250 kW). Turvaetäisyys tutkan pääkeilan suuntaan voi olla lähes kilometri, mutta antennin ohjausautomaatiikka estää pääkeilan suuntaamisen liian alas, jos alueella on asutusta. UHF-alueella (915 MHz, 1290 MHz) toimivat tuulikeilaimet (wind profiler) toimivat hieman pienemmällä teholla kuin varsinaiset säätutkat. Esimerkiksi Vaisalan valmistaman LAP-3000 laitteiston huipputeho on 600 W ja keskimääräinen teho enintään 60 W (Duty cycle 0–0,1). Antennin vahvistus on kohtuullisen suuri (24 dBi), mutta tämän tyyppisten mittalaitteiden keilat osoittavat melkein suoraan ylöspäin, joten ne eivät aiheuta altistumista sivullisille.

Puolustusvoimien radio- ja mikroaaltolaitteista hyvin harvat aiheuttavat altistumista tai edes taustakenttiä paikoissa, jonne yleisöllä on vapaa pääsy, joten niitä ei käsitellä tässä yhteydessä. Joissakin tapauksissa esimerkiksi tutka-asemat ovat kohtuullisen lähellä asutusta ja herättävät huolta ympäristön ihmisissä. Tutkissa on suuritehoisia lähettimiä ja suuntaavat antennit, mutta antennin keilausliike pienentää yhteen suuntaan lähtevän keskimääräisen tehotiheyden hyvin pieneksi. Lisäksi keiloja ei koskaan suunnata tarpeettomasti liian lähelle maan pintaa. STUKin mittausten perusteella Puolustusvoimien tutkat eivät ole aiheuttaneet säteilyturvallisuusongelmia väestölle.

4. Pienitehoisia radiotaajuisten säteilyn lähteitä

Tässä luvussa tarkastellaan lyhyesti muutamia pienitehoisia radiolähtimiä. Esimerkiksi lyhyen kantaman laitteet eli SRD-laitteet (Short Range Devices) ovat luvasta vapautettuja radiolaitteita, joista suurin osa toimii alle 20 mW lähetysteholla, eivätkä ne näin ollen voi teoriassakaan aiheuttaa raja-arvot ylittävää säteilyaltistumista. Tämän tyyppisiä laitteita on kuitenkin paljon ja ne aiheuttavat huolta joissain ihmisissä. SRD-sovelluksia ja kaupanimiä on todella paljon ja uusia tulee jatkuvasti, joten kaikkia sovelluksia ei voida mainita tässä yhteydessä. Osa WLAN- ja Bluetooth-laitteista kuuluu tähän ryhmään. Niitä on käsitelty jo edellisissä luvuissa muiden tiedonsiirtolaitteiden yhteydessä.

4.1 Autojen keskuslukituksen kaukosäätimet

Useimmissa autoissa on nykyään kauko-ohjattava keskuslukitus. Avaimen tai avaimenperään integroitu radiolähtin lähettää signaalin autossa olevaan vastaanottimeen. Lähettimen taajuus on 433 MHz ja kantama muutamia kymmeniä metrejä. Lähetinten suurin sallittu teho on 1 mW ja kesto hyvin lyhyt, joten kaukosäätimen aiheuttama altistuminen on kaikissa tilanteissa äärimmäisen vähäistä.

4.2 Etätunnistuslaitteet (RFID)

Radiotaajuinen etätunnistus eli RFID (radio frequency identification) on nopeasti yleistynyt tekniikka, jota käytetään muun muassa kauppojen tuotesuojaportteissa (varashälytin), logistiikassa ja kulunvalvonnassa. Kiinteästi asennettu tai kannettava lukulaite tunnistaa kohteen siihen kiinnitetyn RFID-tunnisteen (RFID tag) avulla muutamien senttien tai metrien päästä lukulaitteen ja tunnisteen tyyppistä riippuen.

Suomessa käytettäviä RFID-tunnisteita ovat korkean taajuuden tunnisteet (13,56 MHz), UHF-tunnisteet (868–956 MHz) ja mikroaaltotunnisteet (2,45 GHz). RFID-lukulaitteiden tyyppilliset lähe-

tystehot vaihtelevat välillä 0,1–2 W. Tunnisteilla ei yleensä ole omaa tehonlähdettä, joten lähetystehot ovat hyvin pieniä. Väestön ja työntekijöiden altistuminen RFID-laitteiden sähkömagneettiselle säteilylle on hyvin satunnaista ja jää laitteiden teknisten tietojen perusteella pieneen osaan altistumisrajoista, koska laitteita käytetään tyyppillisesti vain hetkittäin. Esimerkiksi RFID-tekniikkaan perustuvan tuotesuojaportin läpi kävelevä asiakas altistuu RF-kentille alle sekunnin ajan.

4.3 Huonokuuloisten apuvälineet

Huonokuuloisten apuvälineet toimivat 174 MHz taajuudella. Lähettimellä voidaan ottaa yhteys kuulokojeeseen esimerkiksi pankin tiskiltä, jotta taustahäly ei häiritsisi huonokuuloista. Lähettimen suurin sallittu säteilyteho on 2 mW. Korvassa pidettävä laite ei lähetä radioaaltoja.

4.4 Langattomat hälytinjärjestelmät

Pienitehoisia lyhyen kantaman radiolähtimiä käytetään monissa valvonta- ja hälytyslaitteissa korvaamaan kiinteät johdotukset. Laitteille on varattu kolme taajuuskaistaa 869 ja 870 MHz välillä. Suurin sallittu säteilyteho on ylimmällä kaistalla 25 mW ja alemmilla 10 mW. Altistumisen voi arvioida lähetystehojen perusteella jäävän pahimmassakin tapauksessa (kiinni kehossa) muutama prosentti altistumisrajoista ja tyyppillisessä käyttötilanteessa vielä paljon vähäisemmäksi.

4.5 Pienoisilma-alusten kauko-ohjaus

Pienoisilma-alusten kauko-ohjaukseen käytetyt radiolähtimet toimivat taajuuskaistalla 35–35,220 MHz ja niiden suurin sallittu säteilyteho on 100 mW. Kauko-ohjauslaitteen RF-lähtin ja monopoli-tyyppinen antenni on yleensä sijoitettu samaan koteloon hallintalaitteiden kanssa. Laitetta käytettäessä antenni on noin 20–50 cm etäisyydellä käyttäjästä ja antenni on kohtuullisen suurikokoinen, joten altistuminen kohdistuu laajalle alueelle. Paikallinen

altistuminen jää vähäiseksi ja näin pieni teho ei voi aiheuttaa merkittävää koko kehon altistumista.

4.6 Langattomat kuulokkeet ja kaiuttimet

Langattomat kaiuttimet, kuulokkeet ja kypäräpuhelimet käyttävät radioaaltoja äänen siirtoon pienillä etäisyyksillä. Lähettimet toimivat taajuuskaistoilla 42,4–43,6 MHz ja 863–865 MHz ja niiden suurin sallittu säteilyteho on 10 mW, joten niiden aiheuttama altistuminen on enimmillään muutamia prosentteja altistumisrajoista.

5. Mittausaineistoa erilaisista altistumistilanteista

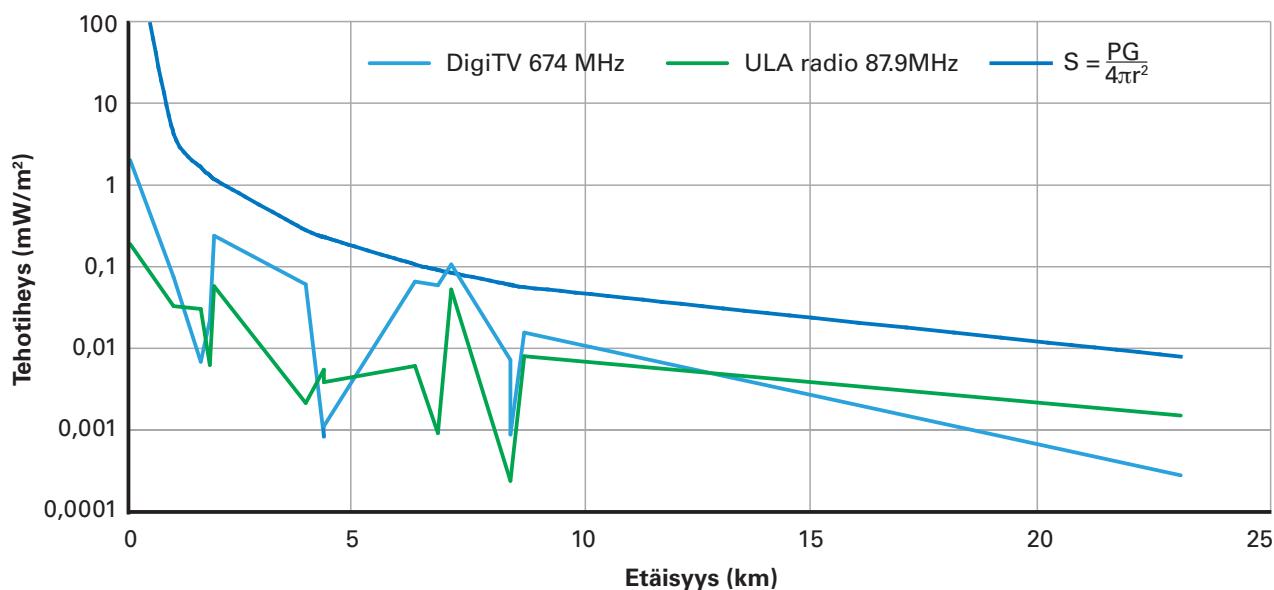
5.1 TV:n ja radion yleislähetykset

TV-lähetykset välitetään kansalaisille koko maan kattavan lähetinasemaverkoston kautta. Verkoston rungon muodostavat pääasemien lähetinmastot, joita on Suomessa 36 paikkakunnalla. Korkeimmillaan yli 300 metriset mastot lähettävät TV-kuvaa yli sadan kilometrin säteelle. Paikallisia katveita peitetään pienemmillä täytelähetkimillä.

Kuvassa 1 esitetään mitattuja tehotiheyksiä eri etäisyyksillä pääaseman lähetinmastosta. Signaaleiksi on valittu suurimman tehotiheyden tuottavat TV- ja ääniradiolähetykset. Kuvaajassa on vertailun vuoksi myös laskettu tehotiheys arvioiduilla vahvistuksilla ja lähetystehoilla ($P = 5 \text{ kW}$, $G = 10$)

neliöllisen vaimenemisen mukaan (kaava 1, s. 8).

Mittaustulosten perusteella maastonmuodot vaikuttavat tehotiheyteen noin 20 dB eli kertoimella 100. Kuvaajasta nähdään, että mitatut arvot ovat lähietäisyyksillä selvästi pienempiä kuin lasketut. Tämä johtuu siitä, että antennit ovat hyvin korkealla. Maston lähellä keila on korkealla ja tehotiheys maanpinnalla matala. Kauempana keila osuu maanpinnalle, mutta pitkän etäisyyden vuoksi tehotiheys on matala. Kuvaajan suurin mittaustulos on saatu pääaseman mastoa ympäröivän suoja-aidan vierestä. Tehotiheys on tällöinkin alle tuhannesosan altistusrajoista.



Kuva 1. TV-lähetysten aiheuttamia taustakenttiä eri etäisyyksillä pääaseman lähetinmastosta. Altistusraja on digi-TV:n taajuudella $3,4 \text{ W/m}^2$ ja ULA-taajuudella 2 W/m^2 (kuvaajan asteikolla 3400 mW/m^2 ja 2000 mW/m^2). Lasketussa tehotiheydessä on oletettu lähetystehoksi 5 kW ja antennivahvistukseksi 10.

5.2 Matkapuhelimet

Matkapuhelinten ja muiden kehon lähellä pidettävien radiolaitteiden aiheuttaman säteilyaltistuksen enimmäisarvot on määritelty Suomessa sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetuksella 294/2002. Säteilyaltistuksen suuruus osoitetaan mittauksin, jotka on määritelty kansainvälisessä standardissa IEC62209-1. Mittaustulos vastaa puhelimen aiheuttaman altistuksen pahinta tapausta. Puhelimen lähtöohjataan täydelle teholle ja asetellaan kahdeksan tyypilliseen käyttöasentoon. Kaikki mittaukset toistetaan kaikilla puhelimen käyttämällä taajuuskaistoilla ja mittaustuloksena ilmoitetaan suurin lukema.

Säteilyturvakeskus suorittaa Suomessa myytävälle matkapuhelimille markkinavalvontaa. Testaus on aikaa vievää, joten kaikkia puhelinmalleja ei ole mahdollista mitata. Sen sijaan STUK pyrkii valitsemaan markkinoilta mahdollisimman kattavan otoksen eniten käytettyjä malleja. Puhelinmallit testataan standardin mukaisesti ja saatuja tuloksia verrataan valmistajan ilmoittamiin. Vuoden 2007 loppuun mennessä oli testattu 73 puhelinmallia ja kaikki puhelimet olivat läpäisseet testin. Kerätyt mittaustulokset esitetään oheisessa taulukossa 1. Ajantasaiset tulokset ovat saatavilla STUKin Internet-sivuilta (www.stuk.fi).

Taulukko 1. STUKin markkinavalvonnassa vuoden 2007 loppuun mennessä testatut matkapuhelimet

Puhelinmalli	STUKin mittaama SAR [W/kg]	Valmistajan ilmoittama SAR [W/kg]	Ero STUKin ja valmistajan ilm. välillä
LG C1100	1.00	1.12	12 %
LG KG110	1.12	0.728	-35 %
LG L3100	1.23	0.3	-76 %
Motorola C139	0.87	0.97	11 %
Motorola C200	0.80	0.78	-3 %
Motorola C350	0.54	0.9	67 %
Motorola C550	0.79	0.71	-10 %
Motorola C650	0.56	0.87	56 %
Motorola L6	1.13	1.33	18 %
Motorola T191	0.96	1.01	5 %
Motorola V150	0.56	0.67	20 %
Motorola V180	0.77	0.87	13 %
Nokia 1100	0.68	0.67	-1 %
Nokia 1112	0.65	0.78	20 %
Nokia 1600	0.62	0.82	32 %
Nokia 2100	0.55	0.55	0 %
Nokia 2600	0.53	0.8	51 %
Nokia 2610	0.58	0.56	-3 %
Nokia 2650	0.48	0.54	13 %
Nokia 3100	0.63	0.76	21 %
Nokia 3200	0.55	0.56	2 %
Nokia 3220	0.59	0.78	32 %
Nokia 3310	0.91	0.96	5 %
Nokia 3510	0.58	0.66	14 %
Nokia 5100	0.47	0.48	2 %
Nokia 5140	0.86	0.77	-10 %
Nokia 6021	0.37	0.72	96 %
Nokia 6030	0.62	0.7	13 %
Nokia 6060	0.65	0.77	19 %

Nokia 6085	0.71	1.15	62 %
Nokia 6100	0.61	0.6	-2 %
Nokia 6103	0.48	0.75	56 %
Nokia 6220	0.65	0.66	2 %
Nokia 6270	0.28	0.74	164 %
Nokia 6610	0.97	0.63	-35 %
Nokia 6630	0.69	0.83	20 %
Nokia 6810	0.87	0.82	-6 %
Nokia 6822	0.71	0.67	-6 %
Nokia 9500 Communicator	0.27	0.49	81 %
Nokia N70	1.01	0.95	-6 %
Nokia N73	0.85	1.12	32 %
Nokia N-Gage QD	0.48	0.57	19 %
Samsung SGH-A800	0.88	0.96	9 %
Samsung SGH-C100	0.74	0.6	-19 %
Samsung SGH-E330	1.17	0.903	-23 %
Samsung SGH-X100	0.54	0.76	41 %
Samsung SGH-X200	0.87	0.74	-15 %
Samsung SGH-X300	0.39	0.58	49 %
Samsung SGH-X450	1.13	0.98	-13 %
Samsung SGH-X460	0.79	0.846	7 %
Samsung SGH-X510	0.77	0.781	1 %
Samsung SGH-X680	0.59	0.801	36 %
Samsung SGH-X820	1.15	0.639	-44 %
Samsung SGH-Z540	0.38	0.54	42 %
Siemens A55	0.45	0.56	24 %
Siemens A60	0.75	0.67	-11 %
Siemens A65	0.28	0.49	75 %
Siemens A70	0.35	0.52	50 %
Siemens CF62	0.75	0.75	0 %
Siemens M55	0.80	0.64	-20 %
Siemens MC60	0.60	0.67	12 %
Siemens ME45	1.12	0.98	-13 %
Siemens ME45	1.07	0.98	-8 %
SonyEricsson J230i	0.7	0.98	40 %
SonyEricsson J300i	1.31	1.02	-22 %
SonyEricsson K500i	0.53	0.53	0 %
SonyEricsson T230	0.50	0.74	48 %
SonyEricsson T310	0.53	0.61	15 %
SonyEricsson T630	0.85	0.88	4 %
SonyEricsson W300i	1.03	1.2	17 %
SonyEricsson Z200	0.77	0.94	22 %
SonyEricsson Z300	0.9	0.75	-17 %
SonyEricsson Z310i	0.43	0.7	63 %
Keskiarvo	0.72	0.77	7 %
Maksimi	1.31	1.33	164 %
Minimi	0.27	0.30	-76 %

5.3 Matkapuhelintukiasemat

Säteilyturvakeskus on mitannut tukiasemien aiheuttamaa altistumista lukuisissa asunnoissa ja julkisilla paikoilla. Mittauksia on tehty yleensä asukkaan pyynnöstä, kun talon katolle tai viereisen talon seinään on asennettu tukiasema-antenni. Oheiseen taulukkoon on koottu tyypillisiä arvoja suhteessa altistumisrajoihin eri tilanteissa. Mittaustulokset ovat mittauspaijalta, esimerkiksi tietystä huoneesta ikkunan vierestä mitattuja pistemäisiä

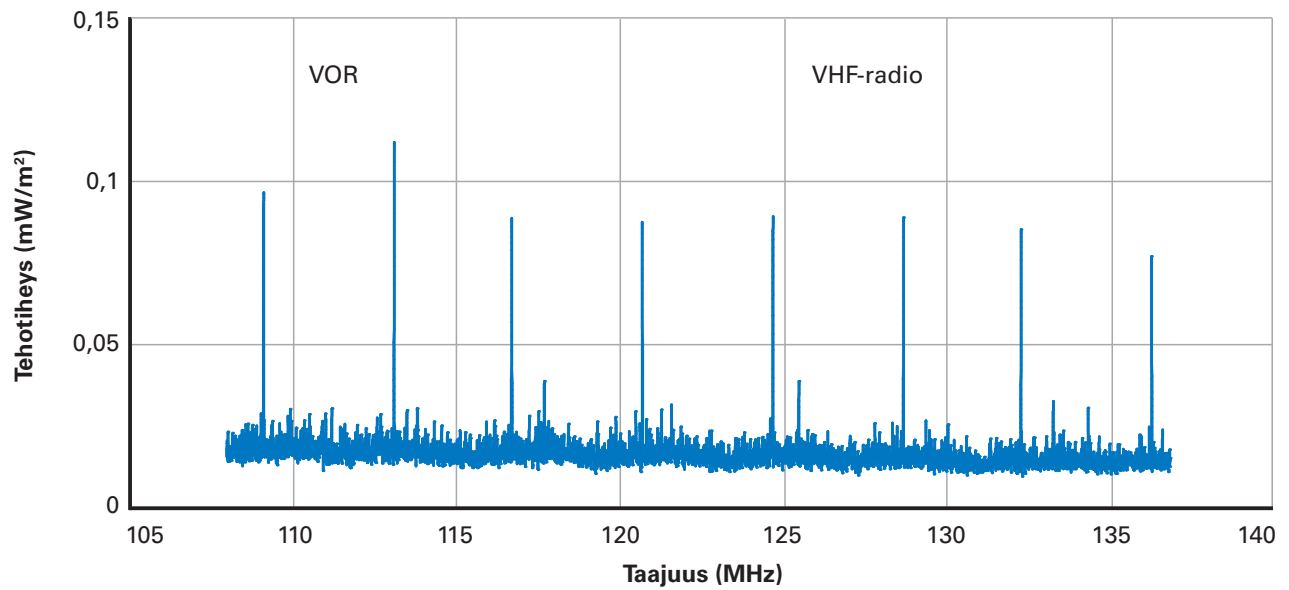
maksimiarvoja. Taulukossa on myös vertailun vuoksi antennin pääkeilasta mitattuja tehotiheyksiä eri etäisyyksiltä. Operaattoreille annetuissa antennien asennusohjeissa edellytetään, että antennia ei sijoiteta kosketusetäisyydelle paikasta, johon on vapaa pääsy. Lisäksi suuritehoisten antennien pääkeilan suunnassa on oltava vähintään 1–2 metrin suoja-alue. Katoilla ja muilla antennien asennuspaikoilla liikkuvia varten antennien turvaetäisyydet on merkittävä varoituskilvin.

Mittauspaijka, antennin tyyppi ja sijainti mittauspaijkaan nähden	Mitattu tehotiheys mW/m ²	Mittaustuloksen suhde altistumisrajaan
Ylimmän kerroksen huoneisto, makrosolutukiasema katolla suoraan yläpuolella	0,5–5	1/10000–1/1000
Huoneisto, makrosolutukiasema viereisen talon katolla, pääkeila osoittaa kohti. Etäisyys antenniin 30 m.	20	1/200
Ullakkohuone, mikrosolutukiasema asennettu sisälle ikkunaa vasten. Pääkeila osoittaa ulos. Etäisyys antenniin 40 cm.	100	1/50
Julkinen tila, pikosolutukiasema katon rajassa. Pääkeila osoittaa kohti.	10	1/1000
Makrosolun tukiasema mastossa. Etäisyys 100 m.	<20	<1/200

5.4 Lentokentän laitteet

Ilmailun radionavigointiin ja viestintään käytetään lukuisia taajuuksia sadoista kilohertseistä noin 15 GHz:in. Suuritehoisia lentokoneisiin kiinnitettyjä järjestelmiä ei käytetä koneiden ollessa maassa. Yli lentävän lentokoneen läheteet osuvat maassa yhteen pisteeseen hyvin lyhyen ajan ja etäisyys on suuri. Lentokoneisiin kiinnitetyt laitteet eivät näin ollen aiheuta altistumista väestölle. Kiinteästi asennetut järjestelmät kohdistavat käyttötarkoituksensa vuoksi pääosan säteilystä taivaalle, mutta ne saattavat aiheuttaa pieniä hajakenttiä myös maan tasalle.

Eri järjestelmien aiheuttamat taustakentät määritettiin mittaamalla useissa paikoissa Helsinki-Vantaan ja Malmin (Helsinki) lentokenttien ympäristössä. Mittaustuloksia esitetään kuvassa 2. Kuvaajaan valittiin Helsinki-Vantaan kiitotien jatkeelta saadut mittaustulokset. Taustakentät vaimenevat nopeasti kauemmas siirryttäessä, koska useimmat keilat osoittavat yläviistoon. Tämän vuoksi mittaustilannetta voidaan pitää pahimpana tapauksena. Suurimmat kuvaajassa näkyvät kentät ovat alle 1/10000 altistumisrajoista.



Kuva 2. Ilmailun viestintään käytettävien VHF radioiden, paikanmäärittämiseen käytettävän VOR-järjestelmän ja laskeutumiseen käytettävän ILS-järjestelmän aiheuttamia taustakenttiä Helsinki-Vantaan lentoaseman kiitotien päässä taajuusalueella 108–137 MHz. Muilla taajuusalueilla mitatut lentokentän laitteista aiheutuvat tehotiheydet olivat merkittävästi pienempiä.

6. Taustakenttiä erilaisissa asuinympäristöissä

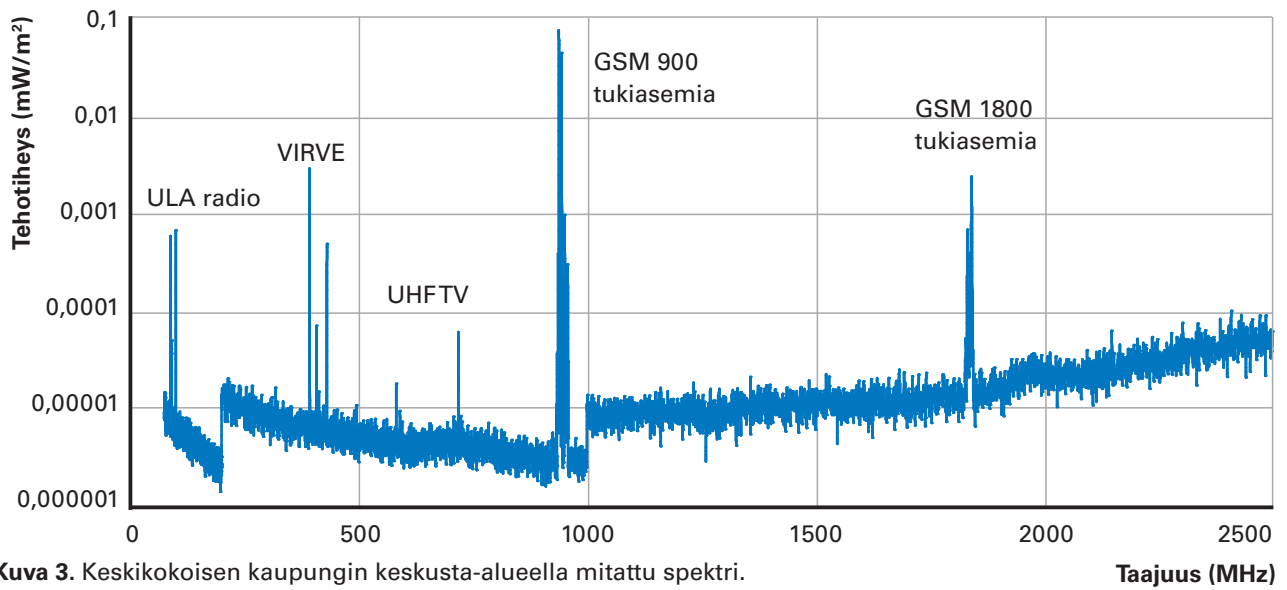
Mittaustuloksia on kerätty erilaisista asuinympäristöistä eri puolilta Suomea. Tulokset on jaoteltu kahteen ryhmään asutuksen tiheyden mukaan. Ryhmistä on esitetty esimerkkispektrejä (Kuvat 3–7) ja koko aineiston perusteella laskettuja vaihteluvälejä. Tiheämmän asutuksen ryhmä sisältää kaupungin keskustaa ja esikaupunkialueita Pääkaupunkiseudulta ja Porvoo-Mäntsälä-suunnalta. Harvemmin asuttu ryhmä sisältää maaseutua Uudeltamaalta ja Savosta.

6.1 Mittausjärjestely

Mittaukset tehtiin 75–3000 MHz taajuuskaistalla Narda SRM-3000 -mittalaitteella. Spektri mitattiin kolmessa osassa paremman erottelukyvyn saavuttamiseksi. Kuvaajissa näkyvä taustakohinan tason vaihtelu eri taajuuksilla on lähtöisin mittalaitteesta. Mittaukset tehtiin kesällä 2006, joten analogiset TV-lähetykset näkyvät vielä spektreissä. Nykyiset digitaaliset lähetykset lähetetään samoilla antenneilla ja suunnilleen samoilla lähetystehoilla kuin UHF-alueen analogiset lähetykset ennen. Tämän vuoksi tilanne ei ole muuttunut taajuuskanavaa kohti lasketun kokonaistehon ja altistumisen osalta. Taajuuskanavia on kuitenkin tällä hetkellä käytössä hieman vähemmän, koska digitaalitekniikalla pystytään hyödyntämään spektriä tehokkaammin.

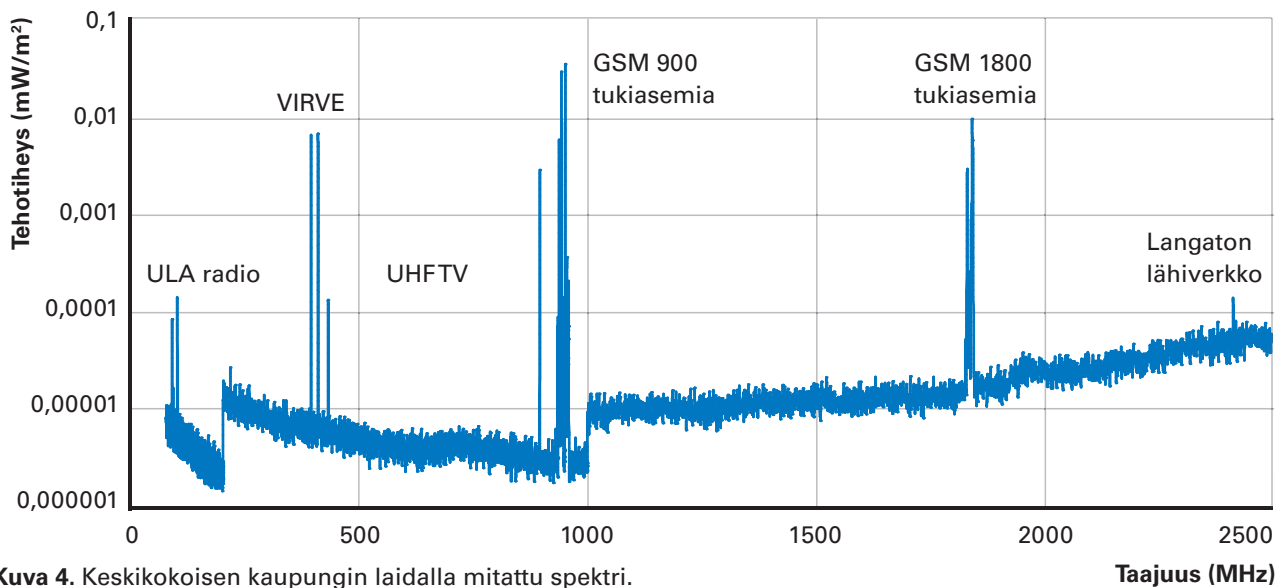
6.2 Kaupungin keskusta ja esikaupunkialue

Kaupunkien keskustoille ja esikaupunkialueelle on tyypillistä, että lähteitä on paljon ja vaihtelu paikan suhteen voimakasta. Mittaukset on suoritettu keskikokoisen kaupungin keskustassa. Mittausaineistossa suurimmat GSM 900 -tukiasemien signaalit vaihtelevat paikasta riippuen noin 1000-kertaisesti. kuvissa näkyvä noin 0,1 mW/m² on tyypillinen enimmäisarvo katutasossa mitattaessa. Tämä on tyypillinen enimmäisarvo myös GSM 1800 -tukiasemille kaupunkialueella, mutta näiden voimakkuudet vaihtelevat paikan suhteen noin 3000-kertaisesti. Suurempia noin 1 mW/m² kenttiä on mitattu molemmilla taajuusalueilla paikoissa, joissa läheinen tukiasema on samassa tasossa (talojen kattotasanteet, korkeat mäet). Mittausaineistossa oli sattumalta useita pisteitä VIRVE-tukiasemien läheltä (yleensä palolaitos, poliisiasema tms.). VIRVEN tukiasemaverkko on kuitenkin huomattavasti harvempi kuin GSM-verkko, joten niiden signaalia ei näy useimmissa paikoissa tällä mittaustarkkuudella ollenkaan. TV- ja ULA-radiolähetyksen taso riippuu etäisyydestä lähimpään mastoon (ks. edellinen luku). Lähettimien peittoalue on suuri, joten paikallisen vaihtelun (100-kertainen) lisäksi taso vaihtelee mittausaineistossa alueellisesti enemmän kuin 1000-kertaisesti.



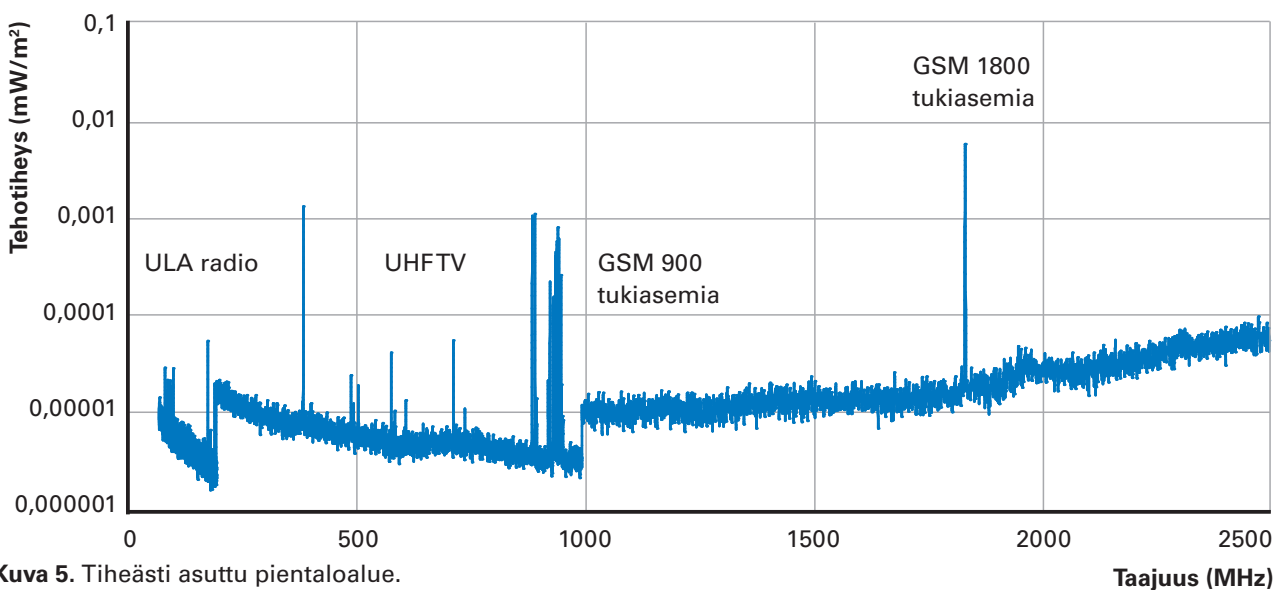
Kuva 3. Keskikokoisen kaupungin keskusta-alueella mitattu spektri.

Taajuus (MHz)



Kuva 4. Keskikokoisen kaupungin laidalla mitattu spektri.

Taajuus (MHz)



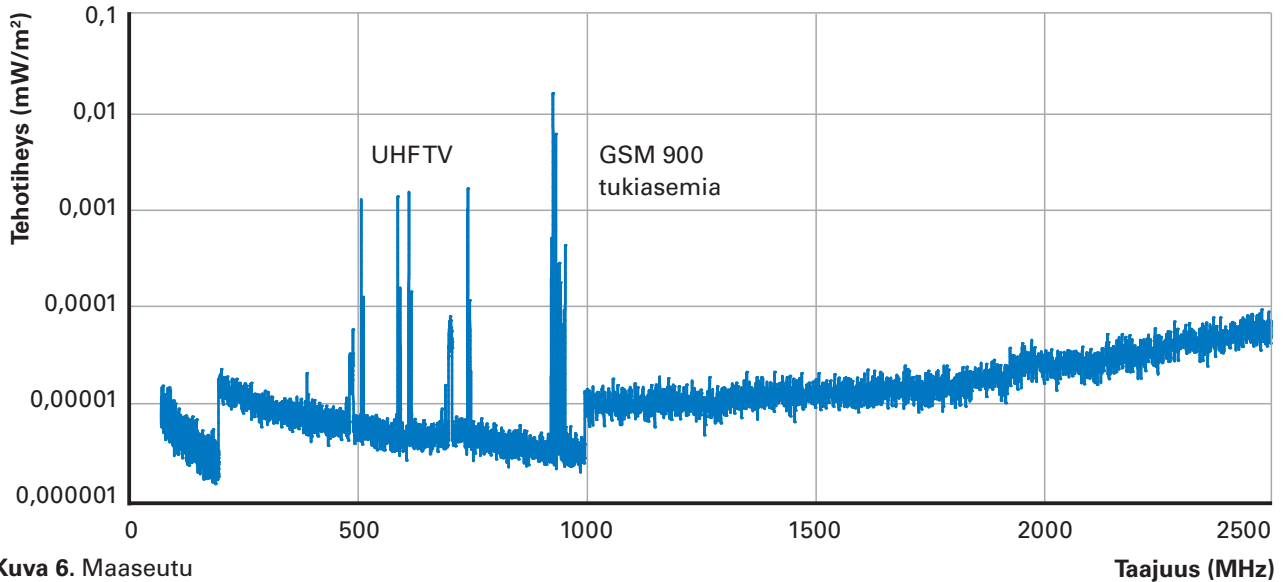
Kuva 5. Tiheästi asuttu pientaloalue.

Taajuus (MHz)

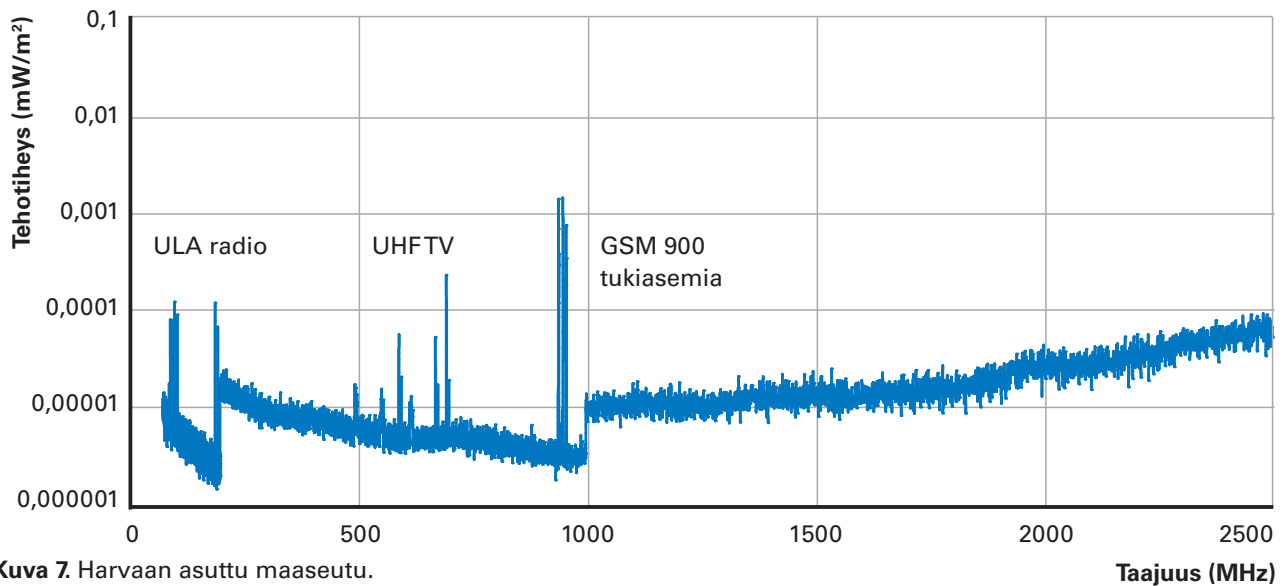
6.3 Maaseutu

Harvaan asutulla maaseudulla katetaan mahdollisimman suuria alueita suurilla lähettimillä. Spekt-rissä näkyvät tyypillisesti vain GSM 900 -tukiasemat ja TV:n ja radion yleislähetykset. Tehotiheydet

vaihtelevat noin 100-kertaisesti lähimmän maston etäisyyden mukaan (ks. edellinen luku). Lisäksi esi-merkiksi tarkastelupisteen ja maston välillä olevat korkeat mäet saattavat vaimentaa kenttiä.



Kuva 6. Maaseutu



Kuva 7. Harvaan asuttu maaseutu.

7. Yhteenveto

Ihmisten altistuminen radiotaajuiselle säteilylle on keskimäärin hyvin vähäistä. Kiinteiden lähettimien aiheuttamat tehotiheydet ovat enimmilläänkin vain muutamia prosentteja tehotiheyden raja-arvoista. Radioaallot vaimenevat neliöllisesti etäisyyden suhteen, joten lähiympäristössä olevien lähteiden lukumäärä ei vaikuta yleensä merkittävästi kokonaisaltistumiseen. Tyypillisesti yksi tai kaksi lähimpänä sijaitsevaa lähettä aiheuttaa suurimman osan kentistä ja muiden lähteiden vaikutus on vain prosentin osia kokonaisuudesta. Tätä voidaan havainnollistaa laskemalla eri etäisyyksillä sijaitsevien 100 mW WLAN-laitteiden aiheuttama tehotiheys esimerkiksi toimistoympäristössä. Jos lähin laite on puolen metrin päässä, sen aiheuttama tehotiheys on enintään noin $0,05 \text{ W/m}^2$. Toinen, kolmen metrin päässä oleva antenni aiheuttaa tehotiheyden $0,001 \text{ W/m}^2$ ja esimerkiksi kymmenen muuta kymmenen metrin päässä olevaa laitetta yhteensä $0,001 \text{ W/m}^2$. Näin ollen kauempana olevat antennit lisäävät kokonaistehotiheyttä vain 4 % lähimmän antennin tehotiheyteen verrattuna, vaikka yhden suuren huoneen alueella on 12 laitetta.

Taustakenttien paikallinen vaihtelu on hyvin suurta. Yksittäisten lähteiden aiheuttamien kenttien tehotiheydet vaihtelevat pienenkin alueen sisällä tyypillisesti kertoimella 100–1000. Myöskään

asuinalueen vaikutus taustakenttien suuruuteen ei ole suoraviivainen. Tiheämmin asutuilla alueilla on tyypillisesti selvästi enemmän erilaisia lähteitä, mutta vastaavasti näiden lähetystehot ovat pienempiä pienemmän peittoalueen vuoksi. Kenttien tarkempi määrittäminen ei kuitenkaan ole tarpeellista, koska taustakenttien taso on niin pieni.

Suurin koko väestöä koskeva altistumisen lähde on matkapuhelimet. Näiden aiheuttama altistuminen on enimmillään noin puolet altistumisrajoista. Normaalisissa käyttötilanteissa matkapuhelimet eivät kuitenkaan yleensä käytä täyttä tehoa, joten tyypillinen altistuminen puhelimeen puhuttaessa on selvästi vähäisempää. Matkapuhelinten aiheuttamaa altistumista voidaan vähentää merkittävästi muutamilla yksinkertaisilla toimenpiteillä, kuten välttämällä pitkiä puheluita huonossa kentässä ja hands free -sarjaa käyttämällä. Matkapuhelinten lisäksi monet muut kannettavat laitteet saattavat aiheuttaa vastaavan suuruista altistumista mikäli niitä käytetään siten, että antenni koskettaa kehoa. Lähetystehon ja altistumisen osalta saman suuruusluokan lähettimiä käytetään esimerkiksi kannettavien tietokoneiden WLAN- ja Bluetooth-sovittimissa. Näitä voidaan yleensä käyttää siten, että antenni ei kosketa kehoa, jolloin altistuminen vähenee merkittävästi.

Tietolähteitä:

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

Työterveyslaitos 2006. Työntekijöiden altistuminen tukiasemien radiotaajuisille kentille.

Dimbylow P J, Khalid M, Mann S. 2003, Assessment of specific absorption rate (SAR) in the head from a TETRA handset. Phys. Med. Biol. 48:3911-3926

NRPB. 2001. Possible health effects from Terrestrial Trunked Radio

Viestintävirasto

Digita oy

Radiation Protection Dosimetry, Volume 124, no 1, 2007. German mobile telecommunication research programme.

STUK. 2006. Säteily- ja ydinturvallisuus -sarja. Ionisoimaton säteily Sähkömagneettiset kentät.

STUK. 1988. Radioamatööritoiminnan aiheuttama radiotaajuinen säteily. STUK-B-TARO 13.

NRPB. 2000. Exposure to Radio Waves near Mobile Phone Base Stations. NRPB-R321

STUK-TR-sarjan raportit

STUK-TR 5

Toivonen T. Väestön altistuminen radiotaajuisille kentille Suomessa. Helsinki 2008.

STUK-TR 4

Toroi P, Komppa T, Kosunen A. Annoksen ja pinta-alan tulon mittaaminen; DAP-mittarin kalibrointi röntgensäteilykeilassa. Helsinki 2008.

STUK-TR 3

Tapiovaara M, Tapiovaara T. Spektripaja(2.0)-ohjelman käyttöohje ja validointi. Helsinki 2008

STUK-TR 2

Tapiovaara T, Tapiovaara M, Siiskonen T, Hakanen A. STUKin dosimetrialaboratorion röntgensäteilyn vakiolaatujen spektrit. Helsinki 2008.

STUK-TR 1

Takasuo E, Huhtanen R. Application of TONUS V2006 and FLUENT 6.2.16 CFD codes to ENACCEF hydrogen combustion tests. Helsinki 2007.



Laippatie 4, 00880 Helsinki
Puh. (09) 759 881, fax (09) 759 88 500
www.stuk.fi

ISBN 978-952-478-323-1 (print)
ISSN 1796-7171
Edita Prima Oy, Helsinki 2008