

Altistuminen kehon lähellä käytettävien radiolaitteiden sähkömagneettisille kentille työpaikoilla

Lauri Puranen, Vesa Moilanen

Altistuminen kehon lähellä käytettävien radiolaitteiden sähkömagneettisille kentille työpaikoilla

Lauri Puranen, Vesa Moilanen

ISBN 978-952-309-303-4 (pdf)
ISSN 1796-7171

PURANEN Lauri, MOILANEN Vesa. Altistuminen kehon lähellä käytettävien radiolaitteiden sähkömagneettisille kentille työpaikoilla. STUK-TR 20. Helsinki 2016. 34 s.

Avainsanat: sähkömagneettiset kentät, radiolaitteet, altistuminen, SAR

Tiivistelmä

Monella työpaikalla käytetään sähkömagneettisia (sm) kenttiä tuottavia radiolaitteita kehon lähellä. Kuluttajakäyttöön tarkoitettujen laitteiden, kuten matkapuhelimien lisäksi, on muita suuritehoisempia sovelluksia, jotka voivat altistaa käyttäjänsä merkittävälle sm-kentille. Vuonna 2016 valtioneuvoston asetuksella pannaan toimeen direktiivi 2013/35/EU, jonka tarkoituksena on suojella työntekijöitä vaaroilta, joita voi työpaikoilla aiheutua altistumisesta sm-kentille. Asetus edellyttää työnantajalta riskinarviointia, kun työpaikalla käytetään merkittäviä sm-kenttiä synnyttäviä laitteita, mm. yllä mainittuja radiolaitteita. Riskinarvioinnin helpottamiseksi sosiaali- ja terveysministeriön rahoittamassa Säteilyturvakeskuksen (STUK) projektissa selvitettiin työntekijöiden altistuminen kehon lähellä käytettävien radiolaitteiden sm-kentille. Projektissa kartoitettiin Suomessa työpaikoilla käytettävät radiolaitteet, selvitettiin niiden käyttötavat ja arvioitiin niiden aiheuttama altistuminen alustavasti kirjallisuuskatsauksella. Katsauksen mukaan näistä laitteista radiopuhelimet, mm. viranomaisverkon VIRVE-puhelimet, altistavat eniten käyttäjänsä. Siten kahdelle VIRVE-puhelinmallille tehtiin säteilymittauksia, joissa selvitettiin puhelimesta käyttäjän päähän ja kehoon imeytyvä teho (ominaisabsorptiopeus, SAR). Lisäksi mitattiin sähkö- ja magneetikentän voimakkuuksia radiotaajuustunistuslaitteiden (RFID) läheisyydestä. Kirjallisuuskatsauksen ja säteilymittausten tulokset osoittivat, että asianmukaisesti kehon lähellä käytettävät radiolaitteet eivät aiheuta työntekijöiden raja-arvoja ylittävää altistumista sm-kentille. Väestön enimmäisarvotkin ylittyvät vain harvoin. Sydämentahdistimien ja muiden aktiivisten implanttien häiriintyminen on huomioitava laitteita käytettäessä. Kullekin laitetyypille laadittiin ohjeet, kuinka altistumista voi vähentää. Projektin tuloksia voidaan hyödyntää riskinarvioinneissa työpaikoilla, joilla käytetään radiolaitteita kehon lähellä.

PURANEN Lauri, MOILANEN Vesa. Exposure to electromagnetic fields from radio devices used near the body at workplaces. STUK-TR 20. Helsinki 2016. 34 pp.

Key words: electromagnetic fields, radio devices, exposure, SAR

Abstract

At many workplaces radio devices transmitting electromagnetic (EM) fields are used near the body. In addition to consumer devices, such as mobile phones, there are appliances with a higher transmission power which can expose their user to significant EM fields. In 2016 the directive 2013/35/EU will be enforced as a government decree to protect workers against risks arising from the exposure to EM fields at the workplaces. The decree provides that the employer shall carry out risk evaluation when devices generating significant EM fields, for example above-mentioned radio devices, are used at the workplace. To make the risk evaluation easier a survey was carried out on the exposure of workers to EM fields caused by radio devices used near the body in a project conducted by STUK - Radiation and Nuclear Safety Authority and financed by the Ministry of Social Affairs and Health. The radio devices used at workplaces in Finland were surveyed, the ways of using them were studied and the exposure caused by the devices was preliminarily estimated by carrying out a literary survey. According to the survey the highest exposures are caused by radio telephones, ie., TETRA phones used in radio network for authorities. Thus, radiation measurements were performed for two TETRA phone models to determine the power (specific absorption rate, SAR) absorbed in the head and the body of the user. In addition, electric and magnetic field strength measurements were carried out in the vicinity of radiofrequency identification (RFID) devices. The results obtained from the literary survey and radiation measurements showed that the exposure to EM fields from radio devices properly used near the body does not exceed the exposure limit values of workers. Even the maximum permitted values of general public are seldom exceeded. Directions were written for each device type how to decrease the exposure. The results of the project can be utilized in the risk evaluations at the workplaces where radio devices are used near the body.

Sisällysluettelo

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
1 JOHDANTO	7
2 DIREKTIIVI 2013/35/EU TYÖNTEKIJÖIDEN SUOJELEMISEKSI SÄHKÖMAGNEETTISILLE KENTILLE ALTISTUMISESTA AIHEUTUVISTA RISKEISTÄ	8
2.1 Direktiivin kohde ja soveltaminen	8
2.2 Altistumisen raja-arvot ja toimenpidetasot	8
2.3 Riskinarviointi työpaikoilla	10
2.4 Poikkeukset	10
2.5 Radiolaitteita koskevat direktiivit ja tekniset standardit	10
3 KEHON LÄHELLÄ TYÖSSÄ KÄYTETTÄVIEN RADIOLAITTEIDEN KARTOITTAMINEN	12
3.1 Kartoittamisen ulkopuolelle rajatut radiolaitteet	12
3.2 Kartoittamisenmenetelmä	12
4 RADIOLAITTEIDEN KARTOITTAMISEN TULOKSET	13
4.1 Kehon lähellä työssä käytettävät radiolaitteet	13
4.2 VIRVE-puhelimien ominaisuudet ja käyttö	13
4.3 Radiopuhelimien ominaisuudet ja käyttö	14
4.3.1 Luvanvaraiset radiopuhelimet	14
4.3.2 Luvasta vapautetut radiopuhelimet	15
4.4 RFID-laitteiden ominaisuudet ja käyttö	15
4.5 Toimittajan työssä käytettävien radiolaitteiden ominaisuudet	16
4.6 Kirjallisuudessa esitettyjä altistumisen määrittämiä	17
4.6.1 VIRVE-puhelimien aiheuttama altistuminen	17
4.6.2 Tutkimustuloksia VIRVE-puhelimien mahdollisista terveystaakasta	19
4.6.3 Radiopuhelimien aiheuttama altistuminen	20
4.6.4 PMR446-puhelimien aiheuttama altistuminen	20
4.6.5 RFID-laitteiden aiheuttama altistuminen	20
4.7 Radiolaitteiden aiheuttaman altistumisen arviointi	21
5 ALTISTUMISEN MÄÄRITYSMITTAUKSET	23
5.1 VIRVE-puhelimien SAR-mittaukset	23
5.1.1 SAR-mittausmenetelmä	23
5.1.2 Fantomi	24
5.1.3 VIRVE-puhelimen signaali	24
5.1.4 SAR-mittaustulokset	24
5.1.5 SAR-mittausten epävarmuus	27
5.1.6 SAR-mittaustulosten tarkastelua	27

5.2	RFID-laitteiden aiheuttaman sähkö- ja magneettikentän mittaukset	28
5.2.1	Sähkö- ja magneettikentän mittausmenetelmä	28
5.2.2	Sähkö- ja magneettikentän mittaustulokset	28
5.2.3	RFID-laitteiden mittaustulosten tarkastelua	28
6	OHJEET ALTISTUMISEN VÄHENTÄMISEKSI	29
6.1	Virve-puhelimet	29
6.2	Luvanvaraiset radiopuhelimet	29
6.3	Luvasta vapautetut radiopuhelimet	29
6.4	RFID-laitteet	29
6.5	Toimittajan työssä käytettävät radiolaitteet	30
6.6	Sydämentahdistimien ja muiden aktiivisten implanttien häiriintyminen radiolaitteita käytettäessä	30
7	YHTEENVETO	31
	KIRJALLISUUSVIITTEET	32

1 Johdanto

Euroopan parlamentti ja neuvosto antoivat vuonna 2013 direktiivin 2013/35/EU terveyttä ja turvallisuutta koskevista vähimmäisvaatimuksista työntekijöiden suojelemiseksi riskeiltä, jotka aiheutuvat altistumisesta sähkömagneettisille (sm) kentille. Jäsenvaltioiden on saatettava voimaan tämän direktiivin edellyttämät säädökset viimeistään 1.7.2016. Työnantaja veloitetaan arvioimaan sm-kentistä työpaikalla työntekijälle aiheutuvat riskit. Tarvittaessa on määritettävä työntekijän altistuminen mittaamalla tai laskemalla sm-kenttien tasot.

Direktiivin edellyttämään riskinarviointiin ei työpaikoilla ole kuitenkaan juuri asiantuntemusta. Sen voi toki tilata asiantuntijalta, mutta yrityksillä ei ole yleensä tilaamiseen tarvittavia resursseja. Riskinarviointia helpottamaan päätettiin toteuttaa projekti, jossa selvitetään työssä kehon lähellä käytettävien radiolaitteiden aiheuttamaa altistumista. Näiden laitteiden arvioitiin muodostavan merkittävimmän ryhmän laitteista, jotka altistavat sm-kentille työpaikoilla. Siten projektin tuloksia voidaan hyödyntää suurimmalla osalla työpaikoista, joilla altistutaan sm-kentille.

Työssä tapahtuvan altistumisen valvonta kuuluu aluehallintovirastojen työsuojelun vastuualueelle. Siellä ei ole kuitenkaan ole sm-kenttien aiheuttaman altistumisen määrittämiseen tarvittavaa asiantuntemusta. Sitä vastoin STUKilla on pitkäaikaista kokemusta, asiantuntemusta ja mittaustekniikkaa, joita voitiin hyödyntää tässä projektissa. Selvitystyö toteutettiin siten sosiaali- ja terveysministeriön (STM) rahoittamana yhteisrahoitteisena projektina. Projekti oli hyvä

toteuttaa vuonna 2015, koska sen tuloksia voidaan hyödyntää ennen kuin direktiivi toimeenpannaan valtioneuvoston asetuksena vuonna 2016.

Projektissa kartoitettiin työpaikoilla käytettävät radiolaitteet kyselyillä ja laitteille tehtiin alustava turvallisuusarvio kirjallisuuskatsauksen perusteella. Eniten altistavia laitteita tarkasteltiin yksityiskohtaisemmin. Niiden aiheuttama altistuminen määritettiin mittauksilla. Altistumismääritysten tulosten perusteella laadittiin suositukset radiolaitteiden turvalliselle käytölle. STM laatii tiedotteen projektin tuloksista. Projektin materiaalia tulee myös STUKin nettisivuille. Lisäksi tietoa pyritään jakamaan sellaisille työpaikoille, joilla käytetään radiolaitteita kehon lähellä.

Tässä loppuraportissa selostetaan ensin direktiivin 2013/35/EU soveltamisalaa, sm-kentille altistumisen raja-arvoja ja toimenpidetasoja, työpaikoilla tehtäviä riskinarviointeja sekä poikkeuksia direktiivin soveltamisesta. Luvussa 2 esitetään sellaiset direktiivit, joissa annetaan vaatimukset radiolaitteille, ja tekniset standardit, joissa esitetään testausmenetelmät radiolaitteen vaatimustenmukaisuuden toteamiseksi. Luvussa 3 kuvataan työssä kehon lähellä käytettävien radiolaitteiden kartoittamismenetelmä ja luvussa 4 esitetään kartoittamisen tulokset ja alustava turvallisuusarvio. Luku 5 käsittelee altistumisen määritysmittauksia, SAR- ja kentänvoimakkuusmittauksia, niiden menetelmiä ja mittaustuloksia. Luvussa 6 esitetään ohjeet altistumisen vähentämiseksi. Projektin yhteenveto on luvussa 7.

2 Direktiivi 2013/35/EU työntekijöiden suojelemiseksi sähkömagneettisille kentille altistumisesta aiheutuvista riskeistä

2.1 Direktiivin kohde ja soveltaminen

Direktiivi 2013/35/EU (EU 2013) saatetaan Suomessa voimaan työturvallisuuslain 738/2002 nojalla annettavalla valtioneuvoston asetuksella. Direktiivin tarkoittamia sähkömagneettisia (sm) kenttiä ovat staattiset ja ajallisesti vaihtelevat sähkö- ja magneettikentät sekä sähkömagneettinen aaltoliike, jonka taajuus on korkeintaan 300 GHz. Direktiivi koskee tunnettuja sm-kentän vaikutuksia, sekä suoria että epäsuoria, mutta ei mahdollisia pitkäaikaisvaikutuksia, joista ei ole saatu näyttöä tieteellisesti pätevissä tutkimuksissa.

Suoria vaikutuksia ovat sm-kentän ihmiskehoon synnyttämät sähkökentät ja -virrat, jotka riittävän voimakkaina voivat ärsyttää lihaksia, hermoja ja aistimia (ns. stimulaatio) pienillä taajuuksilla, ja lämmittää kudoksia suurilla taajuuksilla. Stimulaatio on ensisijainen vaikutus alle 10 kHz taajuuksilla ja lämpeneminen yli 100 kHz taajuuksilla. Väliataajuudet 10–100 kHz ovat siirtymäalue näiden vaikutusten välillä. Lämpeneminen kohdistuu taajuuden kasvaessa enenevästi kehon pintaosiin. Yli 6 GHz taajuuksilla lämpenevät käytännössä vain silmät sekä iho ja välittömästi ihon alla sijaitsevat kudokset.

Epäsuoria vaikutuksia ovat kentän vaikutukset sm-kentässä olevaan kohteeseen, mikä voi vaarantaa turvallisuuden tai terveyden. Tällaisia vaikutuksia ovat mm. häiriöt lääkinnällisissä sähköisissä laitteissa, kuten sydämentahdistimissa, ferromagneettisten esineiden sinkoutuminen voimakkaassa staattisessa magneettikentässä, sähköisesti ohjattavien räjähteiden hallitsematon laukeaminen, kontaktivirrat ja indusoituvien kenttien, kontaktivirtojen tai kipinäpurkausten synnyttämän kipinäinnin aiheuttamasta herkästi syttyvien aineiden syttymisestä seuraavat tulipalot ja räjähdykset.

2.2 Altistumisen raja-arvot ja toimenpidetasot

Direktiivissä annetaan altistumisen raja-arvot, jotka on asetettu sm-kentän lyhytaikaisten ja suorien vaikutusten perusteella. Nämä on jaettu terveysvaikutusraja-arvoihin ja aistimusraja-arvoihin. Edellisten ylittyessä voi aiheutua haitallisia terveysvaikutuksia, kuten liiallista lämpenemistä tai stimulaatiota. Jälkimmäisten ylittyessä voi aiheutua hetkellisesti aistihavaintojen häiriöitä tai aivotoiminnan vähäisiä muutoksia. Altistumisen raja-arvot on annettu taajuuksilla 0,1 Hz–6 GHz kehonsisäisinä suureina, sisäisen sähkökentän voimakkuutena tai ominaisabsorptionopeutena eli SAR:na, joita ei voi mitata. SAR kuvaa tehoa, joka imeytyy sm-kentästä kehoon painoyksikköä kohti. Altistumisen raja-arvojen noudattamisen helpottamiseksi on annettu myös ulkoisen sm-kentän toimenpidetasot, jotka voidaan mitata. Kun toimenpidetasot eivät ylity työntekijän kohdalla, eivät ylity altistumisen raja-arvoitakaan. Staattiselle magneettikentälle ja yli 6 GHz taajuisille sm-kentille altistumisen raja-arvot on annettu ulkoisen kentän suureina.

Direktiivissä käytetään seuraavia sähkö- ja magneettikentän sekä sähkömagneettisen kentän suureita (yksikkö suluisissa): sähkökentän voimakkuus (V/m), magneettikentän voimakkuus (A/m), magneettivuon tiheys (T) ja tehotiheys (W/m²). Kuhunkin altistumistilanteeseen käytetään parhaiten sopivaa suuretta. Yli 6 GHz taajuuksilla käytetään tehotiheyttä, koska aallonpituus on kehon mittoihin nähden pieni, ja siten ei ole tarpeen erotella sähkö- ja magneettikenttää. Tehotiheys kuvaa sähkömagneettisen aallon kuljettamaa tehoa. Tällöin sähkökentän katsotaan värähtelevän kohtisuorassa magneettikenttään ja aallon etenemissuuntaan vastaan. Sähkö- ja magneettikentän voimakkuuden suhde on vakio, 377 Ω, joka on va-

paan tilan aaltoimpedanssi. Tehotiheys S riippuu sähkökentän voimakkuuden tehollisarvosta E ja magneettikentän voimakkuuden tehollisarvosta H sekä vapaan tilan aaltoimpedanssista Z_0 seuraavasti:

$$S = \frac{E^2}{Z_0} = H^2 Z_0 \quad (1)$$

Tehotiheyttä voidaan käyttää pienemmilläkin taajuuksilla, kun ollaan riittävän kaukana säteilylähteestä. Yleensä altistutaan kuitenkin säteilylähteen lähellä, jolloin sähkö- ja magneettikentän suhde vaihtelee voimakkaasti paikasta toiseen. Tällöin käytetään sähkö- ja magneettikentän voimakkuuksia tai magneettivuon tiheyttä B , joka lasketaan magneettikentän voimakkuudesta kaavalla:

$$B = \mu_0 H \quad (2)$$

missä μ_0 on vapaan tilan permeabiliteetti $= 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ Vs/(Am). Koska magneettivuon tiheyden yksikkö Tesla (T) on hyvin suuri, käytetään sen edessä yleensä kertoimia mikro (μ) tai milli (m). Koska sähkö- ja magneettikentällä on hyvin erilaiset yksiköt, käytetään myös sähkö- ja magneettikentän ekvivalenttisia tehotiheyksiä, jotka saadaan sähkö- ja magneettikentän voimakkuuksista kaavalla (1). Ekvivalenttisen tehotiheyden yksikkö on W/m^2 .

Taulukossa 1 esitetään terveysvaikutusraja-arvot ja taulukossa 2 esitetään toimenpidetasot taajuuksilla 100 kHz–6 GHz, joilla kehon lähellä käytettävät radiolaitteet pääasiassa toimivat. Aistimusraja-arvoja ei tässä yhteydessä tarvitse soveltaa, sillä kehon lähellä käytettävien pienitehoisten radiolaitteiden mikroaaltosäteily ei aiheuta kuuloaistimuksia eikä pientaajuisiin kenttiin liittyviä aistimuksia ole havaittu yli 400 Hz taajuuksilla. Sähkökentän voimakkuuden neliö ja magneettivuon tiheyden neliö lasketaan keskiarvoina kuuden minuutin jaksoa kohti. Pulssimaisen sm-kentän sähkökentän voimakkuuden tai magneettivuon tiheyden keskiarvo pulssin kestoajalta saa olla korkeintaan 32 kertaa taulukossa 2 esitetyn toimenpidetason arvo.

Epätasaisessa sm-kentässä voidaan laskea kehon alueen keskiarvo esimerkiksi standardin EN 50492 (CENELEC 2008a) tai EN 62369-1 (CENELEC 2009) mukaisesti. Kun sm-kentän lähde on hyvin paikallinen ja hyvin lähellä kehoa,

korkeintaan muutaman senttimetrin etäisyydellä, ja toimenpidetasot ylittyvät paikallisesti, on varmistettava, että paikallisen SAR:n enimmäisarvo ei ylitä. Tämä edellyttää luotettavaa tietokonelasentaa numeerisilla malleilla tai altistumistilannetta jäljitteleviä SAR-mittauksia. Kun laitteen lähtimen keskimääräinen teho on korkeintaan 100 mW, paikallisen SAR:n arvo 10 W/kg ei ylitä, vaikka koko teho absorboituisi kehoon. Tällaisten pienitehoisten lähtimien aiheuttamaa altistumista ei tarvitse siten arvioida, kuten standardissa EN 62479 todetaan (CENELEC 2010a).

Taulukko 1. Terveysvaikutusraja-arvot taajuuksilla 100 kHz–6 GHz keskimääräisinä SAR-arvoina kuuden minuutin jaksoa kohti.

Terveysvaikutusraja-arvo	SAR W/kg
Koko kehon keskiarvo	0,4
Paikallinen keskiarvo 10 g kudonmassaa kohti päässä ja vartalossa	10
Paikallinen keskiarvo 10 g kudonmassaa kohti raajoissa	20

Taulukko 2. Toimenpidetasot taajuuksilla 100 kHz–6 GHz sähkökentän voimakkuuksina ja magneettivuon tiheyksinä.

Taajuus MHz	Sähkökentän voimakkuus V/m	Magneettivuon tiheys μT
0,1–1	610	$2/f$
1–10	$610/f$	$2/f$
10–400	61	0,2
400–2 000	$3 \sqrt{f}$	$0,01 \sqrt{f}$
2 000–6 000	140	0,45
f megahertseinä		

Taajuuksilla 6–300 GHz terveysvaikutusten raja-arvo on annettu tehotiheytenä, ja se on $50 W/m^2$. Tehotiheys lasketaan keskiarvona kutakin $20 cm^2$ suuruista altistuvaa aluetta kohti. Yhden neliösentin alueelta määritetty tehotiheyden enimmäisarvo ei saa ylittää arvoa $1 000 W/m^2$. Taajuuksilla 6–10 GHz tehotiheys määritetään keskiarvoina kuuden minuutin ajanjaksoilta. Ylemmillä taajuuksilla keskiarvo lasketaan $68/f^{1,05}$ minuutin jaksoilta. f on taajuus gigahertseinä. Taajuuksilla 6–300 GHz toimenpidetaso on sama kuin terveysvaikutusten raja-arvo. Vastaavat sähkökentän voimakkuuden ja magneettivuon tiheyden tehollisarvot ovat $140 V/m$ ja $0,45 \mu T$.

2.3 Riskinarviointi työpaikoilla

Työnantaja veloitetaan arvioimaan työpaikalla riskit, jotka aiheutuvat työntekijälle altistumisesta sähkömagneettisille kentille. Tarvittaessa on määritettävä työntekijän altistuminen mittaamalla tai laskemalla sm-kenttien tasot.

Suurin osa työpaikoista on sellaisia, joilla työntekijän altistumista ei tarvitse arvioida. Tällaisia ovat mm. väestölle avoimet työpaikat, joilla altistuminen on arvioitu jo väestöä koskevien säännösten (STMa 2002) mukaisesti. Väestön altistumisen enimmäisarvot ovat viidesosa taulukon 1 raja-arvoista ja taulukon 2 toimenpidetasoja vastaavista ekvivalenttisista tehotiheyksistä Arviointia ei tarvita työpaikoilla, joilla on vain sellaisia radio- ja telepäätelaitteita, joiden on todettu täyttävän Euroopan unionin neuvoston suosituksen 1999/519/EY (EU 1999a) ennen niiden markkinoille asettamista. Tällaisia laitteita ovat mm. matkapuhelimet ja langattoman lähiverkon (WLAN, WiFi) laitteet. Myös pienitehoiset radiopuhelimet (lähettimen teho korkeintaan 20 mW) on vapautettu arvioinnista.

Riskinarviointia tarvitaan sellaisilla työpaikoilla, joilla on käytössä suuritehoisia radio- ja tutkalähettämiä sekä muita sm-kenttiä hyödynnäviä laitteita, kuten induktio- ja suurtaajuuskuumentimia sekä elektrolyysilaitteita. Euroopan sähkötekninen standardisointikomitea CENELEC laati edellisen direktiivin 2004/40/EY (direktiivillä 2013/35/EU kumottu) soveltamiseen standardin EN 50499 (CENELEC 2008b), jossa on yksityiskohtaisemmat listat työpaikoista ja laitteista, joille tarvitaan arviointia.

Työnantajan on varmistettava, että altistumisesta sm-kentille aiheutuvat riskit poistetaan tai ne saadaan mahdollisimman vähäisiksi teknisillä toimenpiteillä tai altistumisen kestoa ja voimakkuutta rajoittamalla. Työntekijöille on annettava tietoa ja koulutusta sm-kenttien vaikutuksista ja mahdollisista hetkellisistä oireista ja tuntemuksista, riskeistä, altistumisen raja-arvoista ja toimenpidetasoista sekä turvallisista työtapoista, joilla voidaan minimoida altistumista sm-kentille. Työnantajan on huomioitava työntekijät, jotka ovat erityisen alttiita sm-kentistä aiheutuville riskeille, kuten henkilöt, joilla on sydämentahdistin tai jotka ovat raskaana. Tällaisten henkilöiden on myös ilmoitettava työnantajalle erityisestä alt-

tiudestaan sm-kentille. Sähköiset laitteet, kuten sydämentahdistimet, voivat häiriintyä toimenpidetasoja heikommassa sähkö- ja magneettikentissä.

2.4 Poikkeukset

Altistumisen raja-arvot saadaan tietyin edellytyksin ylittää terveydenhoitoalalla potilaskäyttöön tarkoitettujen magneettikuvauslaitteiden asennuksen, käyttöönottestauksen, käytön, kehittämissä, huollon tai tutkimuksen yhteydessä tapahtuvassa altistumisessa. Operatiivisten sotilaallisten laitteistojen kanssa tai sotilaallisiin toimiin osallistuviin henkilöihin voidaan soveltaa vastaavaa tai erityisluonteisempaa suojelujärjestelmää. Lisäksi sallitaan tilapäisesti raja-arvojen ylittyminen erityisillä aloilla erityisessä toiminnassa asianmukaisesti perustelluissa tapauksissa vain perustellun pituisen ajan. Kaikissa näissä poikkeuksissa vaaditaan työnantajaa osoittamaan, että työntekijät on suojattu haitallisilta terveysvaikutuksilta ja vaaroilta, joita sm-kentät voivat suorasti tai epäsuorasti aiheuttaa.

2.5 Radiolaitteita koskevat direktiivit ja tekniset standardit

Euroopan unionin (EU) jäsenvaltioissa käytäviin radiolaitteisiin sovelletaan radio- ja telepäätelaittedirektiiviä (RTTE) 1999/5/EY (EU 1999b). Siinä säädetään laitteiden markkinoille saattamisesta, vapaasta liikkuvuudesta ja käyttöönotosta. Laitteen valmistajan on osoitettava, että valmistettu laite täyttää tietyt vaatimukset ennen kuin se voidaan asettaa markkinoille. Laitteeseen on kiinnitettävä CE-merkki, joka ilmoittaa vaatimustenmukaisuuden. Vaatimustenmukaiselle laitteelle turvataan vapaa liikkuvuus EU:n jäsenvaltioissa. Mikään jäsenvaltio ei voi estää laitteen maahantuontia, käyttöönottoa eikä käyttöä paitsi, jos laite osoittautuu markkinavalvonnassa vaatimustenvastaiseksi.

Yleisiä vaatimuksia ovat sähkömagneettinen yhteensopivuus (EMC) sekä tieto- ja säteilyturvallisuus. EMC tarkoittaa, että laitteet käyttävät tehokkaasti niille varattuja taajuusalueita eivätkä häiritse muiden sähkölaitteiden toimintaa. Tietoturvallisuudella taataan yksityisyyden suoja ja siirrettävän luottamuksellisen tiedon salassa pysyminen. Säteilyturvallisuusvaatimuksilla taataan, että radio- ja telepäätelaitteiden aiheutta-

mista sm-kentistä ei ole terveydellistä vaaraa, kun laitteita käytetään asianmukaisesti.

Vaatimusten täytyminen osoitetaan yksityiskohtaisemmillä teknisillä EN-standardeilla, joita laativat ETSI (European Telecommunications Standards Institute) ja CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization). ETSI laatii EN-standardeja, joissa esitetään laitteiden yleiset ominaisuudet, testausmenetelmät ja EMC-vaatimukset. CENELEC valmistelee puolestaan EN-standardeja, joissa esitetään säteilyturvallisuuteen liittyvät vaatimukset ja niiden täyttymisen toteamiseksi tarvittavat mittaus- ja laskentamenetelmät. Eurooppalaisista mittaus- ja laskentastandardeista IEC (International Electrotechnical Commission) valmistelee tarvittaessa myös maailmanlaajuisia IEC-standardeja. Kun EN-standardi kattaa direktiivin vaatimukset, se julkaistaan EU:n virallisessa lehdessä ja on velvoittava. Viimeisin versio RTTE-direktiiviin liittyvistä velvoittavista EN-standardeista on julkaistu 14.11.2014 virallisessa lehdessä C406 (EU 2014a).

Esimerkkejä ETSI:n laatimista standardeista ovat RFID-laitteiden standardit EN 300220, EN 300330 ja EN 300440, VIRVE-puhelinlaitteiden standardit EN 303035 sekä EN 301489 ja PMR-järjestelmän (Private or Personal Mobile Radio) standardit EN 303039. CENELECin laatimia velvoittavia standardeja ovat tuotestandardit EN 50360 (vaatimukset matkapuhelimille, kun niitä käytetään korvalla) (CENELEC 2001) ja EN 50566 (vaatimukset matkapuhelimille ja muille langattomille laitteille, kun niitä käytetään kehon lähellä tai kehossa kiinni) (CENELEC 2013) sekä EN 50364 (vaatimukset sähköiseen tuotesuojaukseen (EAS), radiotaajuiseen tunnistukseen (RFID) ja muihin samantyyppisiin sovelluksiin käytettäville laitteille) (CENELEC 2010b). Standardin EN 50360 vaatimusten täyttymisen osoittamiseksi tarvittavat laitteiden testausmenetelmät esitetään standardissa EN/IEC 62209-1 (IEC 2005) ja standardin EN 50566 vaatimusten täyttymisen osoittamiseksi tarvittavat menetelmät standardissa

EN/IEC 62209-2 (IEC 2010). Standardin EN 50364 vaatimusten täytyminen voidaan osoittaa standardin EN 62369-1 testausmenetelmällä.

Vuonna 2014 julkaistiin uusi radiolaitedirektiivi 2014/53/EU (EU 2014b), joka korvaa RTTE-direktiivin 1999/5/EY. Se tulee voimaan EU:n jäsenvaltioissa 12.6.2016. Vanha direktiivi on tämän jälkeen vielä vuoden voimassa uuden rinnalla. Uusi direktiivi koskee vain radiolaitteita eli radioaaltoja lähettäviä ja vastaanottavia radiolaitteita. Se käsittää myös tutkalaitteistot. Yleiset vaatimukset ovat uudessa direktiivissä lähes samankaltaiset kuin vanhassa, mutta säteilyturvallisuusvaatimukset on määritelty eri tavalla. Vanhan direktiivin artiklassa 6 määriteltiin tarkoituksenmukainen käyttö, jolloin laitteen valmistaja saattoi määrittää minimikäyttöetäisyyden kehosta. Uuden direktiivin artiklassa 17.1 todetaan, että vaatimustenmukaisuuden arvioinnissa on huomioitava myös kohtuudella ennakoitavat käyttötavat. Tämän voi tulkita siten, että valmistaja ei enää voi määrittellä tarkoituksenmukaisen käytön minimietäisyyttä.

Vanhan RTTE-direktiivin mukaan laaditut EN-standardit eivät kata kaikkia uuden direktiivin vaatimuksia, ja siksi Euroopan komissio on antanut elokuussa 2015 CENELECille ja ETSI:lle mandaatin M/536 EN-standardien päivittämiseksi. Sitä vastoin kyseiset standardointielimet eivät ole saaneet mandaattia valmistella tuotestandardeja ja sm-kenttädirektiivin 2013/35/EU vaatimusten täyttämiseksi. Nykyisissä radiolaitteiden tuotestandardeissa viitataan Euroopan unionin neuvoston suositukseen 1999/519/EY väestön altistumisen enimmäisarvoista sm-kentille. Tämä on asianmukaista, sillä kuluttajatuotteita voi hankkia ja käyttää kuka tahansa. Sitä vastoin on radiolaitteita, joita käytetään vain työssä, jolloin niihin voidaan soveltaa korkeampia työntekijöiden altistumisen enimmäisarvoja. Vaikka CENELEC ei ole saanut mandaattia direktiivin 2013/35/EU soveltamiseen tarvittavien EN-standardien valmisteluun, se on aloittanut kyseisen valmistelutyön.

3 Kehon lähellä työssä käytettävien radiolaitteiden kartoittaminen

3.1 Kartoittamisen ulkopuolelle rajatut radiolaitteet

Tässä selvityksessä ei tarkastella sellaisia radiolaitteita, jotka kuuluvat STUKin markkinavalvontaan. Näitä ovat matkapuhelimet, kannettavat ja tablettitietokoneet, jotka ovat vapaasti ostettavissa ja käytettävissä. Puolustusvoimien radiolaitteiden aiheuttamaa altistumista ei selvitetä, koska direktiiviä ei poikkeuspykälän perusteella tarvitse soveltaa sotilaalliseen toimintaan. Lisäksi STUK valvoo muutenkin viranomaisena, että radio- ja tutkalaitteiden tarkastus ja valvonta järjestetään asianmukaisesti Puolustusvoimissa. Pienitehoisia, enintään 100 mW, radiolaitteitakaan ei huomioida, sillä niitä käytettäessä ei missään olosuhteissa ylity paikallisen SAR:n raja-arvo 10 W/kg (CENELEC 2010a).

3.2 Kartoittamismenetelmä

Radiolaitteet kartoitettiin kirjallisuuskatsauksella ja kyselyillä. Kirjallisuuskatsauksen perusteella kyselyt suunnattiin sellaisille toimijoille, joilla todennäköisesti on kehon lähellä käytettäviä radiolaitteita. Viranomaiset, kuten poliisi, pelastuslaitos, palokunta ja rajavartiolaitos, käyttävät omaa viranomaisverkkoa (VIRVE) yhteydenpitoon. VIRVE mahdollistaa yhteydet myös sellai-

sisissa tilanteissa, joissa tavallinen matkapuhelin tai lankapuhelinverkko ei jostain syystä toimi. Viestintäalan yhtiöt ja yritykset tarvitsevat radiolähtimiä puheen, videon ja datan langattomaan siirtoon. Antenni- ja teleasennusyrietykset sekä eräät teollisuuslaitokset käyttävät radiopuhelimia, joilla saadaan yhteys myös vaikeissa olosuhteissa, joissa matkapuhelimet eivät toimi. Kauppojen keskusvarastoissa ja teollisuudessa tarvitaan tuotteiden ja tavaroiden kuljetuksen hallintaan radiotaajuustunnistus- eli RFID-tekniikkaa. Siinä käytetään radiolähtimiä kehon lähellä joissain tilanteissa.

Toimijoihin otettiin yhteyttä puhelimitse tai sähköpostilla radiolaitteiden käytön selvittämiseksi. Kahden toimijan kanssa järjestettiin palaveri, jossa selostettiin projektin tarkoitusta ja tavoitteita sekä käytiin läpi toimijan käyttämiä radiolaitteita, niiden ominaisuuksia sekä käyttötapoja. Tärkeimpiä selvitettäviä asioita olivat radiolaitteiden lähetysteho ja -taajuus, käyttötapa, päivittäinen käyttöaika. Altistumisen kannalta keskeistä oli, miten lähellä kehoa laitteita käytetään ja miten pitkään radiolaitteen lähettämälle sm-kentälle altistutaan yhtäjaksoisesti ja yhteensä työpäivän aikana.

4 Radiolaitteiden kartoittamisen tulokset

4.1 Kehon lähellä työssä käytettävät radiolaitteet

Kyselyiden perusteella on listattu työpaikoilla kehon lähellä käytettävät laitteet taulukkoon 3. Siinä kuvataan laitteen lähetysteho ja -taajuus ja käyttötapa.

Taulukosta havaitaan, että radiopuhelimet ovat merkittävin laiteryhmä. Israelissa tehdyn selvityksen (Hareuveny et al. 2015) mukaan radiopuhelimet (walkie-talkie) aiheuttavat ainakin ajallisesti suurimman osan työperäisestä altistumisesta radiotaajuisille sähkömagneettisille kentille. Yksityiskohtaisemmat kuvaukset radiolaitteiden teknisistä ominaisuuksista, toiminnasta ja käytöstä esitetään seuraavissa kohdissa.

4.2 VIRVE-puhelimien ominaisuudet ja käyttö

VIRVE (kansainvälisesti TETRA, Terrestrial Trunk Radio) on radiopuhelinjärjestelmä, jossa radiopuhelimella voi olla yhteydessä toiseen radiopuhelimeen tukiaseman välityksellä (TMO,

Trunked Mode Operation, verkkokanavatoiminto) tai suoraan (DMO, Direct Mode Operation, suora-kanavatoiminto) (ETSI 2001). Jälkimmäinen toiminto mahdollistaa yhteyden kahden puhelimen välillä myös VIRVE-tukiasemien peittoalueen ulkopuolella. Puhe koodataan biteiksi ja liitetään kehyksinä radiotaajuiseen signaaliin käyttämällä digitaalista vaihemodulaatiota DPSK (Differential Quaternary Phase Shift Keying). Digitaalisen modulaation ansiosta VIRVE-puhelimilla voi lähettää ja vastaanottaa myös dataa, esimerkiksi kuvia ja lyhyitä tekstiviestejä.

VIRVE-päätelaitteiden teholuokat esitetään taulukossa 4. Kaikkiaan teholuokkia on kahdeksan, joiden nimelliset huipputehot ovat välillä 0,56–30 W. Käsipuhelimet kuuluvat yleensä teholuokkaan 4 (1 W), ja ajoneuvoihin asennetut päätelaitteet teholuokkaan 3 (3 W) tai 2 (10 W). VIRVE-päätelaitteiden lähetystaajuudet Suomessa ovat välillä 380–390 MHz. Taajuusväli on jaettu 400 kanavaan, jonka kunkin kaistanleveys on 25 kHz.

Taulukko 3. Kehon lähellä työssä käytettävien radiolaitteiden lähetystehot, -taajuudet ja käyttötapa.

Radiolaite	Suurin lähetysteho (W)	Lähetystaajuus MHz	Käyttötapa
VIRVE-käsipuhelin	1	380-390	korvalla, kasvojen edessä, rintataskussa, vyötäröllä
Radiopuhelin	6 5 4 4	30–50 136–174 300–350 403–470	kasvojen edessä, rintataskussa
LA-puhelimet	5	26,965–27,225	kasvojen edessä
CB-puhelimet	4	26,965–27,405	
PR-27-puhelimet	4	26,965–27,405	
PMR446-puhelin	0,3	446	kasvojen edessä
RFID-lukija	2	865,6–867,6	kädessä, portissa
Toimittajan työn radiolaitteet:			
Vyöasema	0,3	450–470	vyötäröllä
Reportterilähettimet	2	470–493	vyötäröllä
Ulkolähettimet	3	170–260	vyötäröllä
Ulkolähettimet	3	330–880	vyötäröllä

Taulukko 4. VIRVE-päätelaitteiden teholuokat.

Teholuokka	Nimellisteho	
	W	dBm
1	30	45
1L	17,5	42,5
2	10	40
2L	5,6	37,5
3	3	35
3L	1,8	32,5
4	1	30
4L	0,56	27,5

VIRVE-puhelin säteilee käytännössä silloin, kun se lähettää puhetta tai dataa. Säteily on hyvin vähäistä valmius- ja kuuntelutilassa. Valmiustilassa puhelin signaloi harvakseltaan tukiaseman kanssa ja aina silloin, kun liikkeessä olevan puhelimen tukiasema vaihtuu. Radiotaajuinen signaali koostuu noin 56,7 ms pituisista kehyksistä, jotka on jaettu neljään noin 14,2 ms pituiseen aikaväliin. Yksi 1,02 s pituinen monikehys koostuu puolestaan 18 kehyksestä. Puhelin lähettää yhden aikavälin pituisia pulsseja, joiden määrä yhdessä monikehyksessä riippuu toiminnosta. Teoriassa pulssin signaalin amplitudin pitäisi olla vakio, mutta koodauksessa käytettävä suodatus muuttaa amplitudia.

Verkkokanavatoiminnon monikehyksessä yksi pulssi lähetetään jokaisen kehyksen ensimmäisessä aikavälissä viimeistä kehystä lukuun ottamatta. Kuva 1 esittää monikehyksen pulssisarjaa verkkokanavatoiminnossa. Pulssisarja toistuu samanlaisena jokaisessa monikehyksessä eli 1,02 s välein. Pulssitaajuus on siten noin 17,65 Hz ja toimintasuhde (keskimääräisen tehon suhde huipputehoon) noin $\frac{1}{4}$ eli 0,25. Teoreettinen toimintasuhde on $\frac{17}{18} \times \frac{1}{4}$ eli noin 0,23. Keskimääräinen lähetysteho on siten noin 0,23 W, kun huipputeho on 1 W. Tukiasema säätää puhelimen lähetystehon niin alhaiseksi kuin yhteyden säilyttämiseksi on mahdollista. Käsipuhelimen huipputeho säätyy 5 dB portain minimin ollessa noin 30 mW ja maksimin 1 W.

Suorakanavatoiminnon monikehyksessä yksi pulssi lähetetään jokaisen kehyksen ensimmäisessä aikavälissä ja lisäksi 6. ja 12. sekä 18. kehyksen kolmannessa aikavälissä, kuten kuvasta 2 voidaan havaita. Teoreettinen toimintasuhde on noin 0,29. Keskimääräinen lähetysteho on siten noin 0,29 W, kun huipputeho on 1 W. Suorakanavatoiminnossa keskimääräinen lähetysteho on siis noin 24 % suurempi kuin verkkokana-

vatoiminnossa. Suorakanavatoiminnossa puhelin lähettää aina maksimitehollaan, koska puhelimen toiminta-alueella ei ole tällöin tukiasemaa, joka säätäisi puhelimen lähetystehoja.

Käsipuhelinta voidaan käyttää matkapuhelimen tapaan korvalla. Puhuttaessa painetaan painiketta eli tangenttia, jolloin puhelin voi olla myös kasvojen edessä, mutta kuunneltaessa puhelinta pidetään yleensä korvalla. Hands free -laitetta käytettäessä puhelin voi olla rintataskussa tai vyötäröllä yleensä näppäinpuoli kehosta pois päin. Ajoneuvoihin asennetuissa laitteissa lähetinosa on ajoneuvon kojelaudassa ja lähetinantenni on ajoneuvon katolla. Mikrofoni ja kuuloke on kytketty langallisesti lähetinosaan.

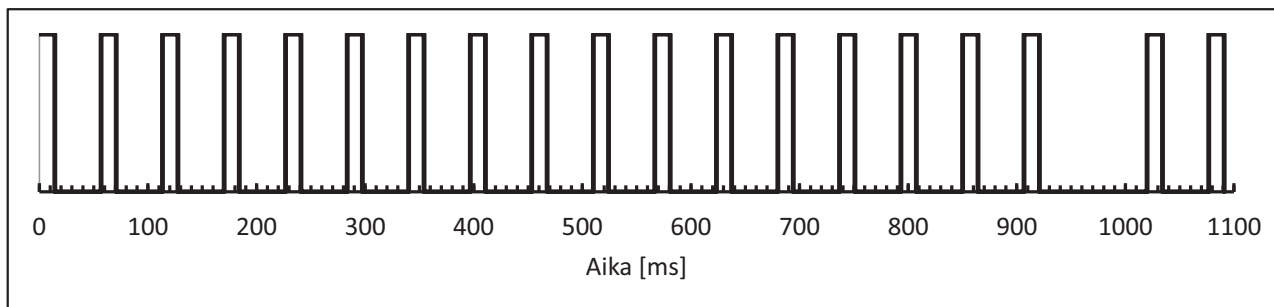
4.3 Radiopuhelimien ominaisuudet ja käyttö

Radiopuhelimia käytetään yhteydenpitoon liikenteessä, teollisuudessa ja mastotöissä. Radiopuhelimet toimivat matalammilla taajuuksilla kuin matkapuhelimet, jolloin saadaan yhteys myös hankalissa yhteysolosuhteissa. Radiopuhelimilla muodostetaan suora yhteys kahden puhelimen välille ilman tukiasemaa eli toisin kuin matkapuhelimilla. Lähetystehot ovat suurempia kuin matkapuhelimien lähetystehot. Radiopuhelimissa käytetään ns. simplex-yhteyttä eli puhuttaessa on painettava puhelimen tangenttia. Radiopuhelimet voidaan jakaa luvanvaraisiin puhelimiin, joiden käyttöön tarvitaan Viestintäviraston myöntämä lupa, ja luvasta vapautettuihin ns. LA-puhelimiin, CB- tai PR-27-puhelimiin tai PMR-puhelimiin (Private or Personal Mobile Radio). Luvasta vapautettujen puhelimen toimintataajuus on noin 446 MHz (PMR) tai noin 27 MHz (muut).

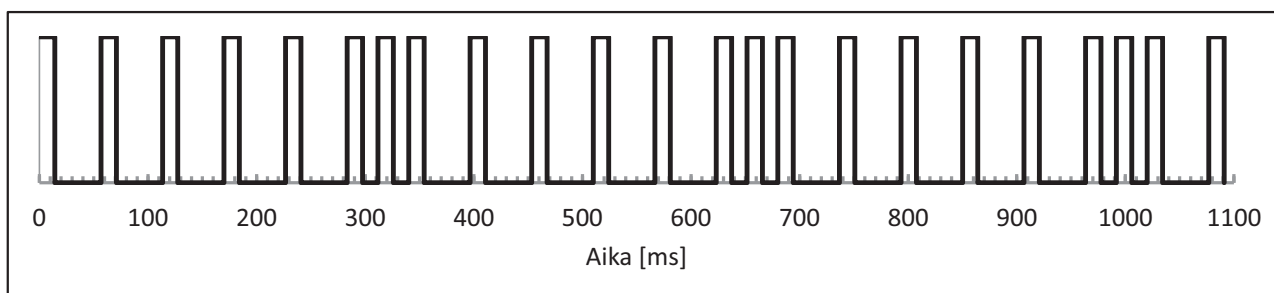
4.3.1 Luvanvaraiset radiopuhelimet

Luvanvaraiset radiopuhelimet toimivat taajuusalueilla 30–50 MHz, 136–174 MHz, 300–350 MHz sekä 403–470 MHz. Suurimmat lähetystehot ovat 6 W matalimmalla taajuusalueella, 4–5 W taajuusalueella 136–174 MHz ja 4 W korkeammilla taajuusalueilla.

Radiopuhelinta käytetään yleensä käsipuhelimenä. Puhuttaessa painetaan tangenttia ja pidetään puhelinta kasvojen edessä. Mastotöissä puhelin on haalarin rintataskussa ja puhelimeen on yhdistetty käsikrofoni, jota pidetään kädessä



Kuva 1. Verkkokanavatoiminnon monikehyksen pulssisarja.



Kuva 2. Suorakanavatoiminnon monikehyksen pulssisarja.

tai se on kiinnitetty haalarin hupun reunukseen. Puhuttaessa on tällöinkin painettava tangenttia. Puhelinta käytetään 1–7 tuntia työpäivän aikana. Yhtäjaksoisesti puhutaan kuitenkin lyhyitä aikoja, paljon vähemmän kuin kuusi minuuttia.

4.3.2 Luvasta vapautetut radiopuhelimet

Luvasta vapautetuista radiopuhelimista ns. PMR446-puhelimet toimivat noin 446 MHz taajuudella ja muut puhelimet (LA-, CB- ja PR-27-puhelimet) noin 27 MHz taajuudella. PMR446-puhelimien säteilyteho (ERP, Effective Radiated Power) on korkeintaan 0,5 W, joka on yhtä suuri tai suurempi kuin lähettimen teho. LA-puhelimien säteilyteho on korkeintaan 5 W ja CB- sekä PR-27-puhelimien korkeintaan 4 W. Puhelimet käyttävät simplex-yhteyttä eli puhuttaessa painetaan tangenttia ja puhelinta pidetään kasvojen edessä. PMR446-puhelimia käytetään myös itkuhälyttiminä, jolloin niissä käytetään ääniohjausta eli vauvan itku käynnistää puhelimen lähetyksen ilman tangentin painamista.

4.4 RFID-laitteiden ominaisuudet ja käyttö

Radiotaajuinen tunnistus (Radio Frequency Identification, RFID) perustuu langattomaan sm-

kenttiä hyödyntävään tekniikkaan. Sitä käytetään kohteiden automaattisen tunnistamiseen ja jäljitämiseen sekä tavaravirtojen seuraamiseen teollisuudessa ja kuljetuksessa. Tunnistuksessa käytetään RFID-lukijaa ja RFID-tunnistetta (RFID tag), joka on kiinnitetty kohteeseen ja jossa on sähköisesti talletettua tietoa kohteesta. Toisin kuin tavallinen viivakoodi, RFID-tunniste voidaan lukea kaukaa ja eri asennoissa sekä ilman näköyhteyttä muiden kohteiden takaa. Se on pitkäikäinen ja kestää kovaakin käsittelyä. RFID-tunnisteeseen saadaan ladattua myös suhteellisen paljon tietoa. Suurin osa tunnisteista on passiivisia, eli ne saavat käyttövirtansa RFID-lukijan sm-kentästä. Tunniste moduloi RF-lukijasta tulevan signaalin, ja lukija ottaa moduloidun signaalin vastaan. Aktiivisissa tunnisteissa on oma teholähde (paristo), ja niitä voidaan lukea kauempaa, jopa useiden satojen metrien etäisyydeltä.

RFID-laitteita käytetään Euroopassa yleisimmin taajuuksilla 125 kHz ja 134 kHz (eläinten tunnistaminen), 13,56 MHz sekä mikroaaltotaajuuksilla 865–868 MHz ja 2 450 MHz. Alemmilla taajuuksilla lukijan ja tunnisteen välinen langaton yhteys syntyy magneettisella induktiolla etäisyydelle, joka käytetyn tekniikan mukaisesti vaihtelee tavallisesta muutamasta senttimetrinä maksimis-

saan hieman yli metriin. Mikroaaltotaajuuksilla yhteys saadaan radioaalloilla jopa muutamien kymmenien metrien etäisyydelle. Taajuuksilla 865–868 MHz sallitaan huipputeho 2 W (ERP) (ETSI 2014). Taajuudella 2 450 MHz suurin sallittu huipputeho on 0,5 W (EIRP, Effective Isotropic Radiated Power). Tätä suurempi teho 4 W (EIRP) sallitaan tarkasti kontrolloidussa sisäkäytössä (ETSI 2009). RFID-tekniikkaa käytetään myös kauppojen ja kirjastojen sähköiseen tuotesuojaukseen (Electronic Article Surveillance, EAS). Taajuudella 13,56 MHz toimiva NFC (Near Field Communication) hyödyntää myös kyseistä tekniikkaa ja on sisäänrakennettuna useissa nykyisissä matkapuhelimissa.

RFID-tekniikkaa käytettäessä laitteiden sätelevän osan ei tarvitse olla kiinni kehossa tai kehon lähellä. RFID-lukijan antennit voivat olla asennettuna kiinteästi esimerkiksi trukin haarukkaan tai varaston porttiin kuten kuvassa 3. Käsikäyttöistä RFID-lukijaa käytetään kauempana kehosta, jolloin sen takana oleva antenni (ks. kuva 4) ei ole lähellä kehoa. Asianmukaisesti käytettynä RFID-lukija ei altista sm-kentille siinä määrin, että edes väestön altistumisen enimmäisarvot ylittyisivät.



Kuva 3. RFID-lukijan antennit asennettuina porttiin. (Kuva: RFID Lab Finland ry.)



Kuva 4. Käsikäyttöisiä RFID-lukijoita. (Kuva: RFID Lab Finland ry.)

4.5 Toimittajan työssä käytettävien radiolaitteiden ominaisuudet

Radio- ja tv-toimittajat käyttävät työssään radiolähtettä, joilla ääni ja kuva siirretään langattomasti joko muutaman metrin päähän studiossa tai jopa muutaman kilometrin päähän ulkona esimerkiksi urheilutapahtumissa. Pienitehoisten laitteiden radiolähetin ja antenni ovat yleensä kehon lähellä. Suuritehoisten laitteiden lähetin on myös kehon lähellä, mutta antenni sijoitetaan yleensä teleskooppivarren päähän noin puoli metriä pään yläpuolelle. Kuvassa 5 on esimerkki tällaisesta käytöstä.

Pienitehoisia laitteita ovat mm. langattomat mikrofonit, joiden lähetysteho on alle 0,1 W. Studiossa käytetään vyöasemia, joiden lähetysteho on 0,3 W. Ulkona käytettävien lähettimien tehot ovat 1–3 W taajuusalueilla 170–260 MHz ja 330–880 MHz. Lisäksi käytetään luvanvaraisia radiopuhelimia, joiden suurin lähetysteho on 5 W.

Uutis- ja ajankohtaislähetyksissä lähetysajat ovat enimmillään viisi minuuttia. Urheilutapahtumien haastattelussa lähetysajat ovat kerrallaan 10–30 minuuttia.



Kuva 5. Toimittaja käyttää ulkolähetintä urheilutapahtumaa selostaessaan. (Kuva: Oy Yleisradio Ab.)

4.6 Kirjallisuudessa esitetyt altistumisen määrittämiset

4.6.1 VIRVE-puhelimien aiheuttama altistuminen

Dimbylow ym. (2003) ovat laskennallisesti määrittäneet VIRVE (TETRA) -puhelinlaitteiden aiheuttamaa altistumista käyttäjän päähän. Pään ja muiden kehon osien altistumista on selvitetty laskemalla ja mittaamalla (Chadwick 2006) (Wainwright 2007) (Bodendorf 2013).

Dimbylow ym. laskivat käyttäjän päähän aiheutuvan paikallisen SAR:n 10 g keskiarvona. He käyttivät laskennassa FDTD-menetelmää ja anatomisesti realistista miehen pään numeerista mallia sekä puhelimen numeerista mallia. Numeeristen mallien kuutiomaisten solujen sivun pituus oli 2 mm. Monopoli- tai helix-antennilla varustettu VIRVE-puhelin (huipputeho 3 W) oli korvalla kolmessa eri kallistusasennossa tai kasvojen edessä 6 mm etäisyydellä nenästä. Laskentatulokset osoittivat, että helix-antennilla SAR oli 50–100 % suurempi kuin monopoli-antennilla. Kun puhelin käytetään monopoli-antennilla kasvojen edessä

6 mm etäisyydellä nenän päästä, SAR oli hieman mutta ei merkittävästi suurempi kuin korvalla käytettäessä. Sitä vastoin helix-antennilla SAR oli suurempi korvalla käytettäessä.

Verkossa toimivalla 1 W käsipuhelimella (0,23 W keskimääräinen teho), suurin laskettu SAR normaalikäyttöasunnoissa oli noin 1 W/kg helix-antennilla ja noin 0,6 W/kg monopoli-antennilla. SAR oli siten selvästi pienempi kuin väestön enimmäisarvo 2 W/kg. Suorakanavatoiminnossa eli 0,29 W keskimääräisellä teholla vastaavat SAR:t olivat noin 1,2 W/kg ja noin 0,7 W/kg, jotka alittivat väestön enimmäisarvon. Väestön enimmäisarvo 2 W/kg ei ylittynyt siten kummallakaan antennilla eikä kummallakaan toiminnolla 1 W huipputeholla edes tavallisesta poikkeavilla käyttöasunnoilla. Sitä vastoin 3 W huipputeholla ja helix-antennilla SAR ylitti niukasti väestön enimmäisarvon, mutta oli selvästi pienempi kuin työntekijöiden raja-arvo 10 W/kg.

Britanniassa myös Chadwick (2006) tutki VIRVE-puhelimien aiheuttamaa altistumista mittaamalla ja laskemalla. Suurin laskemalla ja mittaamalla määritetty 10 gramman paikallinen SAR oli noin 0,5 W/kg puhelimen suurimmalla keskimääräisellä teholla 0,25 W. Vastaava koko kehon keskimääräinen SAR oli vähemmän kuin 0,004 W/kg. Autoon tai moottoripyörään asennettujen antennien aiheuttama SAR kuljettajan ja matkustajien paikoilla oli vähemmän kuin 5 % väestön enimmäisarvosta ja 1 % työntekijöiden raja-arvosta.

Saksan säteilysuojeluvirastossa (Bundesamt für Strahlenschutz) Bodendorf (2013) määrittäi VIRVE-radiolaitteiden aiheuttaman paikallisen SAR:n tyypillisessä päivittäisessä käytössä ja realistisissa suurimman altistumisen aiheuttavissa tilanteissa. Pään altistumista tutkittiin käsipuhelimen erilaisissa käyttöasunnoissa ja vartalon altistumista käytettäessä käsipuhelinta rintataskussa tai vyötäröllä. Näiden kehon osien altistumista selvitettiin myös tilanteessa, kun käsipuhelinta käytetään ajoneuvon sisällä. Lisäksi määritettiin ajoneuvoon asennettujen VIRVE-radiolaitteiden aiheuttamaa altistumista.

Paikallinen SAR määritettiin laskemalla ja mittaamalla kahdelle Saksassa yleisesti käytetylle VIRVE-puhelinmallille Motorola MTP 850 ja Sepura STP 8000. Laskennassa käytettiin FDTD-

menetelmää hyödyntävää SEMCAD X -ohjelmistoa, anatomisesti realistisia "virtuaaliperheen" miehen (Duke) ja naisen (Ella) numeerisia malleja (Christ ym. 2010) sekä röntgenkuvien perusteella laadittuja numeerisia puhelinten malleja. Puhelimen aiheuttamalla radiotaajuisten säteilyn altistumistasolla laskettiin kudosten paikallinen lämpötilan nousu käyttämällä Pennesin biolämpötyhtälöä (Pennes 1948). Lämpötilan nousu laskettiin 1,5 h kestävässä jatkuvassa altistumisessa, jossa kudoksen lämpötila nousee ensin lineaarisesti, mutta kasvu hidastuu lämmön johtuessa kudoksessa tai poistuessa verenkierron mukana. Laskentaan tarvittavat kudosten parametrit otettiin sveitsiläisen ITISin (Foundation for Research on Information Technologies in Society) datapankista (Hasgall ym. 2015).

Vartalon paikallinen SAR mitattiin tasofantomilla (IEC 2010) ja pään SAR anatomisella SAM-fantomilla (IEC 2005). SAR-mittaukset tehtiin Itävallan Seibersdorf-tutkimuskeskuksen DASY5-mittauslaitteistolla. Kudosten sähköisiä ominaisuuksia simuloivat nesteet oli valmistettu standardin IEC 62209-1 (IEC 2005) mukaisesti. SAR-mittauslaitteistolla voitiin mitata myös magneettikentän voimakkuus puhelinten antennien läheisyydestä. Näitä mittaustuloksia käytettiin puhelimen lähetystehon selvittämiseen ja laskentatulosten oikeellisuuden tarkistamiseen. Ennen SAR-mittauksia mitattiin myös puhelinten säteilykuviot.

Säteilykuvioiden ja magneettikentän mitaustulosten vertailu vastaaviin laskentatuloksiin osoitti, että noin puolet puhelinten lähetystehosta häviää antennien epäsovitukseen ja muihin tehohäviöihin. Taso- ja SAM-fantomilla tehtyjen

SAR-mittausten tulosten vertailu vastaaviin laskentatuloksiin osoitti puolestaan, että maksimisaan noin 70 % säteilytehosta imeytyy fantomiin. Imeytyvään tehoon vaikuttaa pienillä etäisyyksillä puhelimen ja fantomin välinen etäisyys, sillä puhelimen antennin sovitus muuttuu sen funktiona.

Tasofantomilla mitatut vartalon suurimmat 10 g SAR:n keskiarvot olivat 0,48 W/kg Motorola MTP 850 -puhelimelle ja 0,57 W/kg Sepura STP 850 -puhelimelle 0,25 W lähetysteholla. SAM-fantomilla mitatut pään vastaavat arvot olivat 0,68 W/kg ja 0,89 W/kg. Tasofantomilla suurin SAR-arvo saatiin asetettaessa puhelimen näppäinpuoli kiinni fantomiin ja SAM-fantomilla asetettaessa puhelin standardin IEC 62209-1 mukaiseen 15 asteen kallistettuun asentoon korvalle. Tällöin puhelimen antenni tulee hyvin lähelle päätä aiheuttaen suurimmat SAR:t. Sepuran SAR-arvot olivat hieman Motorolaa suuremmat, minkä arvioitiin johtuvan puhelinten rakenteen pienestä eroista. Sepuran antenni tulee lähemmäksi päätä tai kehoa kuin Motorolan antenni.

Miehen ja naisen numeerisilla malleilla lasketut SAR:t eri käyttöasennoissa esitetään taulukossa 5. Siitä havaitaan, että 0,25 W lähetysteholla kaikki lasketut SAR-arvot ovat väestön enimmäisarvoa pienemmät. VIRVE-puhelimen SAR-arvot ovat siten samanlaisia kuin GSM-puhelimen, jonka suurin keskimääräinen lähetysteho on myös 0,25 W. Lasketut SAR-arvot ovat myös samanlaisia kuin edellä esitetyt mittaustulokset ja Dimbylowin laskentatulokset. Auton sisällä SAR kasvaa merkittävästi, jos puhelin on pään ja metalliseinän välissä. Suurimman SAR-arvon antanutta käyttötilannetta ei kuitenkaan voida pitää realistisena.

Taulukko 5. Erilaisissa käyttöasennoissa 0,25 W keskimääräisellä lähetysteholla lasketut suurimmat paikalliset SAR:t 10 gramman keskiarvoina.

Käyttöasento ja -paikka	Motorola MTP 850		Sepura STP 8000	
	Mies	Nainen	Mies	Nainen
	SAR _{10g} W/kg	SAR _{10g} W/kg	SAR _{10g} W/kg	SAR _{10g} W/kg
Pään sivulla poskella	0,45	0,58	0,45	0,55
Pään sivulla kallistettuna 15 astetta	0,70	0,88	0,65	0,90
Kasvojen edessä	0,38	0,40	0,33	0,33
Rintataskussa vartalon suuntaisena	0,47	0,49	0,29	0,31
Rintataskussa kallistettuna 15 astetta	0,49	0,50	0,30	0,33
Vyötäröllä vartalon suuntaisena	0,23	0,24	0,23	0,23
Vyötäröllä mahdollisimman paljon kallistettuna	0,45	0,45	0,55	0,58
Auton sisällä keskellä istuinta		0,89		
Auton sisällä pää koskettaa metalliseinää		1,98		

Lämpötilan nousua selvittävät laskennat osoittivat, että 1 W lähetysteholla korvalehti lämpenee eniten, noin yhden asteen. Seuraavaksi eniten lämpenevät (0,7 °C) poski käytettäessä puhelinta poskiasennossa ja rinta käytettäessä puhelinta rintataskussa. Silmät lämpenevät vähemmän kuin 0,3 °C myös silloin, kun puhelinta käytetään kasvojen edessä. Samanlaisen tuloksen silmien lämpenemisestä sai Wainwright (2007), joka määrittä tietokonelaskennalla silmän lämpötilan nousuksi 1 W teholla 0,33 °C, kun taajuudella 380 MHz toimivan Virve-puhelimen monopoli antenni oli hieman lähempänä eli 24 mm etäisyydellä silmästä. Puhelin lämmittää eniten antennin lähellä olevia kudoksia ja pintakudoksia. Siten syvemmällä sijaitsevat aivojen osat lämpenevät vähemmän, esimerkiksi hippokampus 0,15 °C ja hypothalamus alle 0,01 °C. Voidaan todeta, että 1 W lähetysteholla kudosten lämpeneminen on niin vähäistä, ettei siitä ole terveydellistä haittaa.

Saksalaisessa tutkimuksessa simuloitiin myös ajoneuvon katolla säteilevän antennin aiheuttamaa altistumista. Auton sisällä 1 W lähetysteholla laskettu suurimman 10 g SAR:n keskiarvo oli alle 0,002 W/kg ja ulkopuolella auton vieressä antennin lähellä 0,073 W/kg. Ulkoisen antennin aiheuttama altistuminen ei siten ylitä 10 W lähetysteholakaan väestön enimmäisarvoa 2 W/kg ajoneuvon sisällä eikä ulkona auton vieressä.

4.6.2 Tutkimustuloksia VIRVE-puhelimien mahdollisista terveysvaikutuksista

VIRVE-puhelimien aiheuttaman pulssimaisen sm-kentän pulssitaajuus on 17,64 Hz. Useissa 1970–1990-luvuilla tehdyissä solututkimuksissa havaittiin 16 Hz taajuudella amplitudimoduloitujen sm-kenttien lisäävän kalsium-ionien virtausta soluissa (IEGMP 2000). Ilmiötä ei ole saatu vahvistettua myöhäisemmällä tutkimuksilla, sille ei ole järkevää tunnettua mekanismia eikä tiedetä, millaisia terveydellisiä vaikutuksia ilmiöllä olisi. Viime vuosina VIRVE-puhelimien aiheuttamien sm-kenttien vaikutuksia terveyteen on selvitetty muutamassa tutkimuksessa.

Riggervold ym. (2010) tutkivat VIRVE-puhelimen sm-kentän vaikutusta puhelimen käyttäjän havaintokykyyn. Tutkimuksessa altistettiin 53 vapaaehtoista miespuolista koehenkilöä 45 minuutin ajan. Paikallinen suurin SAR 10 gramman keskiarvona oli 2 W/kg tai 0 W/kg (valealtistus).

Altistuksen aikana koehenkilö suoritti havaintokykyä testaavia tehtäviä. Tutkimuksen tulokset osoittivat, että lyhytaikainen altistuminen VIRVE-puhelimen sm-kentälle ei vaikuttanut käyttäjän havaintokykyyn eikä aiheuttanut oireita.

Nieto-Hernandez ym. (2011) selvittivät tutkimuksessaan, aiheuttaako VIRVE-puhelimen kaltainen pulssimainen radiotaajuinen sm-kenttä käyttäjiin oireita, kuten päänsärkyä, pahoinvointia ja iho-oireita, joita jotkut VIRVE-puhelimien käyttäjät ovat ilmoittaneet kokeneensa. Kaksoissokkotutkimuksessa altistettiin 60 oireilevaa ja 60 oireilematonta käyttäjää 50 minuutin ajan kerrallaan kolmelle eri olosuhteelle. Ensimmäisessä altistettiin 385,25 MHz taajuiselle signaalille, jossa oli 16 Hz komponentti, toisessa jatkuvalla sinimuotoisella 385,25 MHz taajuiselle signaalille, ja kolmannessa ei ollut radiotaajuista signaalia (valealtistus). Keskimääräinen teho oli kahdessa ensimmäisessä altistuksessa sama arvioitun keskimääräisen SAR:n ollessa 1,3 W/kg ($\pm 30\%$) 10 grammaa kohti. Tulokset eivät osoittaneet VIRVE-puhelimen sm-kentän vaikuttavan oireiluun.

Sauter ym. (2015) tutkivat, onko VIRVE-puhelimen sm-kentällä akuutteja vaikutuksia käyttäjien havaintokykyyn ja hyvinvointiin. He altistivat kaksoissokkotutkimuksessa 30 tervettä miestä 2,5 tuntia VIRVE-puhelimen sm-kentälle taajuudella 385 MHz. Kokeessa käytettiin kolmea altistustasoa, joissa suurimmat SAR:t 10 gramman keskiarvoina olivat 6,0 W/kg, 1,5 W/kg ja 0 W/kg (valealtistus). Tutkimustulosten mukaan lyhytaikainen altistuminen VIRVE-puhelimen sm-kentälle ei vaikuttanut haitallisesti havaintokykyyn tai hyvinvointiin.

Eggert ym. (2015) tutkivat VIRVE-puhelimen aiheuttaman altistumisen vaikutuksia keskushermostoon. He altistivat kaksoissokkotutkimuksessa 30 nuorta tervettä miestä VIRVE-puhelimen sm-kentälle taajuudella 385 MHz. Kokeessa käytettiin samanlaista kolmea altistustasoa kuin edellä kuvatussa Sauterin ym. tutkimuksessa. Tulokset eivät osoittaneet altistuksen muuttavan aivotointoja siten, että se ilmenisi käytöksessä tai fysiologisella tasolla.

Yhteenvetona VIRVE-puhelimien aiheuttaman altistumisen terveysvaikutuksia selvittäneistä tutkimuksista voidaan todeta, että niissä ei ole ilmennyt käyttäjille haitallisia vaikutuksia. VIRVE-

puhelimien käytön mahdollisia terveysvaikutuksia selvitetään parhaillaan Britanniassa tehtävässä laajassa tutkimuksessa (Elliot ym. 2014), josta on odotettavissa tuloksia lähivuosina.

4.6.3 Radiopuhelimien aiheuttama altistuminen

Radiopuhelimien käyttäjän kehoon aiheuttamasta SAR:sta on hyvin vähän tutkimusjulkaisuja. SAR-laskelmat ja -mittaukset ovat keskittyneet matkapuhelimiin ja niiden taajuusalueille. Alle 300 MHz taajuuksilla ei ole vakiintuneita SAR-mittausmenetelmiäkään.

Koyanagi ym. (2004) ovat määrittäneet taajuudella 150 MHz toimivan radiopuhelimen aiheuttaman paikallisen SAR:n vatsan alueella. He käyttivät sylinterimäistä homogeenista kokokehofantomia ja mittasivat infrapunakameralla radiopuhelimen sm-kentän aiheuttaman lämpötilan nousun. SAR laskettiin mitatusta lämpötilan noususta ja fantominesteen ominaislämpökapasiteetista. Lisäksi mittausasetelma mallinnettiin ja SAR laskettiin tietokoneella käyttämällä FDTD-menetelmää.

Mittaus- ja laskentatulokset vastasivat hyvin toisiaan. Johtopäätöksenä Koyanagi ym. totesivat, että 6 cm etäisyydellä kehosta 5 W teholla säteilleen radiopuhelimen aiheuttama paikallinen SAR oli alle 5 W/kg, vaikka antenni olisi täysin sovitettu. Todellisuudessa antennin epäsovitus pienentää säteilytehoa ja SAR:a. Tämän tutkimuksen perusteella 150 MHz taajuusalueella toimivien radiopuhelimien aiheuttama paikallinen SAR ei näyttäisi ylittävän työntekijöiden raja-arvoa 10 W/kg, jos antenni ei ole aivan kehossa kiinni. Sama pätee myös taajuusalueella 30–50 MHz, koska siellä radioaallot imeytyvät vielä heikommin kehoon. Tämän varmistaminen vaatisi ainakin realistisilla ihmiskehon numeerisilla malleilla suoritettavia SAR-laskelmia.

4.6.4 PMR446-puhelimien aiheuttama altistuminen

STUK ja Ruotsin vastaava viranomainen SSM tutkivat itkuhälyttimien aiheuttamaa altistumista vuonna 2008. STUKissa mitattiin neljän itkuhälyttimen SAR. Suurin mitattu PMR446-tyyppisen itkuhälyttimen SAR-arvo oli 0,36 W/kg.

Vermeeren ym. (2015) mittasivat neljän kaupallisen PMR446-puhelinmallin säteilytehon (ERP)

ja SAR:n. Lisäksi he valmistivat yhtä mallia jäljittelevän pelkistetyn puhelimen, joka koostui maatasosta ja siihen asennetusta helix-antennista. Antenniin syötettiin tehoa signaaligeneraattorista ja vahvistimesta. Pelkistetty puhelin mallinnettiin ja sen aiheuttamat lähikentät ja säteilyteho ERP laskettiin SEMCAD-X-ohjelmistolla. Kaupallisille puhelinmalleille mitatut suurimmat ERP:t olivat välillä 51–138 mW, jotka ovat selvästi pienempiä kuin standardin sallima 500 mW. Kaupallisille puhelimille 100 % toimintasuhteella mitatut SAR:t (10 g keskiarvoina) olivat välillä 0,25–0,35 W/kg, kun puhelimet olivat kiinni tasofantomissa. Pelkistetylle puhelimelle 100 % toimintasuhteella mitattu SAR oli 1,1 W/kg ja laskettu SAR 1,05 W/kg, kun puhelin kosketti tasofantomia ja sen ERP oli standardin sallima 500 mW.

Näiden tutkimusten perusteella PMR446-puhelimen aiheuttama SAR on selvästi pienempi kuin väestön altistumisen enimmäisarvo 2 W/kg.

4.6.5 RFID-laitteiden aiheuttama altistuminen

RFID-laitteiden aiheuttamaa altistumista on tutkittu suhteellisen vähän. Fiocchi ym. (2013) määrittivät laskennallisesti UHF-RFID-lukijan aiheuttaman paikallisen SAR:n aikuisella, lapsella, raskaana olevalla ja sikiöllä. Lukijan antenni oli lähimmillään 10 cm etäisyydellä päästä tai vatsasta. Lukijan toimintasuhde oli 100 %, jolloin sen keskimääräinen teho oli sama kuin huipputeho eli 1 W. Lähetystaajuus oli noin 869 MHz.

Antennin ollessa pään lähellä suurimmat paikallisen SAR:n arvot olivat aikuisen miehen pään iholla noin 0,8 W/kg. Antennin ollessa vatsan lähellä vatsan ihon suurin paikallinen SAR oli aikuisella naisella noin 2 W/kg, seitsemännellä kuulla raskaana olevalla naisella noin 3,3 W/kg ja yhdeksänkuukautisella sikiöllä noin 2 W/kg. Lasketut SAR-arvot pienenevät nopeasti etäisyyden kasvaessa. Seitsemännellä kuulla raskaana olevan naisen vatsan iholla paikallinen SAR oli etäisyydellä 20 cm noin 1,2 W/kg ja etäisyydellä 50 cm noin 0,3 W/kg.

RFID-lukijan aiheuttama altistuminen voi siten epärealistisessa pahimmassa tapauksessa ylittää väestön altistumisen enimmäisarvon 2 W/kg. Todellisessa käyttötilanteessa toimintasuhde on paljon pienempi kuin 100 %, jolloin keskimääräinen teho on paljon pienempi kuin 1 W. Lisäksi lukijan antennia ei ainakaan tarkoituksellisesti

pidetä minuitteja kiinni vatsassa tai muussa kehon osassa.

Markakis ym. (2013) määrittivät laskennallisesti RFID-lukijan aiheuttaman paikallisen SAR:n (10 g keskiarvon) 6-, 11- ja 14-vuotiaalla lapsella, normaali- ja ylipainoisella miehellä sekä kolmannella, seitsemännellä ja yhdeksännellä kuukaudella raskaana olevalla naisella. Lukijan huipputeho oli 1 W. Neliömäisen (114 mm x 114 mm) antennin vahvistus oli 7,55 dBi taajuudella 900 MHz. SAR laskettiin antennin ollessa 10 mm tai 100 mm etäisyydellä kehosta pään tai lantion alueella. Etäisyydellä 10 mm suurin laskettu paikallinen SAR oli lantion alueella 6,1 W/kg 6-vuotiaalla lapsella ja 5,0 W/kg normaalipainoisella miehellä. Etäisyydellä 100 mm vastaavat arvot olivat 2,1 W/kg 6-vuotiaalla lapsella ja 1,5 W/kg normaalipainoisella miehellä.

Laskentatulosten perusteella työntekijöiden raja-arvo 10 W/kg ei ylity missään tilanteessa ja väestön enimmäisarvokin ylittyy vain epärealistisissa tilanteissa, joissa antenni on enintään 10 mm etäisyydellä kehosta ja laite lähettää jatkuvasti huipputehollaan. Kun RFID-lukijaa käytetään asianmukaisesti, väestön enimmäisarvotkaan eivät ylity.

Varashälytintportit ovat kaupoissa kassojen lähellä, joten kassatyöntekijät altistuvat niiden hajasäteilylle. Porttien aiheuttamat magneettikentät pienenevät kuitenkin nopeasti kauemmaksi mentäessä eikä altistuminen ylitä kassalla väestönkään enimmäisarvoja. Työntekijöiden magneettivuon tiheyden toimenpidetaso saattaa ylittyä aivan portin lähetinkelan vieressä, mutta altistumisen raja-arvo ei todennäköisesti ylity (Roivainen ym. 2014), (Joseph ym. 2012).

4.7 Radiolaitteiden aiheuttaman altistumisen arviointi

Suurimmat lähetystehot ovat luvanvaraisilla radiopuhelimilla. Matalimmilla taajuuksilla 30–50 MHz lähetysteho on 6 W ja korkeimmilla taajuuksillakin aina 470 MHz asti vielä 4 W. Korkeimmilla taajuuksilla radioaallot vaimenevat kudoksiin tunkeutuessaan huomattavasti nopeammin kuin matalimmilla taajuuksilla, joten niillä paikallinen SAR on suurempi, vaikka lähetysteho on kolmasosan pienempi.

Luvanvaraisille radiopuhelimille ei ole kirjallisuudessa julkaistuja SAR-arvoja korkeimmil-

la käyttötaajuuksilla. Niiden aiheuttamaa paikallista SAR:a voidaan arvioida skaalaamalla VIRVE-puhelimen SAR-arvoja. Taulukossa 4 on esitetty 0,25 W lähetysteholla laskettuja VIRVE-puhelimen SAR-arvoja. Kasvojen edessä käytettäessä suurin laskettu SAR-arvo oli 0,4 W/kg. Skaalaamalla lähetystehoon 4 W saadaan SAR-arvoksi 6,4 W/kg. Tämä on vielä alle työntekijöiden raja-arvon 10 W/kg. Jos radiopuhelimeen puhutaisiin sen ollessa korvalla ja kallistettuna siten, että antenni lähes koskettaa päätä, SAR-arvo voisi olla 14,4 W/kg. Radiopuhelimen aiheuttama altistuminen ylittäisi silloin myös työntekijöiden raja-arvon. Radiopuhelimeen ei kuitenkaan puhuta tällä tavalla, vaan sitä pidetään yleensä muutaman senttimetrin etäisyydellä kasvojen edessä. Lisäksi siihen ei yleensä puhuta yhtäjaksoisesti kuutta minuuttia. Siten SAR-arvo kuuden minuutin ajan keskiarvona jää alle 10 W/kg, vaikka se lyhytaikaisesti ylittäisikin sen.

Luvanvaraisia radiopuhelimia käytetään yleensä matalammilla taajuuksilla paremman yhteyden saamiseksi hankalissa olosuhteissa, joissa matkapuhelimet eivät toimi heikon tukiasemayhteyden vuoksi eivätkä PMR446-puhelimet toimi korkeamman taajuuden vuoksi. Matalammilla taajuuksilla radioaallot imeytyvät heikommin kudoksiin ja paikallinen SAR on merkittävästi pienempi suuremmasta lähetystehosta huolimatta.

Luvasta vapautettujen PMR446-puhelimien lähetysteho on korkeintaan 0,5 W ja siten niiden aiheuttama altistuminen on selvästi alle väestön enimmäisarvon 2 W/kg. Muut luvasta vapautetut puhelimet ovat suuritehoisempia (4 W ja 5 W), mutta alhaisen taajuuden (noin 27 MHz) vuoksi radioaallot imeytyvät heikommin kudoksiin. Näitä puhelimia käytetään kasvojen edessä, jolloin puhelin on kauempana kehosta ja altistuminen jää alle väestön enimmäisarvon 2 W/kg.

Toimittajan työssä käytettävät 3 W lähettimet voivat korkeimmilla taajuuksilla (800 MHz tienoilla) altistaa yhtä paljon kuin radiopuhelimet. Altistuminen riippuu kuitenkin voimakkaasti lähettimen antennin ja kehon välisestä etäisyydestä. Toimittajan työssä lähettimen antenni on todennäköisesti kauempana kehosta kuin radiopuhelimen antenni.

RFID-laitteiden ja EAS-laitteiden aiheuttama altistuminen alittaa väestön altistumisen enimmäisarvot, kun niitä käytetään asianmukaisesti

siten, että laitteiden säteilevä osa ei ole kehossa kiinni.

Työssä käytettävien radiolaitteiden kartoituksen ja kirjallisuudesta saatujen altistumismäärittelysten perusteella suurimman altistumisen aiheuttavat radiopuhelimet ja VIRVE-puhelimet sekä toimittajan työssä kehon lähellä käytettävät radiolaitteet. Näille laitteille katsottiin tarpeelliseksi tehdä SAR-mittaukset niillä taajuuksilla, joilla se oli mahdollista STUKin mittauslaitteistolla eli noin 400 MHz korkeammilla taajuuksilla.

Luvanvaraisia radiopuhelimia ei tämän projektin puitteissa saatu mitattavaksi, eikä STUKin laitteistolla voida mitata SAR:a niiden tyypillisessä käyttöasennossa kasvojen edessä. Siten SAR-mittaukset rajoittuivat kahteen VIRVE-puhelinmalliin. Lisäksi mitattiin sähkö- ja magneettikentän voimakkuuksia RFID-laitteiden antennien läheisyydestä. Näillä mittauksilla selvitettiin, millä etäisyydellä ylittyvät väestön enimmäisarvot ja työntekijöiden toimenpidetasot.

5 Altistumisen määrittämismittaukset

5.1 VIRVE-puhelimien SAR-mittaukset

5.1.1 SAR-mittausmenetelmä

VIRVE-puhelimien SAR-mittauksiin käytettiin STUKin DASY5-mittauslaitteistoa, jota esittää kuva 6. Keskeisin osa on fantomi, joka koostuu ohuesta jäykästä muovista valmistetusta altaasta, joka on täytetty aivojen sähköisiä ominaisuuksia jäljittelevällä nesteellä. Altaan päädyt ovat ihmisen pään oikean ja vasemman puoliskon muotoisia. Altaan keskiosa on tasainen vastaten ihmiskehon keskiosaa. Mitattava puhelin asetetaan fantomin korvaa vasten standardissa IEC 62209-1 määritettyyn kahteen asentoon. Poskiasennossa puhelin koskettaa fantomin poskea ja korvaa. Kallistusasennossa puhelinta kallistetaan poskelta pois päin 15 astetta siten, että kuulokkeen puoleinen osa edelleen koskettaa korvaa. Asettelussa käytetään tähän tarkoitukseen valmistettua asentinta, joka näkyy fantomin pään alapuolella kuvassa 6. Kun puhelin on mittausasennossa, se kytketään lähettämään jatkuvasti maksimitehollaan. Tasaiselle osalle puhelin asetettiin kiinni fantomiin näppäimet joko fantomiin päin tai fantomista pois päin.

Fantomien nesteeseen syntyvää sähkökentän jakaumaa mitataan pienikokoisella sähkökentän mittapäällä, jota liikuttaa automaattisesti tietokoneohjattu robotti. Mittauspisteen paikka ja siitä mitattu sähkökentän voimakkuus tallentuvat mittaustiedostoon. Sähkökentän jakauma kartoitetaan kahdessa vaiheessa. Ensin tehdään karkea kartoitus, jonka määrittelemän sähkökentän maksimin kohdalta tehdään toinen hienojakoisempi kartoitus. Mittaustiedostoon tallennetut arvot käsitellään tietokoneohjelmalla, joka laskee lopputulokseksi nesteeseen syntyvän suurimman ominaisabsorptionopeuden eli SAR:n keskiarvona 10 g massaisesta kuutiosta. Tällaisen kuution sivun

pituus on noin 2,2 cm. Tällainen mittaus tehdään kahdessa puhelimen asennossa fantomin kummassakin päässä puhelimen alimmalla, keskimäisellä ja ylimmällä lähetystaajuudella. Lisäksi mittaus suoritetaan fantomin tasaisella osalla puhelimen näppäinten ollessa fantomia vasten tai fantomista pois päin. Standardin IEC 62209-1 mukaan SAR-mittausympäristön lämpötila voi olla välillä 18–25 °C, mutta fantomineen lämpötila ei mittausten aikana saa muuttua enempää kuin ± 2 °C. Suurempi lämpötilan vaihtelu aiheuttaisi lisää epävarmuutta mittaustuloksiin fantomineen ominaisuuksien muutoksen vuoksi.



Kuva 6. STUKin DASY5-mittauslaitteisto. (Kuva: Lauri Puranen, STUK.)

5.1.2 Fantomi

Fantomi on standardin IEC 62209-1 vaatimusten mukainen. Dosimetristen tutkimusten mukaan paikallinen SAR kasvaa pään koon kasvaessa. Siten fantomin pään koko on valittu sellaiseksi, että yli 90 %:lla ihmisistä on sitä pienempi pää. Muovikuoren suhteellinen permittiivisyys on alle 5 ja häviötangentti pienempi kuin 0,05. Kuoren paksuus on $2 \pm 0,2$ mm korvaa lukuun ottamatta.

Fantomi on täytetty aivojen sähköisiä ominaisuuksia jäljittelevällä nesteellä (aivoneste). Se on valmistettu yllä mainitun standardin ohjeen mukaisesti vedestä, sokerista ja suolasta. Suhteellisen permittiivisyyden tavoitearvo on 43,5 ja johtavuuden 0,87 S/m taajuudella 450 MHz. Vastaavat arvot ovat 45,3 ja 0,87 S/m taajuudella 300 MHz. Interpoloimalla saadaan suhteelliseksi permittiivisyyden tavoitearvoksi 44,3 VIRVE-puhelimen lähetystaajuuskaistan keskitajuudella 385 MHz. Dosimetrisilla tutkimuksilla on todettu, että paikallinen SAR tällaisessa homogeenisessä nesteessä on suurempi kuin realistisessa erilaisista kudoksista koostuvassa päässä. Lämpötilassa 22 °C mitatut aivonesteen suhteellinen permittiivisyys ja johtavuus esitetään taulukossa 6. Suhteellinen permittiivisyys poikkeaa enimmillään +3,4 % ja johtavuus -4,6 % tavoitearvoista, eli poikkeamat ovat standardin sallimissa rajoissa ± 5 %.

Taulukko 6. Aivonesteen mitattu suhteellinen permittiivisyys ja johtavuus 22 °C lämpötilassa.

Taajuus MHz	Suhteellinen permittiivisyys	Johtavuus S/m
380	45,8	0,83
385	45,7	0,83
390	45,5	0,84

5.1.3 VIRVE-puhelimen signaali

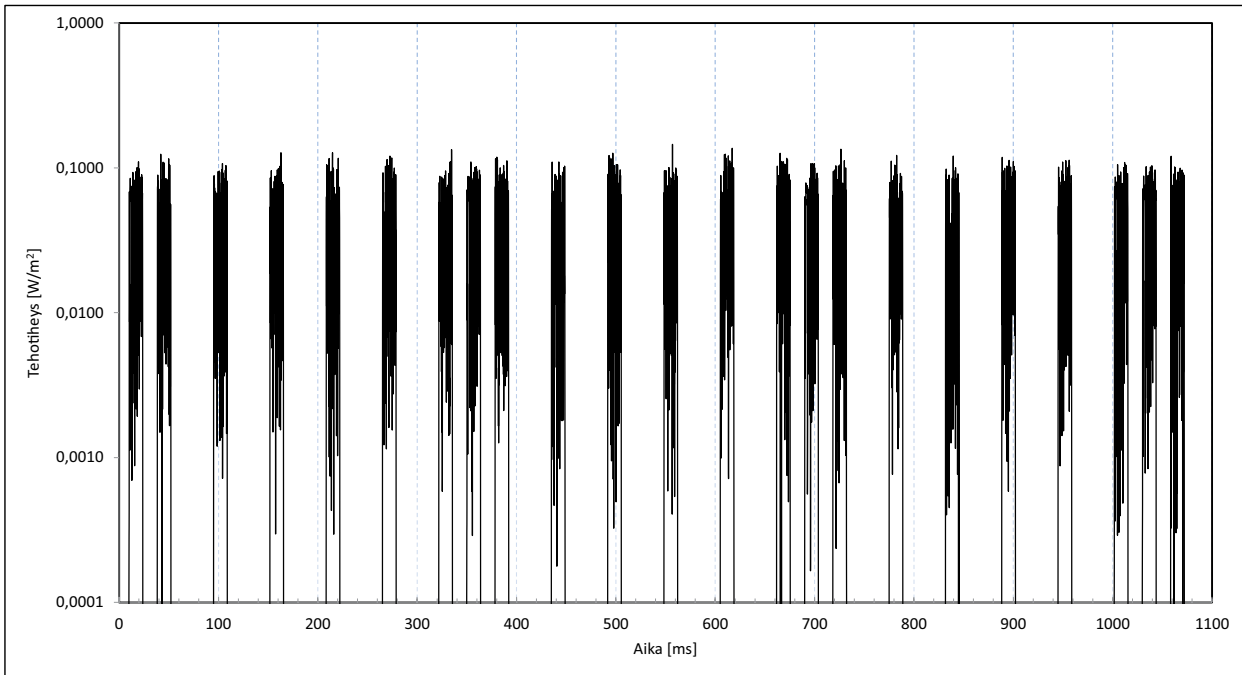
VIRVE-puhelimen suorakanavatoiminnossa lähetämä signaali mitattiin selektiivisellä radiotaajuksen säteilyn mittarilla Narda SRM-3006. Kuvassa 7 esitetään noin 1,1 s pituiselta eli noin monikehyksen kestoajalta mitattu signaali. Pulssisarja on muuten samanlainen kuin kuvassa 2, mutta amplitudi ei ole pulssin aikana vakio, vaan vaihtelee huomattavasti, kuten voidaan havaita pulssia esittävästä kuvasta 8. Kyseisen pulssin aikana huipputehon suhde keskimääräiseen tehoon on noin 3,6 eli noin 5,5 dB.

5.1.4 SAR-mittaustulokset

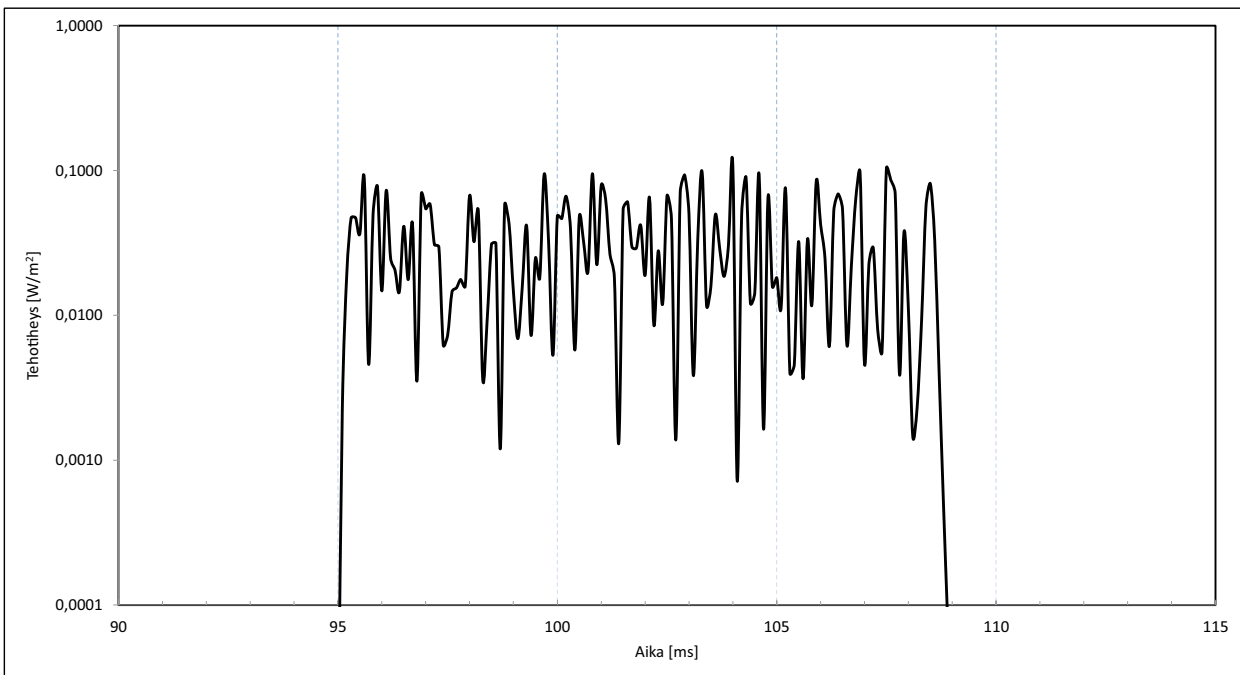
Airbus Defence and Space Oy Jyväskylästä toimitti STUKille SAR-mittauksiin kaksi VIRVE-puhelinmallia, joita esittää kuva 9. Vasemmanpuoleinen puhelin on malli AIRBUS THR880i (RC-10), ja oikeanpuoleinen on malli AIRBUS TH1n (RC-36). Puhelimien aiheuttamat SAR:t mitattiin taajuuksilla 380, 385 ja 390 MHz puhelimien lähettäessä maksimiteholla suorakanavatoiminnossa. Puhelimet asetettiin standardin mukaisesti poski- ja kallistusasettoon fantomin oikealle ja vasemmalle korvalle. Lisäksi SAR mitattiin puhelimien ollessa fantomin tasaisella osalla kiinni fantomissa näppäinpuoli fantomiin päin tai fantomista pois päin. Nämä mittausasetelmat vastaavat altistumista silloin, kun puhelin on rintataskussa tai vyötäröllä. Puhelimien pulssiomainen signaali huomioitiin käyttämällä DASY5-järjestelmässä määriteltäviä TETRA-parametrejä. Mittauksissa määritettiin puhelimen aiheuttama suurin SAR keskiarvona 10 g kokoisessa kuutiomaisessa nestetilavuudessa. Tulokset esitetään taulukossa 7.

THR880i-mallin suurimmaksi SAR:ksi mitattiin 0,37 W/kg poskiasennossa vasemmalla korvalla alimmalla ja keskitajuudella. SAR-jakaumaa fantomissa esittää kuva 10. Oikealla korvalla mitatut SAR:t olivat molemmissa asennoissa pienempiä kuin vasemmalla korvalla mitatut. Kallistusasetuksessa SAR oli pienempi kuin poskiasennossa kummallakin korvalla. Fantomin tasaisella osalla mitattu SAR oli pienempi, kun puhelimen näppäimistö oli fantomista pois päin.

TH1n-mallin suurimmaksi SAR:ksi mitattiin 0,83 W/kg poskiasennossa vasemmalla korvalla alimmalla taajuudella. SAR-jakauma fantomissa esitetään kuvassa 11. Vasemmalla korvalla SAR oli kallistusasetuksessa pienempi kuin poskiasennossa kaikilla taajuuksilla. Oikealla korvalla SAR oli kallistusasetuksessa suurempi kuin poskiasennossa alimmalla ja ylimmällä taajuudella mutta pienempi kuin poskiasennossa keskitajuudella. Tälläkin puhelimella fantomin tasaisella osalla mitattu SAR oli pienempi, kun puhelimen näppäimistö oli fantomista pois päin.



Kuva 7. VIRVE-puhelimen suorakanavatoiminnon monikehyksessä lähettämä signaali.



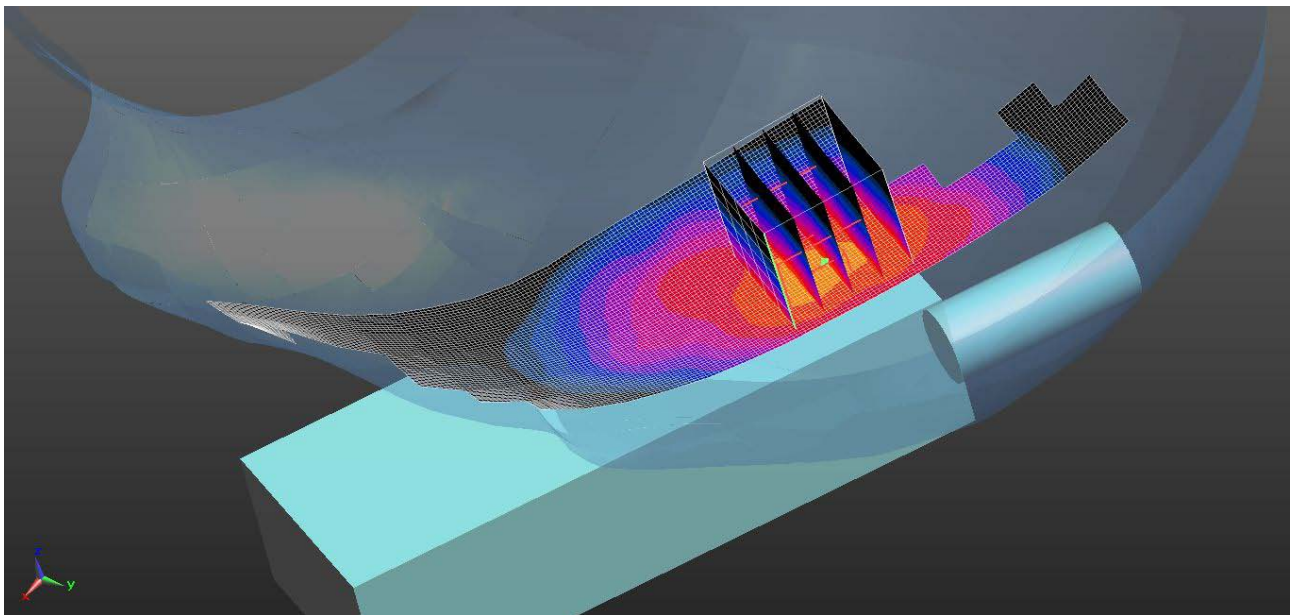
Kuva 8. VIRVE-puhelimen pulssin aikainen tehon vaihtelu.



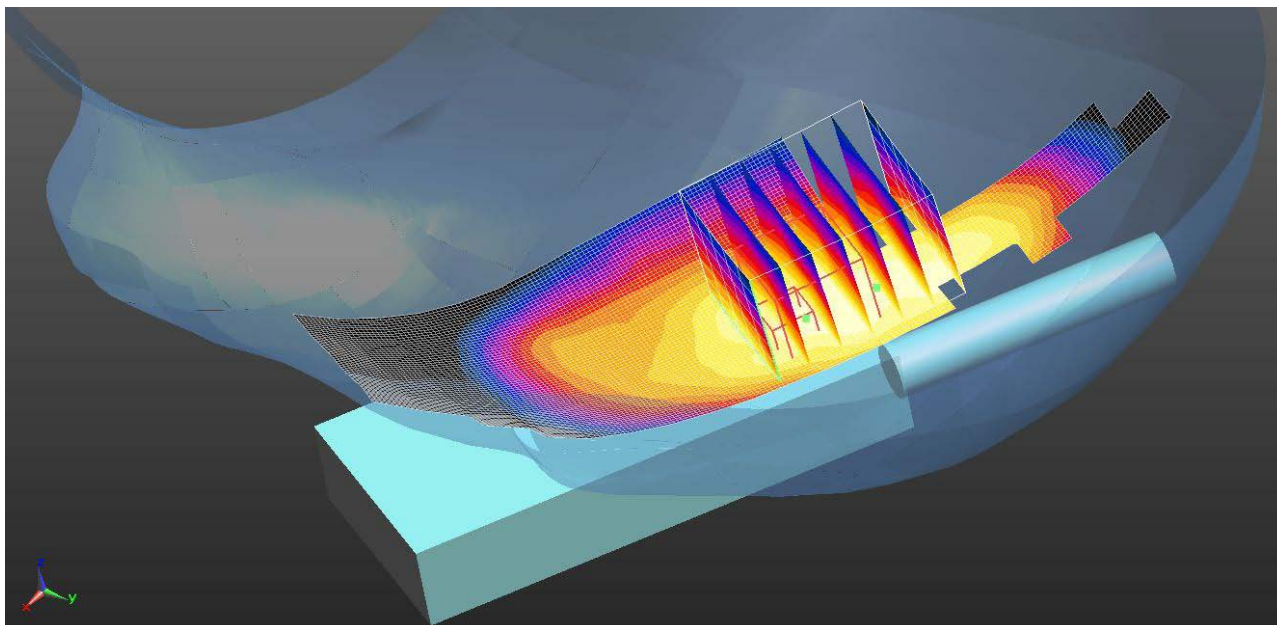
Kuva 9. Mitatut VIRVE-puhelinmallit: THR880i vasemmalla ja TH1n oikealla. (Kuva: Airbus Defence and Space Oy.)

Taulukko 7. VIRVE-puhelimien SAR-mittausten tulokset 10 g keskiarvoina.

Mittaustilanne	THR880i			TH1n		
	Taajuus 380 MHz	Taajuus 385 MHz	Taajuus 390 MHz	Taajuus 380 MHz	Taajuus 385 MHz	Taajuus 390 MHz
Vasen, poski	0,37	0,37	0,33	0,83	0,79	0,79
Vasen, kallistus	-	0,30	-	-	0,63	-
Oikea, poski	0,31	0,31	0,24	-	0,75	-
Oikea, kallistus	-	0,24	-	0,80	0,72	0,74
Keho, näppäimet fantomia vasten	0,32	0,32	0,32	0,50	0,46	0,46
Keho, näppäimet fantomista pois päin	0,27	0,23	0,20	0,34	0,32	0,33



Kuva 10. VIRVE-puhelinmallille THR880i mitattu SAR-jakauma fantomissa suurimman SAR:n aiheuttavassa tilanteessa.



Kuva 11. VIRVE-puhelinmallille TH1n mitattu SAR-jakauma fantomissa suurimman SAR:n aiheuttavassa tilanteessa.

5.1.5 SAR-mittausten epävarmuus

SAR-mittausten epävarmuus riippuu monesta tekijästä, jotka voidaan ryhmitellä mittaajärjestelmästä, fantomista ja mitattavasta laitteesta johtuviin tekijöihin. Mittausjärjestelmän keskeisiä epävarmuustekijöitä ovat SAR-mittapään kalibrointi, lineaarisuus ja isotrooppisuus sekä asettelu, mittaajärjestelmän vaste- ja integrointi-aika varsinkin moduloituja signaaleja mitattaessa. Lisäksi epävarmuuteen vaikuttavat mittaukset rajapintojen (neste ja muovi) läheisyydessä ja mittaustulosten jälkikäsitteily. Fantomin oleellisia epävarmuustekijöitä ovat nesteen ominaisuudet ja fantomin muoto sekä kuoren paksuus. Mitattavan laitteen asettelu ja lähetystehon vaihtelu vaikuttavat myös mittauksen epävarmuuteen.

STUKin DASY5-mittauslaitteistolla 10 g keskiarvona tehtyjen SAR-mittausten epävarmuus 95 % luottamusvälillä on $\pm 21,5$ % standardin IEC 62209-1 mukaisesti arvioituna. Merkittävimpiä yksittäisiä epävarmuustekijöitä ovat mittapään kalibrointi, isotrooppisuus ja lineaarisuus sekä mitattavan laitteen asettelu ja lähetystehon vaihtelu.

5.1.6 SAR-mittaustulosten tarkastelua

VIRVE-puhelimissa on ulkoinen antenni, ja suurin SAR syntyy antennin tyven läheisyyteen.

Molemmilla mitatuilla puhelinmalleilla antennin tyvi tulee lähemmäksi päätä vasemmalla korvalla aiheuttaen suurimmat SAR:t. TH1n-malli on ohuempi kuin THR880i, jolloin sen antenni tulee lähemmäksi päätä ja kehoa, minkä vuoksi TH1n-mallin SAR on selvästi suurempi kuin THR880i-mallin. Mitattujen SAR-arvojen vaihteluväli on samanlainen kuin taulukossa 5 esitettyjen saksalaisen tutkimuksen tulosten vaihtelu. Myös saksalaisessa tutkimuksessa SAR oli pienempi kehon lähellä kuin pään lähellä. VIRVE-puhelinmallien, kuten myös matkapuhelinmallien, erilaiset SAR:t johtuvat pääasiassa mallien erilaisista rakenteista. VIRVE-puhelimissa on ulkoinen antenni, jolloin SAR-maksimi on kuulokeosassa antennin tyven läheisyydessä. Matkapuhelimissa on taas koteloon integroitu antenni, jolloin SAR-maksimi voi olla missä tahansa kotelon alueella.

VIRVE-puhelimille määritetyt SAR:t ovat julkaistujen tutkimusten mukaan välillä 0,2–0,9 W/kg, kun puhelimen huipputeho on 1 W. Siten ne ovat pienempiä kuin matkapuhelimille määritetyt SAR:t, jotka vaihtelevat välillä 0,2–1,6 W/kg. Tällaiset VIRVE-puhelimet altistavat siten käyttäjänsä korkeintaan saman verran kuin matkapuhelimet maksimiteholla. Jos 3 W VIRVE-puhelimia käytetään käsipuhelimita, saattaa väestön altistu-

misen enimmäisarvo 2 W/kg hieman ylittyä maksimiteholla, mutta työntekijöiden raja-arvo 10 W/kg ei ylity.

5.2 RFID-laitteiden aiheuttaman sähkö- ja magneettikentän mittaukset

5.2.1 Sähkö- ja magneettikentän mittausten menetelmä

Sähkö- ja magneettikentän voimakkuudet mitattiin laajakaistaisella radiotaajuisen säteilyn mittarilla Narda NBM-550. Alle 300 MHz taajuuksilla sähkökentän mittaukseen käytettiin isotrooppista laajakaistaista sähkökentän mittapäätä EF 0392 ja magneettikentän mittaukseen isotrooppista magneettikentän mittapäätä HF 3061. Korkeammilla taajuuksilla käytettiin isotrooppista laajakaistaista sähkökentän mittapäätä EF 5091.

Sähkömagneettisen kentän spektriä mitattiin selektiivisellä radiotaajuisen säteilyn mittarilla Narda SRM-3006, jossa käytettiin kolmiakselista mittaustantennia 3501/03. Selektiivisellä mittarilla voitiin määrittää mittauspisteissä myös kokonaisaltistuminen samanaikaisille ja eritaajuisille sähkömagneettisille kentille. Mittaukset tehtiin sisällä noin + 20 °C lämpötilassa.

Valmistaja on kalibroinut laajakaistaisen NBM-550-mittarin, sen sähkökentän ja magneettikentän mittapään vuonna 2014 sekä selektiivisen SRM-3006-mittarin mittaustantenneineen vuonna 2015.

Sähkö- ja magneettikentän voimakkuuden mittausten arvioitu epävarmuus 95 % luottamustasolla on ± 30 %.

5.2.2 Sähkö- ja magneettikentän mittaustulokset

Taajuudella 13,56 MHz toimivan käsilukijan aiheuttaman magneettikentän voimakkuus ylitti väestön enimmäisarvon 0,073 A/m (2 W/m² ekvivalenttinen tehotiheytenä) puolen metrin etäisyydellä lukijasta. Koska magneettikenttä oli hyvin epätasainen ja pieni nopeasti etäisyyden kasvaessa, väestön enimmäisarvo ei ylittynyt koko kehon alalta määritettynä keskiarvona. Lukija synnytti lyhytaikaisen magneettikentän, joten sen tehollisarvo määritettynä kuuden minuutin ajalta oli merkittävästi huippuarvoa pienempi.

Porttiin asennettujen RFID-lukijoiden aiheuttamaksi sähkökentän voimakkuudeksi mitattiin 20 cm etäisyydellä antennista 31 V/m (2,5 W/m² ekvivalenttinen tehotiheytenä). Portin keskellä kaikkien neljän antennin aiheuttamaksi altistumiseksi määritettiin 10 % väestön altistumisen enimmäisarvoista.

Seinään kiinnitettyyn antenniin syötettiin standardin mukainen maksimiteho. Sähkökentän voimakkuudeksi mitattiin 20 cm etäisyydellä antennista 73 V/m (14 W/m² ekvivalenttinen tehotiheytenä). Väestön enimmäisarvo 40 V/m (4,3 W/m² ekvivalenttinen tehotiheytenä) ylittyi puolen metrin etäisyydellä. Sähkökenttä oli hyvin epätasainen, joten väestön enimmäisarvo ei ylittynyt koko kehon keskiarvona. Työntekijöiden toimenpidetaso 90 V/m (21,5 W/m² ekvivalenttinen tehotiheytenä) ei ylittynyt paikallisestikaan 20 cm etäisyydellä antennista.

Spektrimittauksella todettiin, että RFID-lukija lähetti neljällä eri taajuudella, joiden toimintasuhteet eivät riippuneet toisistaan. Yksittäisellä taajuudella toimintasuhteet saattoi olla yhtäjaksoisesti 100 % muutaman sekunnin ajan.

5.2.3 RFID-laitteiden mittaustulosten tarkastelua

Mittausten perusteella työntekijöiden toimenpidetasot koko kehon alalta eivät ylity minkään RFID-laitteen läheisyydessä, vaikka toimintasuhteet olisivat 100 % eli huipputeho olisi jatkuvasti päällä. Väestön enimmäisarvo voi teoriassa ylittyä DVD-avohyllyn läheisyydessä, mutta se vaatisi pitkäaikaista (yli kuuden minuutin) oleskelua hyllyn välittömässä läheisyydessä. Normaalikäytössä toimintasuhteet ovat paljon pienempiä kuin 100 %, jolloin altistuminen on selvästi alle väestön enimmäisarvojen. Vaikka kaikki samassa huoneessa sijaitsevat RFID-laitteet lähettäisivät samanaikaisesti, kokonaisaltistuminen huoneessa jäisi selvästi alle väestön enimmäisarvojen. Portin keskellä kokonaisaltistuminen on noin 10 % enimmäisarvoista. Väestön enimmäisarvot kentänvoimakkuuksina ylittyvät käytännössä vain antennin ollessa kehossa kiinni. Ylitys on kuitenkin suhteellisen vähäinen eikä kehon sisäinen SAR-arvo todennäköisesti ylitä väestön enimmäisarvoa.

6 Ohjeet altistumisen vähentämiseksi

6.1 Virve-puhelimet

Käsi­puheli­met, joiden suurin huipputeho on 1 W, eivät missään asianmukaisessa käyttötilanteessa altista sm-kentille niin paljon, että väestön altistumisen enimmäisarvot ylittyisivät. Sitä vastoin, jos 3 W VIRVE-puhel­imia käytetään korvalla, väestön altistumisen enimmäisarvo voi ylittyä suurim­mal­la lähety­steholla, mutta työntekijöiden raja-arvo ei tällöinkään ylity. Verkkokanavatoiminnossa käsi­puheli­men käyttö ajoneuvon sisällä altistaa enemmän kuin ulkona, koska ajoneuvon met­allirakenteet heikentävät yhteyttä ja puhelin joutuu käyttämään suurempaa lähety­stehoa. Suorakanavatoiminnossa puhelin lähettää aina maksimitehollaan, jolloin yhteyden laatu ei vaikuta altistumiseen. Puhelin altistaa enemmän suora­kanava- kuin verkkokanavatoiminnossa, mutta suorakanavatoiminnassakin väestön enimmäisarvoja vähemmän, kun huipputeho on 1 W.

Ajoneuvon asennetut 10 W VIRVE-laitteet altistavat auton sisällä istuvia vain muutaman prosent­in väestön altistumisen enimmäisarvoista. Ulkopuo­lella auton vieressä altistuminen alittaa väestön enimmäisarvot yli puolen metrin etäisyydellä antennista.

Altistumisesta VIRVE-puhel­imien sm-kentille ei ole havaittu aiheutuvan terveydellistä haittaa tieteellisesti pätevissä tutkimuksissa.

Altistumistaan VIRVE-puheli­men sm-kentille voi helposti vähentää seuraavilla keinoilla:

- Käytä kuuloke-mikrofoni tai hands free -laitetta ja pidä puhelinta kauempana kehosta ja päästä, kun puhut puhelimeen.
- Käytä ajoneuvon sisällä ajoneuvon asennettua puhelinta ja antennia.
- Ajoneuvon ulkopuo­lella vältä oleskelua puolta metriä lähempänä ajoneuvon antennia, kun puhelinta käytetään.

6.2 Luvanvaraiset radiopuhelimet

Radiopuhelinta käytettäessä väestön altistumisen enimmäisarvo ja lyhytaikaisesti myös työntekijöiden raja-arvo voi ylittyä ylimmillä käyttötaajuuksilla. Radiopuhel­imia käytetään käytännössä alemmilla taajuuksilla paremman yhteyden aikaansaamiseksi. Näillä taajuuksilla radioaallot imeytyvät heikommin kudoksiin ja väestön altistumisen enimmäisarvotkaan eivät todennäköisesti ylity. Altistuminen määritetään keskiarvona kuu­den minuutin ajanjaksoilta, joten puhuttaessa lyhyitä aikoja, esimerkiksi kymmenkunta sekuntia kerrallaan, altistuminen alittaa selvästi myös väestön enimmäisarvot. Altistumistaan voi vähentää samalla tavalla kuin VIRVE-puheli­men tapauksessa eli käyttämällä kuuloke-mikrofoni tai hands free -laitetta ja pitämällä puhelinta kauempana kehosta ja päästä, kun puhelimeen puhutaan.

6.3 Luvasta vapautetut radiopuhelimet

PMR446-puheli­met eivät asianmukaisesti käytet­tyinä altista käyttäjänsä sm-kentille missään tilanteessa niin paljon, että väestön enimmäisarvot ylittyisivät. Säteilyturvallisuu­syistä niiden käyttöä ei tarvitse siten rajoittaa.

Taajuudella 27 mHz toimivat LA-, CB- ja PR-27-puheli­met eivät myöskään aiheuta väestön enimmäisarvoa ylittävää altistumista, kun niitä käytetään muutaman senttimetrin etäisyydellä kehosta.

6.4 RFID-laitteet

Asianmukaisessa käytössä RFID-laitteiden aiheut­ama altistuminen alittaa väestön enimmäisarvot. Altistumistaan niiden aiheuttamille sm-kentille voi vähentää seuraavasti:

- Vältä oleskelua puolta metriä lähempänä RFID-lukijaportteja.
- Käsi­käyttöistä RFID-lukijaa käyttäessäsi suun­taa se pois­päin kehosta.

6.5 Toimittajan työssä käytettävät radiolaitteet

Pienitehoiset radiolaitteet, kuten langattomat mikrofonit jne. eivät edes kehossa kiinni ollessaan altista siinä määrin, että väestön altistumisen enimmäisarvot ylittyisivät. Siten pienitehoisten langattomien mikrofonien käyttöä ei tarvitse rajoittaa. Sitä vastoin suuritehoiset radiolaitteet voivat kehon lähellä käytettäessä aiheuttaa altistumisen, joka ylittää ainakin väestön altistumisen enimmäisarvot. Altistumistaan näiden laitteiden aiheuttamille sm-kentille voi vähentää seuraavasti:

- Vyöasemaa (0,3 W) käytettäessä on hyvä huolehtia siitä, että antenni ei ole kiinni kehossa.
- Reportterilähetintä (2 W) käytettäessä lähetimen antenni on hyvä pitää kauempana kehosta. Se ei ainakaan saa koskettaa kehoa.
- Ulkolähetintä (3 W) käytettäessä lähetin voi olla kehon lähellä, mutta sen antenni on hyvä sijoittaa noin puolen metrin etäisyydelle kehosta ja päästä.

6.6 Sydämentahdistimien ja muiden aktiivisten implanttien häiriintyminen radiolaitteita käytettäessä

Sydämentahdistimien ja muiden aktiivisten implanttien toiminta voi häiriintyä, jos säteileviä radiolaitteita käytetään niiden välittömässä läheisyydessä eli 20–30 cm lähempänä implantteja. Siten radiopuhelinta, PMR446-puhelinta ja VIRVE-puhelinta ei pidä asettaa kehoon aktiivisen implantin lähelle, kun niitä käytetään hands free -laitteella. Sama koskee myös RFID-laitteita ja toimittajan työssä kehon lähellä käytettäviä radiolaitteita. Henkilöiden, joille on asennettu sydämentahdistin tai muu aktiivinen implantti, on keskusteltava hoitavan lääkärin kanssa ennen kuin he alkavat työssään käyttää säteileviä radiolaitteita.

7 Yhteenveto

Projektissa kartoitettiin kirjallisuuskatsauksella ja työpaikkakyselyillä, millaisia säteileviä radiolaitteita työssä käytetään kehon lähellä. Kartoittamisen ulkopuolelle jäivät pienitehoiset, alle 100 mW, radiolaitteet ja väestön yleisesti käytämät laitteet, kuten matkapuhelimet, kannettavat tietokoneet ja tabletit, sekä puolustusvoimien radiolaitteet.

Kartoittamisen tuloksena todettiin, että merkittävimmän laiteryhmän muodostivat erilaiset radiopuhelimet, joihin kuuluvat mm. VIRVE-puhelimet. Teoriassa suurimman, työntekijöiden enimmäisarvon tuntumassa olevan altistumisen voisivat aiheuttaa ylimmillä taajuualueilla toimivat luvanvaraiset radiopuhelimet, jos niitä käytettäisiin puhuttaessa korvalla. Käytännössä näitä puhelimia käytetään alemmilla taajuualueilla ja niihin puhutaan lyhyitä aikoja pitämällä niitä muutaman sentin etäisyydellä kasvoista, jolloin altistuminen jää alle väestön enimmäisarvojen. Luvasta vapautettujen PMR446-puhelimien lähetysteho on niin pieni, että säteilyturvallisuuksista niiden käyttöä ei tarvitse rajoittaa. Muiden luvasta vapautettujen radiopuhelimien aiheuttama altistuminen alittaa väestön enimmäisarvot, kun puhelimia käytetään muutaman senttimetrin etäisyydellä kehosta.

Kirjallisuuskatsauksen ja SAR-mittausten perusteella todettiin, että VIRVE-puhelimet (huiputeho 1 W) altistavat käyttäjänsä korkeintaan yhtä paljon kuin matkapuhelimet, kun puhelimet toimivat maksimitehoillaan. Käytännössä VIRVE-puhelimet voivat altistaa käyttäjänsä hieman

enemmän kuin matkapuhelimet, koska niissä ei ole yhtä laajaa ja kehittynyttä lähetystehon säätöaluetta kuin matkapuhelimissa ja koska ne suora-kanavatoiminnossa lähettävät maksimitehollaan.

RFID-laitteiden aiheuttama altistuminen voi ylittää väestön enimmäisarvot mutta ei työntekijöiden raja-arvoja, jos niiden antenni on suunnattuna kehoon päin ja lähes kiinni kehossa. Asianmukaisesti käytettynä RFID-laitteet altistavat käyttäjänsä väestön enimmäisarvoja vähemmän.

Omana erityisryhmänään ovat toimittajan työssä kehon lähellä käytettävät radiolähettimet. Suuritehoisimmat ulkolähettimet voivat aiheuttaa käyttäjälleen altistumisen, joka voi ylittää väestön enimmäisarvot ja olla suurimmillaan työntekijöiden raja-arvojen tuntumassa, jos lähettimen antenni on lähes kiinni kehossa. Pienitehoiset langattomat mikrofonit eivät altista käyttäjänsä merkittävästi. Altistuminen jää selvästi alle väestön enimmäisarvojen, vaikka mikrofonit olisivat kiinni kehossa.

Projektin tulosten perusteella annettiin käyttösuosituksia, joilla altistumistaan voi vähentää. Suuritehoisimpien laitteiden antennit on sijoitettava kauemmaksi käyttäjästä laitteiden lähettäessä. Pienitehoisen laitteen aiheuttamaa altistumista voi vähentää huolehtimalla siitä, että laitteen antenni ei ole kiinni kehossa.

Sydämentahdistimien ja muiden aktiivisten implanttien toiminnan häiriintyminen on huomioitava siten, että radiolaitteita ei käytetä 20–30 cm lähempänä implantteja.

Kirjallisuusviitteet

Bodendorf C. Exposition durch in Deutschland verwendete TETRA-Endgeräte. Modellierung der Verteilung von SAR-Werten im gesamten Körper und im Bereich des Kopfes unter besonderer Berücksichtigung der Augen. Vorhaben FM 8847 – Abschlussbericht Dezember 2012. Salzgitter: Bundesamt für Strahlenschutz; 2013.

CENELEC – European Committee for Electro-technical Standardization. Product standard to demonstrate the compliance of mobile phones with the basic restrictions related to human exposure to electromagnetic fields (300 MHz–3 GHz). European standard EN 50360. Brussels, Belgium, 2001.

CENELEC – European Committee for Electro-technical Standardization. Basic standard for the in-situ measurement of electromagnetic field strength related to human exposure in the vicinity of base stations. European standard EN 50492. Brussels, Belgium, 2008a.

CENELEC – European Committee for Electro-technical Standardization. Procedure for the assessment of the exposure of workers to electromagnetic fields. European standard EN 50499. Brussels, Belgium, 2008b.

CENELEC – European Committee for Electro-technical Standardization. Evaluation of human exposure to electromagnetic fields from short range devices (SRDs) in various applications over the frequency range 0 GHz to 300 GHz – Part 1: Fields produced by devices used for electronic article surveillance, radio frequency identification and similar systems. European standard EN 62369-1:2008. Brussels, Belgium, 2009.

CENELEC – European Committee for Electro-technical Standardization. Assessment of the

compliance of low power electronic and electrical equipment with the basic restrictions related to human exposure to electromagnetic fields (10 MHz to 300 GHz). European standard EN 62479. Brussels, Belgium, 2010a.

CENELEC – European Committee for Electro-technical Standardization. Limitation of human exposure to electromagnetic fields from devices operating in the frequency range 0 Hz to 300 GHz, used in Electronic Article Surveillance (EAS), Radio Frequency Identification (RFID) and similar applications. European standard EN 50364. Brussels, Belgium, 2010b.

CENELEC – European Committee for Electro-technical Standardization. Product standard to demonstrate compliance of radio frequency fields from handheld and body-mounted wireless communication devices used by the general public (30 MHz–6 GHz). European standard EN 50566. Brussels, Belgium, 2013.

Chadwick P. Police information technology tender CS 799: Specific absorption rate measurements in vehicles. Final report. London: Microwave Consultants Limited; 2006. [viitattu 4.3.2016] http://www.tetrahealth.info/documents/SAR_measurements_in_vehicles_-_final_report_Phil_Chadwick.pdf

Christ A, Kainz W, Hahn EG, Honegger K, Zefferer M, Neufeld E, Rascher W, Janka R, Bautz W, Chen J, Kiefer B, Schmitt P, Hollenbach H-P, Shen J, Oberle M, Szczerba D, Kam A, Guag JW, Kuster N. The Virtual Family – development of surface based anatomical models of two adults and two children for dosimetric simulations. *Physics in Medicine and Biology* 2010; 55: N23–N38.

- Dimbylow P, Khalid M, Mann S. Assessment of specific energy absorption rate (SAR) in the head from a TETRA handset. *Physics in medicine and biology* 2003; 48: 3911–3926.
- Eggert T, Dorn H, Sauter C, Marasanov A, Hansen M-L, Peter A, Schmid G, Bolz T, Danker-Hopfe H. Terrestrial trunked radio (TETRA) exposure and its impact on slow cortical potentials. *Environmental Research* 2015; 143: 112–122.
- Elliot P, Vergnaud A-C, Singh D, Neasham D, Spear J, Heard A. The airwave health monitoring study of police officers and staff in Great Britain: Rationale, design and methods. *Environmental Research* 2014; 134: 280–285.
- ETSI – European Telecommunications Standards Institute. Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D); Part 2: Air Interface (AI). European standard ETSI EN 300392-2 v.2.3.2 (2001-03). Sophia Antipolis Cedex, France, 2001.
- ETSI – European Telecommunications Standards Institute. Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Short range devices; Radio equipment to be used in the 1 GHz to 40 GHz frequency range; European standard ETSI EN 300440-1 V1.5.1 (2009-03) Part 1: Technical characteristics and test methods. Sophia Antipolis Cedex, France, 2009.
- ETSI – European Telecommunications Standards Institute. Electromagnetic Compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM); Radio Frequency Identification Equipment operating in the band 865 MHz to 868 MHz with power levels up to 2 W and in the band 915 MHz to 921 MHz with power levels up to 4 W; Draft European standard ETSI EN 302208-1 V2.1.0 (2014-06) Part 1: Technical requirements and methods of measurement. Sophia Antipolis Cedex, France, 2014.
- EU – Euroopan unioni. Euroopan unionin neuvoston suositus (1999/519/EY) väestön sähkömagneettisille kentille (0 Hz–300 GHz) altistumisen rajoittamisesta. Euroopan yhteisöjen virallinen lehti nro L 199, 30.7.1999a, s. 59-70.
- EU – Euroopan unioni. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 1999/5/EY radio- ja telepäätelaitteista ja niiden vaatimustenmukaisuuden vastavuoroisesta tunnustamisesta. Euroopan yhteisöjen virallinen lehti nro L91 7.4.1999b, s. 10.
- EU – Euroopan unioni. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2013/35/EU terveyttä ja turvallisuutta koskevista vähimmäisvaatimuksista työntekijöiden suojelemiseksi altistumiselta fyysikaalisista tekijöistä (sähkömagneettiset kentät) aiheutuville riskeille. Euroopan unionin virallinen lehti nro L179, 29.6.2013, s. 1-21.
- EU – Euroopan unioni. Oikaisu radio- ja telepäätelaitteista ja niiden vaatimustenmukaisuuden vastavuoroisesta tunnustamisesta 9 päivänä maaliskuuta 1999 annetun Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 1999/5/EY täytäntöönpanoon liittyvään komission tiedonantoon. Euroopan unionin virallinen lehti nro C406, 14.11.2014a, s. 1.
- EU – Euroopan unioni. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/53/EU radiolaitteiden asettamista saataville markkinoilla koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamisesta ja direktiivin 1999/5/EY kumoamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti nro L153, 22.5.2014b., s. 62.
- Fiocchi S, Markakis IA, Ravazzani P, Samaras T. SAR exposure from UHF RFID reader in adult, child, pregnant woman, and fetus anatomical models. *Bioelectromagnetics* 2013; 34: 443–52.
- Hareuveny R, Kavet R, Shachar A, Margaliot M, Kheifets L Occupational exposures to radiofrequency fields: results of an Israeli national survey. *Journal of Radiological Protection* 2015; 35: 429–445.
- Hasgall P, Neufeld E, Gosselin M, Klingeböck A, Kuster N. IT^{IS} database for thermal and electromagnetic parameters of biological tissues. Version 3.0, September 01st, 2015, DOI:10.13099/VIP21000-03-0. [online]. <http://www.itis.ethz.ch/database>

- IEC – International Electrotechnical Commission. Human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices – Human models, instrumentation, and procedures – Part 1: Procedure to determine the specific absorption rate (SARO for hand-held devices used in close proximity to the ear (frequency range of 300 MHz to 3 GHz). International standard IEC 62209-1:2005. First edition. Geneva, Switzerland, 2005.
- IEC – International Electrotechnical Commission. Human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices – Human models, instrumentation, and procedures – Part 2: Procedure to determine the specific absorption rate (SARO for wireless communication devices used in close proximity to the the human body (frequency range of 30 MHz to 6 GHz). International standard IEC 62209-2:2010. Edition 1.0. Geneva, Switzerland, 2010.
- IEGMP. Mobile phones and health. Report of an Independent Expert Group on Mobile Phones (Chairman Sir William Stewart). Chilton, United Kingdom: National Radiological Protection Board; 2000.
- Joseph W, Vermeeren G, Verloock L, Goeminne F. In situ magnetic field exposure and ICNIRP-based safety distances for electronic article surveillance systems. *Radiation Protection Dosimetry* 2012; 148 (4): 420–427.
- Koyanagi Y, Kawai H, Ogawa K, Ito K. Consideration of the local SAR and radiation characteristics of a helical antenna using a cylindroid whole body phantom at 150 MHz. *Electronics and Communications in Japan (Part 1, Communications)* 2004; 87 (1): 48–60.
- Markakis I, Tsanidis G, Samaras T, Sahalos J. Numerical exposure assessment of an RFID reader. In: *Proceedings of IEEE 7th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*. Gothenburg, Sweden, 2013, pp. 3050–3053,
- Nieto-Hernandes R, Williams J, Cleare AJ, Landau S, Wessely S, Rubin GJ. Can exposure to a terrestrial trunked radio (TETRA)-like signal cause symptoms? A randomized double-blind provocation study. *Occupational Environmental Medicine* 2011; 68: 339–344.
- Pennes HH. Analysis of tissue and arterial blood temperatures in the resting human forearm. *Journal of Applied Physiology* 1948; 1 (2): 93–122.
- Riggervold IS, Kjaergaard SK, Pedersen GF, Andersen NT, Franek O, Pedersen AD, Sigsgaard T, Zachariae R, Mølhave L, Andersen JB. No effect of TETRA hand portable transmission signals on human cognitive function and symptoms. *Bioelectromagnetics* 2010; 31: 380–390.
- Roivainen P, Eskelinen T, Jokela K, Juutilainen J. Occupational exposure to intermediate frequency and extremely low frequency magnetic fields among personnel working near electronic article surveillance systems. *Bioelectromagnetics* 2014; 35: 245–250.
- Sauter C, Eggert T, Dorn H, Schmid G, Bolz T, Marasanov A, Hansen M-L, Peter A, Danker-Hopfe H. Do signals of a hand-held TETRA transmitter affect cognitive performance, well-being, mood or somatic complaints in healthy young men? Results of a randomized double-blind cross-over provocation study. *Environmental Research* 2015; 143: 112–122.
- STMa. Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetus ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistumisen rajoittamisesta 4.4.2002/294.
- Vermeeren G, Joseph W, Martens L. SAR compliance assessment of PMR 446 and FRS Walkie-Talkies. *Bioelectromagnetics* 2015; 36: 517–526.
- Wainwright PR. Computational modelling of temperature rises in the eye in the near field of radiofrequency sources at 380, 900 and 1800 MHz. *Physics in Medicine and Biology* 2007; 52: 3335–3350.