



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

LAURI SEPPÄ

Mobiiliverkon säteilyn aiheuttamat ympäristövaikutukset

TIETO- JA VIESTINTÄTEKNIIKAN KOULUTUSOHJELMA
2020

Tekijä(t) Seppä, Lauri	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Joulukuu 2020
	Sivumäärä 26	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Mobiiliverkon säteilyn aiheuttamat ympäristövaikutukset		
Tutkinto-ohjelma Tieto- ja viestintätekniikan koulutusohjelma		
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia, miten mobiilitukiasemien aiheuttama taustasäteily näkyy ympäristössä. Opinnäytetyössä tarkasteltiin ionisoimattoman säteilyn vaikutuksia ympäristössä ja ihmisessä. Tarkoitus oli tutkia myös, miten asiaa valvotaan Suomessa ja minkälaisessa toimintaympäristössä suomalaiset teleoperaattorit toimivat.</p> <p>Tutkimuksessa käytettiin hyväksi kerättyä mittausdataa, jonka pohjalta tarkasteltiin säteilyn fysikaalisia ominaisuuksia. Yhdessä teoreettisen tutkimustiedon kanssa työssä muodostettiin havainnollistava kuva säteilyn vaikutuksista. Lopputuloksena syntyi kokonaisuus, jonka avulla voidaan objektiivisesti tarkastella radiosäteilyn vaikutuksia.</p>		
Asiasanat sähkömagneettinen säteily, mobiiliverkot		

Author(s) Seppä, Lauri	Type of Publication Bachelor's thesis	Date December 2020
	Number of pages 26	Language of publication: Finnish
Title of publication Environmental impacts caused by radiation from mobile communication networks		
Degree program Degree Programme in information and communication technology		
Abstract The purpose of this thesis was to research how radiation caused by base stations affects the environment. In this thesis effects of non-ionizing radiation in environment and humans are being looked at. It was also researched how this is being monitored and how it affects Finnish mobile operators. A base for this research was gathered measurements, which gave a contrast to look at physical attributes of radiation. Together with theoretical research it was demonstrated how the radiation affects in practice. As an end result there was an objective look at how radio-frequency radiation affects its surroundings.		
Key words electromagnetic radiation, mobile communication networks		

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 SÄTEILYN FYSIKAALISET OMINAISUUDET	7
2.1 Ionisoiva säteily	7
2.2 Ionisoimaton säteily	8
2.2.1 Sähkökenttä.....	8
2.2.2 Magneettikenttä	9
3 IONISOIMATTOMAN SÄTEILYN VALVONTA JA SÄÄTELY SUOMESSA 10	
3.1 Säteilyturvakeskus, STUK	10
3.1.1 Säteilylaki	11
3.1.2 Sosiaali- ja terveysministeriön asetus ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistuksen rajoittamisesta.	12
3.2 Kansainväliset valvonnan standardit.....	12
3.2.1 ICNIRP	13
3.2.2 SAR.....	13
4 RADIOSÄTEILYN TERVEYSVAIKUTUKSET	16
5 MITTAUSTULOKSET JA NIIDEN ARVIOINTI	17
5.1 Mittaustulokset.....	19
5.1.1 Mittaustulosten soveltaminen SAR	20
5.1.2 Mittaustulosten vertailua teoreettisiin arvoihin	21
5.1.3 Päätelaitteen SAR	23
6 POHDINTA	25
LÄHTEET	
LIITTEET	

LYHENNELUETTELO

UHF – Ultra high frequency (0,3-3GHz)

SHF – Super high frequency (3-30GHz)

GSM – Global System for Mobile Communication

LTE - Long Term Evolution(4G)

Q – Sähkövaraus (Coulombi)

F – voima (Newton)

H – Magneettikentän voimakkuus

B- Magneettivuo tiheys

STUK – Säteilyturvakeskus

ICNIRP - International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection/ Kansainvälinen ionisoimatonta säteilyä käsittelevä suojelutoimikunta

SAR - specific absorption rate/ Ominaisabsorptionopeus

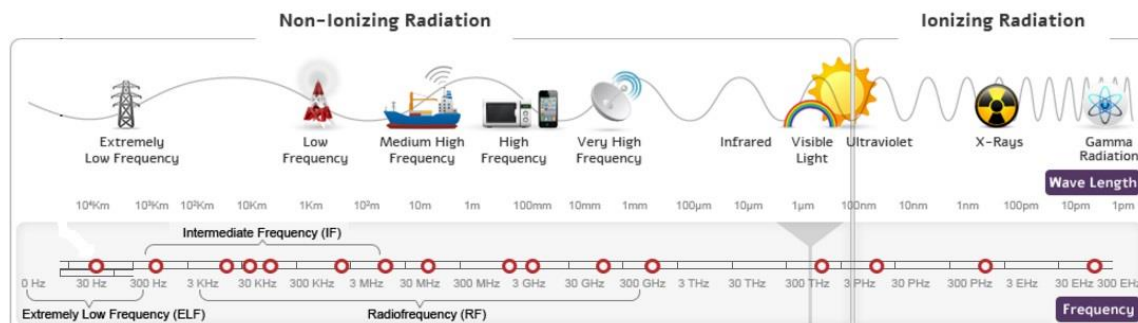
1 JOHDANTO

Säteilylähteitä löytyy ympäristöstämme valtavasti niin ihmisen aiheuttama kuin luonnollisten ilmentymien muodossa. Tällä hetkellä viidennen sukupolven mobiilitekniikoiden tehdessä tuloaan, radiosäteily ja sen aiheuttamat vaikutukset ovat nousseet keskustelun aiheeksi. Kuitenkin se, että säteilystä puhutaan usein kokonaisuutena, on harhaanjohtavaa, sillä säteilyä löytyy lukuisilta ominaisuuksiltaan eroavilta aallonpituuksilta. Työssä on tarkoitus keskittyä kuitenkin radioverkkojen aiheuttamaan säteilyyn ja vielä tarkemmin juuri matkapuhelinverkkojen käyttämästä taajuusalueesta.

Tähän asti matkapuhelinverkot kuten jo käytöstä poistunut NTM ja nykyiset GSM ja LTE ovat toimineet desimetriaalloilla, mutta tulevaisuudessa mobiiliverkot tulevat olemaan yhä pienemmällä aallonpituudella. Liikenne- ja viestintäministeriön järjestämässä huutokaupassa Elisa Oyj, Telia Finland Oyj ja DNA Oyj ostivat kukin käyttöönsä 800 megahertsin laajuisen taajuuskaistan 25,1-27,5 GHz taajuusalueen sisältä. Nämä operaattoreiden ostamat taajuuskaistat tulevat siis olemaan lähes kymmenkertaista tiheämpää taajuudeltaan. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020.)

Vaikka mobiiliverkon taajuus on kasvanut, niin ei ole varmaa onko tällä taajuuden kasvulla ollut merkitystä säteilyn vaikutuksiin. Tulisi kuitenkin tiedostaa, että taajuus on vain yksi muuttuja säteilyä tarkasteltaessa ja onko tällä taajuuden muutoksella mitään vaikutusta loppukäyttäjälle, muutoin kuin yhä suurempi kapasiteetti siirtää dataa.

2 SÄTEILYN FYSIKAALISET OMINAISUUDET



Kuva 1. Esimerkkejä eri aallonpituuksilla toimivista säteilylähteistä. (tnuda.org.il)

Säteilyä tarkasteltaessa tulisi tiedostaa, että säteilyn spektri on todella laaja eikä kaikkea sähkömagneettista säteilyä tulisi tarkastella yhtenäisenä kokonaisuutena. Jos vertaillaan esimerkiksi radiotaajuuksilla toimivan GSM-verkon aiheuttamaa 900 hertsin säteilyä Gammasäteilyyn, jonka taajuusalue 30-300 eksahertsin sisällä, eksahertsin kertoimen ollessa $1 \cdot 10^{18}$, niin voidaan suoraan päätellä, että intensiteetti ja kyky siirtää energiaa, on moninkertainen verrattuna siihen mitä radiotaajuisen säteilyn vastaanava on.

2.1 Ionisoiva säteily

Radiotaajuinen säteily ei ole ominaisuuksiltaan ionisoivaa, mutta on hyvä nostaa esille ionisoiva säteily, koska erottaminen ionisoimattomasta säteilystä on olennaista, kun tarkastellaan eri säteilylähteitä ja niiden ominaisuuksia. Ionisoivan sähkömagneettisen säteilyn spektrille asettuvat osa ultraviolettisäteilyn spektristä, röntgensäteily ja gammasäteily. Ionisoivan säteilyn energiavaraus on tarpeeksi suuri irrottamaan säteilyn kohteena olevan aineen atomien elektroneja tai rikkomaan tämän molekyyli-rakennetta. Vaikka fotonilla eli valokvantilla ei ole itessään sähkövarausta se voi valosähköisen

ilmiön kautta irrottaa elektroneja atomista. Valosähköisessä ilmiössä fotonin absorboituu atomiin, jolloin fotonin energia elektronille. Atomissa tapahtuva varauksen muutos johtaa elektronin irtoamiseen ja varauksen muuttumiseen atomitasolla. (tnuda.org.il)

2.2 Ionisoimaton säteily

Ionisoimaton säteily on säteilyä, jonka energiavaraus ei ole tarpeeksi suurta aiheuttamaan atomitason muutoksia, eli purkamaan elektroneja atomeista tai molekyyleistä. Ionisoimattoman säteilyn spektri alkaa 0Hz taajuudelta ja jatkuu aina 3 PHz taajuudelle. Ionisoimaton säteily pitää sisällään radiosäteilyn, näkyvän valon ja osan ultra-violettsäteilyn spektristä. Radiotaajuuksinen säteily sijoittuu 3kHz aina 300GHz asti. (tnuda.org.il)

2.2.1 Sähkökenttä

Sähkövarauksesta syntyy ympäröivään avaruuteen tila, joka tunnetaan sähkökenttänä. Sähkökenttä vaikuttaa toiseen varattuun kappaleeseen kohdistuvana voimana. Samansuuntaisiin varuksiin kohdistuu toisiaan hylkivä voima ja eri suuntaisiin toisiinsa vetävä voima. Varuksen voimistuessa myös voima suurenee kuin myös varausten lähes-tyessä toisiaan. Coulombin laista saadaan johdettua malli, kuinka sähkökenttä käyttäytyy. (Jokela 2006)

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

Kuva 2. Coulombin Laki (Pääsykoemaraton)

Q_1 ja Q_2 – kohteiden sähkövaraus

r – kohteiden välinen etäisyys

ϵ_0 – sähkövakio tai tyhjiön permittiivisyys

F – Vaikuttava voima

2.2.2 Magneettikenttä

Liikkuva varaus luo sähkökentän lisäksi ympärilleen magneettikentän. Magneettikenttien vuot ovat jatkuvia ja ne kiertävät takaisin lähtöpisteeseensä aina. Magneettikentän voimakkuuden määrittää sen lähteenä toimivat virrat ja väliaineella ei ole vaikutusta siihen. Virran kasvaessa myös magneettikentän voimakkuus kasvaa. Magneettivuon tiheyden määrittää myös sähkövirta, mutta tässä tapauksessa myös väliaine vaikuttaa magneettivuon tiheyteen. (Jokela 2006)

3 IONISOIMATTOMAN SÄTEILYN VALVONTA JA SÄÄTELY SUOMESSA

Ionisoimatonta säteilyä on valvottu Suomessa siitä lähtien kun tekniikan lisääntyessä tarve kartoittaa riski- ja vaaratekijöitä nousi ajankohtaiseksi. Ionisoimattoman säteilyn riskien selvitys ja tutkiminen on käynnistynyt suomessa melkoisen myöhään. Aiheen laajamittaisen tutkimuksen voidaan katsoa alkaneen 1970-luvulla silloisen säteilyturvalaitoksen ja työterveyslaitoksen toimesta. Myöhemmin tutkimustiedon karttuessa, lähdettiin valmistelemaan turvallisuusnormeja ja valvonnan käytänteitä.

Ensimmäinen virallinen säädös muodostettiin vuonna 1985 koskemaan suurtaajuuslaitteita ja niiden kanssa työskentelyä, sekä laitteiden tarkastusta. Vuonna 1986 säteilylakia laajennettiin koskemaan myös ionisoimatonta säteilyä. Säteilylaki ionisoimattoman säteilyn osalta on muotoutunut niin, että säteilyturvakeskuksella on tehtävänänsä valvoa ionisoimatonta säteilyä, jota muu lainsäädäntö ei kosketa tai jolla ei ole jollakulta valvovaa viranomaistahoa. Ionisoimatonta säteilyä valvovat Suomessa myös erilaiset työsuojeluviranomaiset, kuntien terveysviranomaiset ja lääkelaitos. Myös esimerkiksi viestintävirasto, Turvatekniikan keskus ja kuluttajavirasto ovat osallisia ionisoimatonta tuotavien laitteiden valvonnassa.

(Jokela, 2006, s. 23)

3.1 Säteilyturvakeskus, STUK

Säteilyturvakeskus on riippumaton turvallisuusviranomainen, joka toimii sosiaali- ja terveysministeriön alaisuudessa. Säteilyturvakeskuksen toiminnan perustan on säteily- ja ydinturvallisuutta koskeva lainsäädäntö ja erilaiset turvallisuusmääräykset ja ohjeet. STUK on toiminnaltaan avoin toimija, jonka tavoitteena on perustaa päätöksensä kansalaislähtöisen turvallisuuden parantamiseen ja valvontaan.

STUK:in antamat ohjeistukset ja määräykset koskevat sekä teleoperaattoreita, että esimerkiksi matkapuhelimia ja muita radiotaajuuksia hyväksi käytettäviä päätelaitteita.

Vastuu säädösten noudattamisesta kuuluu radiolaitteita ylläpitäville operaattoreille ja kuluttajalaitteiden osalta maahantuojalle ja viimekädessä tuotteita myyvälle taholle. Operaattoreiden tehtävänä on selvittää, kuinka suurta altistumista tukiasema tulee aiheuttamaan väestölle ennen sen rakentamista. Altistuminen ei saa olla raja-arvoja suurempaa paikoissa joihin ihmisillä on vapaa pääsy. STUK kuitenkin valvoo operaattoreiden toimintaa ja puuttuu tarvittaessa toimintaan, mikäli on syytä epäillä, että toiminta ylittää annetut raja-arvot.

Noudatettavat raja-arvot väestöaltistukselle ja työskentelyyn on säädetty sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa (1045/2018). Nämä asetukset noudattavat Euroopan unionin neuvoston suosituksia, ja samaan suositukseen perustuva malli on voimassa useimmissa Euroopan maissa. (STUK, 2020)

3.1.1 Säteilylaki

Säteilylaki nykyisessä muodossaan on astunut voimaan 15.12.2018, korvaten aikaisemman lakisäädöksen. Säteilylain tarkoituksena on kansalaisten terveyden suojeleminen säteilyn aiheuttamilta haitoilta ja vähentää ja ehkäistä myös ympäristölle aiheutuvia haittoja. Säteilylaki pitää sisällään laajan kokonaisuuden, joka käsittää niin radioaktiivisen säteilyn toimijoita koskevaa lainsäädäntöä, kuin myös luonnonsäteilyyn liittyvää lainsäädäntöä. Säteilylain (859/2018) 161. pykälä antaa viitekehyksen, jonka ympärille asetus ionisoimattoman säteilyn rajoittamisesta perustuu. Säteilylain 161. pykälä määrää seuraavasti:

Ionisoimattoman säteilyn aiheuttaman altistuksen rajoittaminen

Toiminnassa, josta aiheutuu altistusta ionisoimattomalle säteilylle:

- 1) altistus sähkömagneettiselle kentälle tai ultraäänelle ei saa aiheuttaa haitallisia kudonvaurioita tai muutoksia elintoiminnoissa;
- 2) lyhytaikainen altistus optiselle säteilylle ei saa aiheuttaa haitallisia kudonvaurioita ja aiheutuvien pitkäaikaisten terveyshaittojen on oltava mahdollisimman vähäisiä;
- 3) väestön altistus ei saa olla altistuksen raja-arvoa suurempi.

Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksella annetaan tarkemmat säännökset ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistuksen raja-arvoista ja muusta rajoittamisesta. (Säteilylaki 859/2018, 19 luku 161 §.)

Tätä lakimääräystä tarkennetaan Sosiaali- ja terveysministeriön antamalla asetuksella (1045/2018).

3.1.2 Sosiaali- ja terveysministeriön asetus ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistuksen rajoittamisesta.

Sosiaali- ja terveysministeriö on asettanut rajat, joiden mukaan ionisoimatonta säteilyä tulee valvoa ja joihin ionisoimattoman säteilyn kanssa toimivat tahot ovat sitoutuneet. Muutamia poikkeuksia kuitenkin on, esimerkiksi Puolustusvoimien ja Rajavartiolaitoksen käyttämään tekniseen laitteistoon asetusta ei sovelleta.

Tietoliikennealan toimijoita ohjaa asetuksen 2. pykälän 1. momentti, joka kuuluu seuraavasti:

Sähkömagneettisilla kentillä staattisia sähkökenttiä, staattisia magneettikenttiä ja ajallisesti vaihtelevia sähkökenttiä, magneettikenttiä ja sähkömagneettisia aaltoja, joiden taajuus on enintään 300 GHz. (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus ionisoimattoman säteilyn valvonnasta 1045/2018, 2§)

Asetuksen kolmannessa pykälässä täsmennetään raja-arvoja, joihin on viitattu erillisessä liitteessä. (LIITE 1)

3.2 Kansainväliset valvonnan standardit

Ionisoimatonta säteilyä valvoo ja säätelee lukuisia eri tahoja. Suurin osa valvovista tahoista on itsenäisiä valtiosta ja kaupallisista toimijoista irtonaisia toimijoita. Valvonnan lisäksi aihetta tutkitaan myös koulujen ja kaupallisten toimijoidenkin puolesta. Vapaa ja avoin tutkimusdata toimii pohjana, jolle valvovat instanssit perustavat omia säädöksiään.

3.2.1 ICNIRP

ICNIRP on vuonna 1992 perustettu järjestö, jonka pääasiallinen toimipaikka sijaistaa Saksassa. ICNIRPin toiminta on itsenäistä eikä sillä ole esimerkiksi Saksan valtioon. World Health Organization tunnustaa ICNIRPin virallisesti valtiosta riippumattomaksi toimijaksi. ICNIRP harjoittaa kuitenkin tiivistä yhteistyötä eurooppalaisten toimijoiden kanssa, ja Euroopan komission antamat säädökset vetoavat ICNIRPin tekemään tutkimusdataan ja lausuntoihin. Tämä vaikuttaa myös suoraan Suomalaiseen toimintakenttään ionisoimattoman säteilyn säätelyssä, koska käytössämme oleva malli juontaa Euroopan unionin antamasta ohjeistuksesta. (ICNIRP)

3.2.2 SAR

SAR, eli ominaisabsorptionopeus on keskeinen käsite, etenkin kun puhutaan radiotaajuuksilla olevan säteilyn spektristä. SAR on myös STUKin käyttämä altistumisen mittari. SAR on ICNIRPin ohjeistuksen mukainen ja käytössä myös suurella osalla Eurooppaa, kun tarkastellaan radiosäteilylle altistumista. Taajuusalue, jolla SAR on validi altistumisen mittari, on 100kHz-6GHz. (LIITE 1/2)

Formula:

$$\text{Specific Absorption Rate (SAR)} = \frac{\sigma \times E^2}{m_d}$$

$$\text{Incident Power Density} = \frac{E^2}{377}$$

Kuva 3. SAR laskentakaava

Ominaisabsorptionopeus voidaan laskea, kun tiedetään sähkökentän voimakkuus, materiaalin sähkönjohtavuus ja tarkasteltavan aineen tiheys. (Kuva 3.)

ICNIRPin ohjearvoissa koko kehon ominaisabsorptionopeuden laskentaan käytettävän kudoksen tiheys on sama kuin veden tiheys, eli 1000kg/m³. Kuitenkin on myös

tarkempia malleja, joissa esimerkiksi silmien, aivojen tai raajojen tiheys on eroteltu ja tarkemmin annettu. (Jokela. 2006, s.48)

Sähkönjohtavuus kudoksessa riippuu säteilyn taajuudesta, kuten voimme huomata alla olevasta taulukosta. Myös kudosten välillä on suuria eroja, suurin osa ihmisen kehosta on kuitenkin lihasta, joka myös toimii merkittävimpana johtimena säteilyn siirtyessä kehoon. (Taulukko 1.) (Taulukko 2.)

900mHz						
Tissue	Fre- quency	Conducti- vity	Relative	Loss	Wave- length	Penetra- tion
name	[Hz]	[S/m]	permitti- vity	tangent	[m]	depth [m]
Muscle	9E+08	0.94294	55.032	0.34222	0.044277	0.042355
Tissue	Fre- quency	Conducti- vity	Relative	Loss	Wave- length	Penetra- tion
name	[Hz]	[S/m]	permitti- vity	tangent	[m]	depth [m]
Fat	9E+08	0.051043	5.462	0.18665	0.14192	0.24412

Taulukko 1. 900Mhz taajuuksinen säteily lihas- ja rasvakudoksessa (<http://niremf.ifac.cnr.it>)

1800mHz						
Tissue	Fre- quency	Conducti- vity	Relative	Loss	Wave- length	Penetra- tion
name	[Hz]	[S/m]	permitti- vity	tangent	[m]	depth [m]
Fat	1,8E+09	0.078388	5.3494	0.14634	0.07182	0.15705
Tissue	Fre- quency	Conducti- vity	Relative	Loss	Wave- length	Penetra- tion
name	[Hz]	[S/m]	permitti- vity	tangent	[m]	depth [m]
Muscle	1,8E+09	1.341	53.549	0.25007	0.022587	0.029193

Taulukko 2. 1800Mhz taajuuksinen säteily lihas- ja rasvakudoksessa (<http://niremf.ifac.cnr.it>)

4 RADIOSÄTEILYN TERVEYSVAIKUTUKSET

Radiotaajuuksinen säteily, ei ole tarpeeksi korkeaenergistä aiheuttamaan atomi- ja molekyyli-tason muutoksia. Nykyisen tiedon mukaan ionisoimaton säteily ei kykene suoraan aiheuttamaan muutoksia perimässä, eli DNAssa.

Radiosäteilyn haittoja on tutkittu pitkään ja tutkijoita on kiinnostanut etenkin radiosäteilyn vaikutus mahdollisena syövän aiheuttajana, vaikutukset lisääntymiskykyyn tai lasten kehitykseen. Tulokset ovat kiisteltäviä tutkijoiden keskuudessa, sillä mitään konkreettista ja varmaa dataa asiasta ei ole saatu muodostettua. (tnuda.org.il. 2015)

Radiotaajuuksisella säteilyllä on kuitenkin haittoja, jos altistuminen on suurta.

On tiedostettu, että korkeatehoinen ionisoimaton säteily lämmittää kudoksia. Myös induoituva jännite ja virta voi aiheuttaa sähköiskun. (tnuda.org.il. 2015)

Radiotaajuuksista säteilyä on tutkittu sekä eläin, että solukokeilla ja näissä kokeissa ei ole huomattu, että viitearvot ylittäväkään säteily kykenisi aiheuttamaan syöpää koe-eläimissä.

Myös ihmisiä on käytetty paljon etenkin puhelinten säteilyn vaikutusten kartoittamiseen, nämä testit on toteutettu tapaus-verrokkiperiaatteella. Tutkimuksissa ei ole voitu todentaa lisääntynyttä syöpäriskiä. (Jokela 2006)

5 MITTAUSTULOKSET JA NIIDEN ARVIOINTI

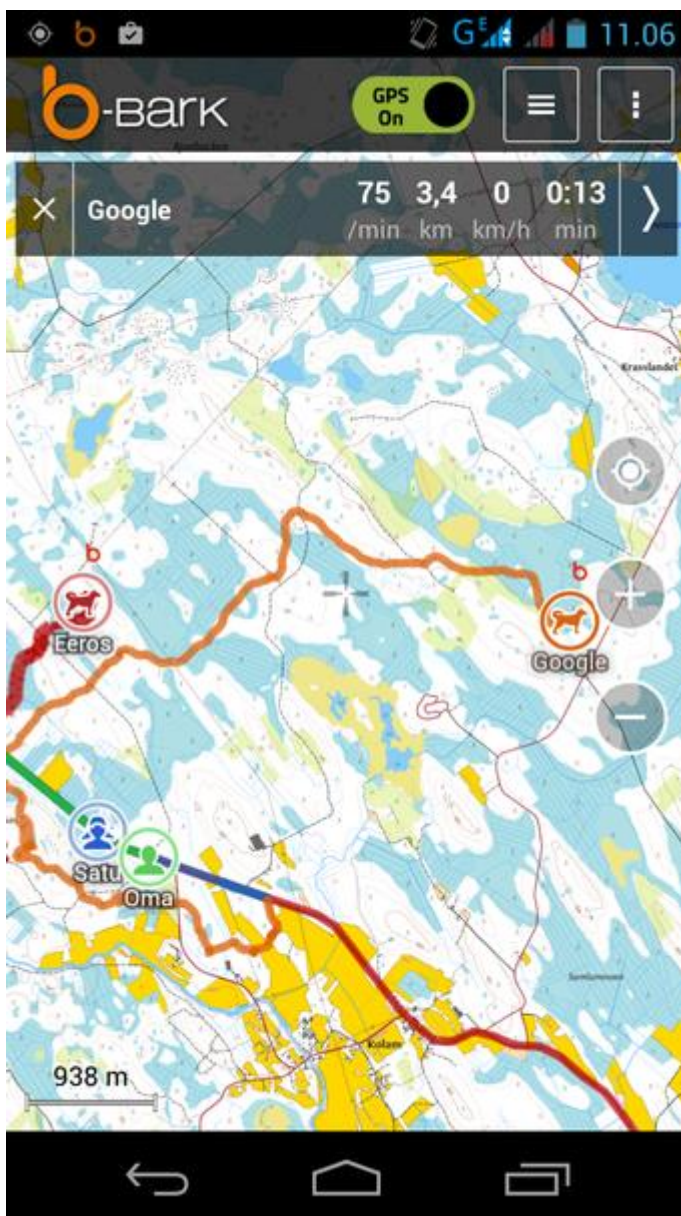


Kuva 4. Tenmars TM-195 RF-kentän mittari (perel.fi)

Mittauksissa käytettiin Tenmars TM-195 RF-kentänvoimakkuuden mittalaitetta. Laitteella otettiin mittauksia yhden tukiaseman läheisyydestä. Tukiasema sijaitsee esikaupunkialueella ja vastaa laitteistoltaan juurikin asuinalueiden ympärille rakennettuja tukiasemia. Tukiasema pitää sisällään 2g, 3g, 4g, ja 5g-tekniikalla lähettäviä radiolähetimiä. Työssäni en halunnut täsmentää tukiaseman tarkkaa sijaintia, koska en koe sen olevan tarpeellista työn luonteen vuoksi. Työn tarkoitus oli tarkastella radiosäteilyn kenttää loppukäyttäjän perspektiivistä.

Koska mittaus suoritettiin esikaupunkialueella, niin on myös oletettua, että säteilyä aiheuttavat myös naapurina toimivat tukiasemat. Puhelimen mobiilidatayhteys ja gps poistettiin käytöstä aina mittauspisteelle siirryessä.

Etäisyyden mittaamiseen tukiasemasta käytin B-bark sovellusta. Sovellus on ensisijaisesti tarkoitettu metsästäjille ja koirien seurantaan, mutta ohjelma soveltui mielestäni hyvin myös etäisyyden tarkasteluun.



Kuva 5. B-bark ohjelma (erakellari.fi)

5.1 Mittaustulokset

Mittaustulokset muodostuvat viiden mittauksen keskiarvosta, jotka otettiin kahdeksasta eri etäisyyksillä olevasta pisteestä. Mittausten hajonta kussakin pisteessä jäi suhteellisen pieneksi, eikä huippuarvo tai minimiarvo poikkea suuresti keskiarvosta.

	50m	100m	150m	200m	250m	300m	400m	600m
mA/m	3,184	1,2079	1,7093	1,8023	1,2654	2,944	1,4044	0,2653
	2,456	1,391	2,249	1,7271	1,4853	3,045	1,1946	0,3389
	2,536	1,0207	2,169	1,9728	1,0972	3,061	0,9683	0,251
	2,498	1,3273	2,042	1,7287	1,2341	2,881	1,5434	0,206
	2,542	1,0807	1,7879	2,085	1,1014	3,028	1,2566	0,2598
	2,6432	1,20552	1,99144	1,86318	1,23668	2,9918	1,27346	0,2642

Taulukko 3. Magneettikentän voimakkuus

	50m	100m	150m	200m	250m	300m	400m	600m
mw/m ²	2,468	0,3326	0,6729	0,8055	0,3932	2,25	0,4955	0,0157
	1,3815	0,4407	1,115	0,7223	0,5392	2,301	0,3461	0,0250
	1,5234	0,2369	1,0367	0,9524	0,2935	2,4	0,2293	0,0137
	1,4799	0,4052	0,9179	0,6878	0,289	2,218	0,6174	0,0093
	1,5118	0,2622	0,7134	1,071	0,3712	2,329	0,3857	0,0150
	1,67292	0,33552	0,89118	0,8478	0,37722	2,2996	0,4148	0,015794

Taulukko 4. Tehontiheys metriä kohden

	50m	100m	150m	200m	250m	300m	400m	600m
mv/m	1200,6	455,4	644,4	679,5	477	1109,8	529,5	100
	925,7	524,4	847,9	651,1	559,9	1148	450,4	127,8
	956,3	384,8	817,6	743,8	413,6	1153,8	365	94,6
	941,6	500,4	769,8	651,7	415,2	1086,1	581,9	77,6
	958,3	407,4	674	786,1	465,3	1141,6	473,7	97,9
	996,5	454,48	750,74	702,44	466,2	1127,86	480,1	99,58

Taulukko 5. Sähkökentän voimakkuus

Työtä tarkasteltaessa voidaan huomata, että kentän voimakkuus on suurimmillaankin vain 1 V/m luokkaa. Mittaustuloksissa on paljon vaihtelua esimerkiksi välillä 200m-250m-300m. Tehon äkilliselle tiputukselle 250m mittapisteen kohdalla ei ole yksittäistä selitystä, mahdollisesti mittauskohdassa on siirrytty sivummalle antennin keilasta koska tien muotojen vuoksi mittaussektorin myötäisesti joka pisteessä ei ollut mahdollista.

Mittaustulokseen vaikuttaa myös ympäröivät kiinteistöt, jotka voivat tulla signaalintielle, mutta myös ympäröivien kiinteistöjen dataliikenne tai sen olemattomuus ovat vaikuttavia tekijöitä.

Etenkin kun puhutaan 5Gstä, joka eroaa tekniseltä toteutukseltaan aiemmista tekniikoista. 4Gn säteilyssä esimerkiksi 120 asteen suuruisella sektorilla, voi 5G kohdistaa kapeamman ja keskitetyemmän keilan yhdelle tai useammalle käyttäjälle, jolloin hetkittäinen säteilytaso saattaa muuttua suuresti. (STUK. 2020)

300m kohdalla tapahtuva tehonnousu voi taas esimerkiksi selittyä sillä, että on siirrytty takaisin pääkeilaan.

5.1.1 Mittaustulosten soveltaminen SAR

Mittaustuloksia hyväksikäyttäen voidaan laskea ominaisabsorptionopeus. Kappaleessa 3.2.2 nostettiin esille kehon sähkönjohtavuus ja tiheys. Tulen käyttämään tiheytenä 1000kg/m³ ja lihaksen sähkönjohtavuutta 1800mHz taajuusalueella ja 900mhz taajuusalueella.

Koska mittari ei erottele mitatun datan taajuutta laskut perustuvat oletettuun taajuuteen. On mahdollista, että tukiasemalla on useita eri taajuuksia kuten 800mHz, 900Mhz, 1800mHz, 2600mHz ja 3500mHz. (Traficom. 2020)

Mittaustuloksista käytetään korkeinta saatua arvoa, eli 300m kohdalla tehdyn mittauksen keskiarvoista tulosta.

Mittaustulos kohdasta 300m	
1127,86 mV/m= 1,13V/m	900mhz
	0,94*1,13^2/1000=0,0012
	W/Kg
Lihaksen sähköjohtavuus	
900mHz	0,94
	1800mHz
1800mHz	1,34
	1,34*1,13^2/1000=0,0017
	W/Kg
Tiheys	
1000kg/m3	

Laskutoimitus 1. Ympäristöstä mitattu SAR

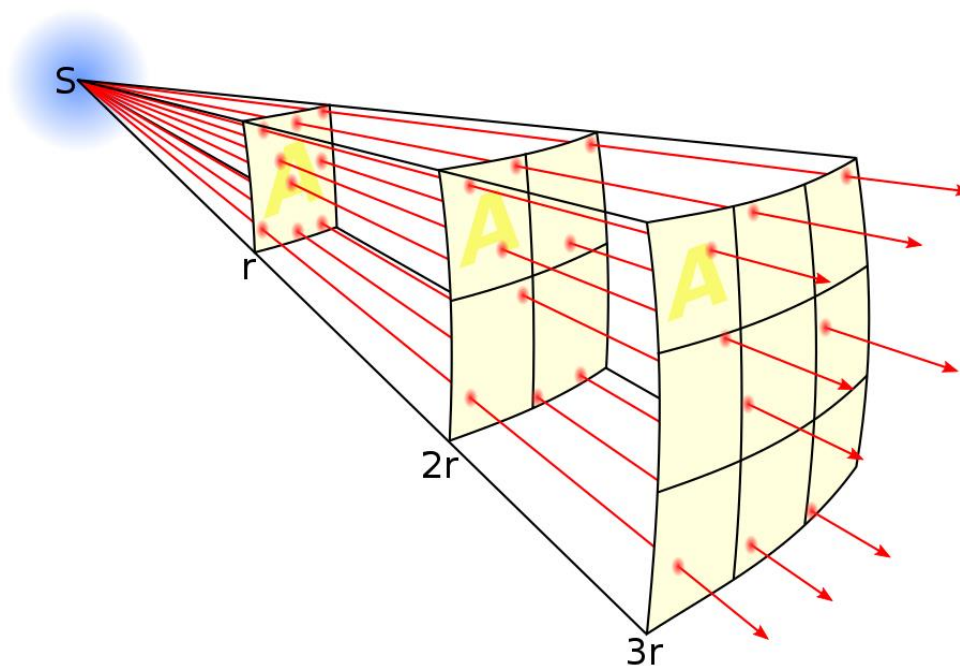
5.1.2 Mittaustulosten vertailua teoreettisiin arvoihin

Kun tarkastellaan saatuja SAR-arvoja, voidaan huomata, että ne jäävät selkeästi väestöä koskevan perusrajoituksen alapuolelle. (LIITE 1/2)

Suurin sallittu altistuminen väestölle on 0,08 W/Kg, kun saadut mittaustulokset jäävät moninkertaisesti tämän sallitun raja-arvon alapuolelle.

Vaikka lähetystehot tukiaseman mastossa ovatkin korkeat, niin lähetysteho on laske-
nut huomattavasti saavuttaessaan loppukäyttäjän.

Tehon jakautumista voidaan tarkastella käänteisen neliön lain kautta. Vaikka antennit,
joita mobiilitukiasemilla käytetään eivät ole palloantenneja niin myös näiden tehohä-
viö on kertaantuva etäisyyden kasvaessa. Suuntaavilla antenneilla tapahtuva hajonta
on pienempää, mutta silti kertaantuvaa. (hyperphysics)



Kuva 6. Käänteisen neliö laki

Kun lasketaan suunasta riippumattomien antennien tehohäviötä, voidaan siihen käyt-
tää radioinsinöörin kaavaa, joka on seuraavanlainen.

$$L = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)$$

Kuva 7. Yksinkertaistettu tehohäviön laskeminen vapaassa tilassa

L - tehohäviö desibeleissä

lambda - säteilyn aallonpituus

d – etäisyys vastaanottavan ja lähettävän antennin välillä

(wikipedia. 2020)

5.1.3 Päätelaitteen SAR

Tutkimme vielä erillistä mittausta, jonka suoritin mittaamalla omaa päätelaitettani. Kyseessä on Huaweiin valmistama P30 Lite matkapuhelin. Mittaus on suoritettu datayhteyden ollessa päällä, laitteesta otettiin viisi mittausta ja näistä muodostettiin keskiarvo. Mittalaite on kiinni puhelimessa mittausta suoritettaessa.

Mittausten keskiarvoksi muodostui 22,147 V/m

Sähkönjohtavuuden määreenä on käytetty Aivojen sähköjohtavuutta, joka 1800mHz taajuudella 1,3913S/m (<http://niremf.ifac.cnr.it>)

Valmistajan ilmoittama suurin päähän kohdistuva SAR on 1,23W/Kg. (techin-deep.com)

Väliaineen tiheytenä käytetään edelleen 1000Kg/m³

Mittausten keskiarvo

22,147 V/m

$1,39 \cdot 22,147^2 / 1000 = 0,68 \text{W/Kg}$

Laskutoimitus 2. Puhelimen SAR

Puhelin jäi selvästi alle valmistajan ilmoittaman maksimiarvon, sekä STUKin säättämän maksimiarvon. Suurin sallittu altistus, jota päätelaite saa aiheuttaa on 2W/Kg (LIITE1/2) Sallittu altistumisen raja on huomattavasti suurempi kuin jatkuvan

altistuksen raja, koska oletuksena on, että altistus on hetkellistä ja tapahtuu esimerkiksi soittaessa.

Säteilytasoon vaikuttaa olennaisesti esimerkiksi sijainti tukiasemasta. Mittaus on suoritettu noin 750m päästä tukiasemasta, johon on myös lähes suora näköyhteys. Hyvä yhteys tukiasemaan tarkoittaa sitä, että puhelin voi automattisesti säätää omaa lähetystehoaan pienemmälle, jolloin välitön säteily käyttäjään pienenee.

6 POHDINTA

Tuloksien otanta on pieni, eikä sitä voida soveltaa yleispätevästi kaikkiin tukiasemiin, tukiasemia on sijoitettu eri tavalla, ja niiden laitteisto on aina sovitettu ympäristöönsä sopivaksi. On todennäköistä, että kaupunkien ja isojen väestökeskittymien kiinteistöjen ympärille rakennetut tukiasemat säteilevät enemmän, koska loppukäyttäjällä on mahdollisuus päästä lähemmäs lähettimiä.

Kuitenkin esimerkiksi ostoskeskuksiin tai vastaaviin sijoitettu laitteisto on lähetysteholtaan heikompaa, kuin perinteisessä mastokohteessa. Pienempi peittoalue mahdollistaa pienemmän lähetystehon, ja samalla sen, että kuluttajan oma päätelaite voi toimia pienemmällä teholla.

Kaikesta huolimatta, vaikka tekniikka muuttuukin ja sen määrä jatkuvasti kasvaa, säilyy edelleenkin valvovilla tahoilla voimassa ohjeistukset, joilla pyritään suojelemaan kansalaisen terveyttä. Myös vastuu noudattaa näitä määräyksiä säilyy operaattoreilla, laitevalmistajilla ja muilla toimijoilla.

LÄHTEET

hyperphysics. Inverse Square Law, General Viitattu 28.11.2020

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Forces/isq.html>

icnirp.org. AIM, STATUS & HISTORY. Viitattu 28.11.2020

<https://www.icnirp.org/en/about-icnirp/aim-status-history/index.html>

IFAC. Taulukko 1 & 2. Dielectric Properties of Body Tissues. Viitattu 28.11.2020

<http://niremf.ifac.cnr.it/tissprop/htmlclie/htmlclie.php>

Jokela, K. & Nyberg, H. (2006). Ionisoimaton Säteily – Sähkömagneettiset kentät. Kariston Kirjapaino.

Liikenne- ja viestintäministeriö. 2020. 5g-taajuuksien huutokauppa päättyi. Viitattu 10.11.2020

<https://valtioneuvosto.fi/-/5g-taajuuksien-huutokauppa-paattyi>

Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetus ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistuksen rajoittamisesta 1045/2018. Haettu 13.11.2020 Osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2018/20181045>

Säteilylaki 859/2018 muutoksineen. Haettu 13.11.2020 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2018/20180859>

Säteilyturvakeskus. Päivitetty 04.06.2020. 5G-verkon säteilyturvallisuus. Viitattu 13.11.2020

<https://www.stuk.fi/aiheet/matkapuhelimet-ja-tukiasemat/matkapuhelinverkko/5g-verkon-sateilyturvallisuus>

techindeep.com. Huawei P30 Lite Specifications. Viitattu 29.11.2020

<https://www.techindeep.com/huawei-p30-lite>

tnuda.org.il. 2015. Is Non-Ionizing Radiation Harmful To Health? Viitattu 02.12.2020
<https://www.tnuda.org.il/en/health-effects/background/non-ionizing-radiation-harmful-health>

Traficom. Matkaviestinverkkojen taajuudet ja luvanhaltijat. Päivitetty 07.09.2020. Viitattu 28.11.2020
<https://www.traficom.fi/fi/viestinta/viestintaverkot/matkaviestinverkkojen-taajuudet-ja-luvanhaltijat>

Wikipedia. Path loss Viitattu 29.11.2020
https://en.wikipedia.org/wiki/Path_loss#Loss_exponent

KUVALÄHTEET

tnuda.org.il. 2015. Kuva 1. Esimerkkejä eri aallonpituuksilla toimivista säteilylähteistä. Viitattu 11.11.2020
https://www.tnuda.org.il/files/d1db9a328f8de69ddbc9d819763c27b5/electromagnetic_spectrum2.jpg

Pääsykoemaraton Kuva 2. 2014. Fysiikka 6: luku 2.2 Coulombin laki
<https://paasykoemara.blogspot.com/2014/03/fysiikka-6-luku-22-coulombin-laki.html>

EverythingRF. Kuva 3. SAR laskentakaava Viitattu 28.11.2020
<https://www.everythingrf.com/rf-calculators/sar-rf-exposure-calculator>

Perel.fi. Kuva 4. Tenmars TM-195 RF-kentän mittari. Viitattu 01.11.2020
<https://www.perel.fi/tuote/v27428558/>

Erakellari.fi. Kuva 5. B-bark ohjelma Viitattu 01.11.2020 <https://www.erakellari.fi/koiratutkat-ja-elektroniikka/b-bark-ohjelmistolisenssi-1-vuosi/p/0699900009161/>

hyperphysics. Kuva 6. Inverse Square Law, General Viitattu 28.11.2020

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Forces/isq.html>

Wikipedia. Kuva 7. Yksinkertaistettu tehonhäviön laskeminen vapaassa tilassa. Viitattu 28.11.2020

https://en.wikipedia.org/wiki/Path_loss

LIITE 1. Oikeusministeriö. Altistuksen raja-arvot ja toimenpidetasot sähkömagneettisille kentille. ISSN 1455-8904. Viitattu 13.11.2020 <https://www.finlex.fi/data/sdliite/liite/6942.pdf>

1045/2018

LIITE 1

Altistuksen raja-arvot ja toimenpidetasot sähkömagneettisille kentille

Staattiset magneettikentät taajuusalueella 0–1 Hz

Altistuksen raja-arvo

Altistuksen raja-arvo määritetään ulkoisen magneettivuon tiheytenä.

Taulukko 1.1. Altistuksen raja-arvo ulkoisen magneettivuon tiheytenä taajuusalueella 0–1 Hz.

Taajuusalue	Magneettivuon tiheys mT
0–1 Hz	400

Toimenpidetaso

Taulukko 1.2. Toimenpidetaso 0–1 Hz:n magneettivuon tiheydelle aktiivisten implantoitujen laitteiden, esimerkiksi sydämentahdistimien, häiriintymisen estämiseksi sekä magneettikentän aiheuttaman vetovoimavaikutuksen riskin rajoittamiseksi.

Taajuusalue	Magneettivuon tiheys mT
0–1 Hz	0,5

Sähkömagneettiset kentät taajuusalueella 1 Hz–300 GHz

Altistuksen raja-arvot

Altistuksen raja-arvot määritetään ulkoisen sähkömagneettisen kentän kehoon indusoiman sisäisen sähkökentän voimakkuutena taajuusalueella 1 Hz–10 MHz (taulukko 1.3) ja ulkoisesta sähkömagneettisesta kentästä kehoon painoyksikköä kohti imeytyvänä tehona eli ominaisabsorptiokertoena (SAR) taajuusalueella 100 kHz–6 GHz (taulukko 1.4) sekä sähkömagneettisen kentän tehotiheytenä taajuusalueella 6–300 GHz (taulukko 1.5).

Taulukko 1.3. Altistuksen raja-arvot sähkömagneettisen kentän kehoon indusoiman sähkökentän voimakkuuden huippuarvoina taajuusalueella 1 Hz–10 MHz.

Taajuusalue	Pää V/m	Muut kehon osat V/m
1–10 Hz	0,14/f	0,57
10–25 Hz	0,014	0,57
25–1000 Hz	$5,7 \cdot 10^{-4}f$	0,57
1–3 kHz	0,57	0,57
3 kHz–10 MHz	$1,9 \cdot 10^{-4}f$	$1,9 \cdot 10^{-4}f$

Huomautus: Taulukossa 1.3 f on taajuus hertseinä.

1045/2018

Taulukko 1.4. Altistuksen raja-arvot sähkömagneettisen kentän kehoon aiheuttamana ominaisabsorptionopeutena (SAR) taajuusalueella 100 kHz–6 GHz.

Taajuusalue	Keskimääräinen koko kehon SAR W/kg	Paikallinen SAR päässä ja vartalossa W/kg	Paikallinen SAR raajoissa W/kg
100 kHz–6 GHz	0,08	2	4

Huomautus 1: Taulukossa 1.4 SAR määritetään keskiarvona kuuden minuutin ajanjaksoilta.

Huomautus 2: Taulukossa 1.4 paikallinen SAR määritetään keskiarvona 10 g:n kudosmassassa.

Huomautus 3: Taulukossa 1.4 taajuusalueella 0,3–6 GHz pulssimaisen sähkömagneettisen kentän altistuksen raja-arvo alle 30 µs:n pituisen pulssin päähän aiheuttamana ominaisabsorptiona on 2 mJ/kg määritettynä keskiarvona 10 g:n kudosmassassa.

Taulukko 1.5. Altistuksen raja-arvo sähkömagneettisen kentän tehotiheytenä taajuusalueella 6–300 GHz.

Taajuusalue	Tehotiheys W/m ²
6–300 GHz	10

Huomautus 1: Taulukossa 1.5 tehotiheys määritetään taajuusalueella 6–10 GHz keskiarvona kuuden minuutin ajanjaksoilta ja taajuusalueella 10–300 GHz keskiarvona $68/f^{0,05}$ minuutin ajanjaksoilta, missä f on taajuus gigahertseinä.

Huomautus 2: Taulukossa 1.5 tehotiheys määritetään keskiarvona 20 cm²:n pinta-alalta.

Huomautus 3: Taulukossa 1.5 paikallinen tehotiheys, joka määritetään keskiarvona 1 cm²:n pinta-alalta, ei saa olla suurempi kuin 200 W/m².

Toimenpidetasot

Toimenpidetasot esitetään ulkoisen sähkö- ja magneettikentän voimakkuuden sekä ulkoisen magneettivuon tiheyden tehollisarvoina taajuusalueella 1 Hz–10 MHz taulukossa 1.6 ja taajuusalueella 10 MHz–300 GHz taulukossa 1.7. Toimenpidetasot esitetään myös sähkö- ja magneettikentän ekvivalenttisine tehotiheyksinä taulukossa 1.8. Taulukoissa 1.6 ja 1.7 annetuista toimenpidetasoista sovelletaan 100 kHz–10 MHz taajuusalueella rajoittavampaa toimenpidetasoa.

Taulukko 1.6. Toimenpidetasot sähkö- ja magneettikentän voimakkuuden ja magneettivuon tiheyden tehollisarvoina taajuusalueella 1 Hz–10 MHz.

Taajuusalue	Sähkökentän voimakkuus V/m	Magneettikentän voimakkuus A/m	Magneettivuon tiheys µT
1–8 Hz	5 000	32 000/ f^2	40 000/ f^2
8–25 Hz	5 000	4 000/ f	5 000/ f
25–50 Hz	5 000	160	200
50–400 Hz	250 000/ f	160	200
400 Hz–3 kHz	250 000/ f	64 000/ f	80 000/ f
3 kHz–10 MHz	83	21	27

Huomautus 1: Taulukossa 1.6 f on taajuus hertseinä.

Huomautus 2: Taulukossa 1.6 sähkö- ja magneettikentän voimakkuuden ja magneettivuon tiheyden huippuarvo taajuusalueella 1 Hz–10 MHz saa olla korkeintaan k kertaa toimenpidetaso. Taajuusalueella 1 Hz–100 kHz $k = \sqrt{2}$. Taajuusalueella 0,1–10 MHz $k = 3,05f + 1,11$, missä f on taajuus megahertseinä.

1045/2018

Taulukko 1.7. Toimenpidetasot sähkö- ja magneettikentän voimakkuuden, magneettivuon tiheyden tehollisarvoina ja ekvivalenttisina tehotiheyksinä taajuusalueella 100 kHz–300 GHz.

Taajuusalue	Sähkökentän voimakkuus V/m	Magneettikentän voimakkuus A/m	Magneettivuon tiheys μT	Ekvivalenttinen tehotiheys W/m^2
0,1–0,15 MHz	87	5	6,25	-
0,15–1 MHz	87	$0,73/f$	$0,92/f$	-
1–10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	$0,92/f$	-
10–400 MHz	28	0,073	0,092	2
400–2000 MHz	$1,38f^{1/2}$	$0,0037f^{1/2}$	$0,0046f^{1/2}$	$f/200$
2–300 GHz	61	0,16	0,20	10

Huomautus 1: Taulukossa 1.7 f on taajuus megahertseinä.

Huomautus 2: Taulukossa 1.7 ekvivalenttinen tehotiheys on sähkökentän voimakkuuden neliö jaettuna vapaan tilan aaltoimpedanssilla (377Ω) tai magneettikentän voimakkuuden neliö kerrottuna vapaan tilan aaltoimpedanssilla.

Huomautus 3: Taulukossa 1.7 sähkö- ja magneettikentän voimakkuuden, magneettivuon tiheyden tehollisarvon neliö ja ekvivalenttinen tehotiheys määritetään keskiarvona kuuden minuutin ajanjaksoilta taajuusalueella 100 kHz–10 GHz.

Huomautus 4: Taulukossa 1.7 yli 10 GHz:n taajuuksilla ekvivalenttinen tehotiheys määritetään keskiarvona $68/f^{0,05}$ minuutin ajanjaksoilta, missä f on taajuus gigahertseinä.

Huomautus 5: Taulukossa 1.7 ekvivalenttisen tehotiheyden huippuarvo saa olla enintään 1 000 kertaa ekvivalenttisen tehotiheyden toimenpidetaso ja sähkökentän tai magneettikentän voimakkuuden huippuarvo korkeintaan 32 kertaa sähkökentän tai magneettikentän voimakkuuden toimenpidetaso. Magneettivuon tiheyden huippuarvo saa olla enintään 32 kertaa magneettivuon tiheyden toimenpidetaso.

Huomautus 6: Taulukossa 1.7 ekvivalenttinen tehotiheys määritetään yli 6 GHz:n taajuuksilla keskiarvona 20 cm^2 :n pinta-alalta.

Huomautus 7: Taulukossa 1.7 paikallinen tehotiheys, joka määritetään keskiarvona 1 cm^2 :n pinta-alalta, ei saa olla yli 6 GHz:n taajuuksilla suurempi kuin $200 \text{ W}/\text{m}^2$.

Jatkuvan kontaktivirran ja raajaan indusoituvan virran tehollisarvojen toimenpidetasot esitetään taulukossa 1.8. Jatkuva kontaktivirta on virta, joka syntyy henkilön jatkuvasti koskettaessa sähkömagneettisessa kentässä olevaa kappaletta. Raajaan indusoituva virta on virta, jonka sähkömagneettinen kenttä synnyttää raajaan myös ilman kosketusta sähkömagneettisessa kentässä olevaan kappaleeseen.

Taulukko 1.8. Toimenpidetasot jatkuvan kontaktivirran ja raajaan indusoituvan virran tehollisarvoille enintään 110 MHz:n taajuuteen asti.

Taajuusalue	Jatkuva kontaktivirta mA	Raajaan indusoituva virta mA
Enintään 2,5 kHz	0,5	-
2,5–100 kHz	$0,2f$	-
100 kHz–10 MHz	20	-
10 MHz–110 MHz	20	45

Huomautus 1: Taulukossa 1.8 f on taajuus kilohertseinä.

Huomautus 2: Taulukossa 1.8 jatkuvan kontaktivirran tehollisarvon neliö määritetään keskiarvona sekunnin ajanjaksoilta.

Huomautus 3: Taulukossa 1.8 raajaan indusoituvan virran tehollisarvon neliö määritetään keskiarvona kuuden minuutin ajanjaksoilta.