

Tampereen ammattikorkeakoulu, amk-tutkinto
Tietotekniikan koulutusohjelma
Sulautetut järjestelmät
Juha Laine

Opinnäytetyö

SÄHKÖMAGNEETTISTEN KENTTIEN TERVEYSVAIKUTUKSET

Juha Laine

Työn nimi

Sähkömagneettisten kenttien terveysvaikutukset

Tutkintotyö

34 sivua

Työn ohjaaja

Yliopettaja Mauri Inha

Huhtikuu 2009

TIIVISTELMÄ

Sähkömagneettisten kenttien määrä nykyihmisen ympäristössä on kasvanut muutaman viimeisen vuosikymmenen aikana. Kenttien määrän kasvu ja vaikutus suurempaan määrään ihmisiä on nostanut esiin kysymyksiä, voisiko sähkömagneettisilla kentillä olla joitakin haitallisia terveysvaikutuksia. Asiaa on tutkittu hyvin vähän aikaa, vasta noin kahden vuosikymmenen aikana, eikä tutkimustuloksista voida vielä vetää täysin varmoja johtopäätöksiä.

Työn tarkoituksena on antaa lukijalle käsitys sähkömagneettikenttien perusmekanismeista ja niiden tavasta levitä ympäristöön erilaisten laitteiden aiheuttamana. Kentät jakaantuvat terveysvaikutuksien mukaan hyvin kolmeen ryhmään, suurtaajuiset, keskitaajuiset ja pientaajuiset kentät. Laitteet ja asiat synnyttävät eritaajuisia kenttiä, joten onkin hyvä tarkastella taajuuden kautta kenttien vaikutuksia ihmiskehoon. Merkityksellisimpinä voidaan kuitenkin tällä hetkellä pitää pien- ja suurtaajuisia kenttiä. Laitteita jotka niitä synnyttävät, käytetään huomattavasti enemmän, kuin välitaajuisia kenttiä synnyttäviä laitteita. Työssä perehdytään eritaajuisien kenttien mekanismeihin ja vaikutuksiin. Näin kasvatetaan myös henkilökohtaisen käsityksen määrää tästä asiasta.

Juha Laine

Name of thesis

Health effects of electromagnetic fields

Thesis

34 pages

Thesis supervisor

Senior Lecturer Mauri Inha

April 2009

ABSTRACT

The amount of electromagnetic fields surrounding human has increased rapidly past few decades. The increase and the effect to even larger amount of people has raised questions, that could the fields have some negative health influence on people. The matter has been researched for couple of decades, and the results aren't quite clear.

Purpose of this thesis is to give the reader some understanding about the basic mechanics of electromagnetic fields and their way to spread to environment from different applications. When studying health effects, fields can be divided into three different types depending on their frequency: medium/high frequency fields, low frequency fields and very low frequency fields. Different devices generate different frequency fields. Therefore the frequency is a good way to get to know the effects of the fields. At the moment, very low- and medium/high frequency fields can be considered more meaningful than low frequency fields. The purpose of this thesis is also to grow the writer's personal knowledge about the mechanics of electromagnetic fields.

Keywords

Electric field, Magnetic field, Electromagnetic radiation,
Electromagnetic wave

Esipuhe

Haluaisin kiittää työn ohjaajaa yliopettaja Mauri Inhaa hyvästä työn opastuksesta, sekä opetuksesta koulussa. Lehtori Ari Rantalaa kiittäisin mukavasta ja kiinnostavasta opinnäytetyön aiheesta ja myös opetuksesta. Opetuksesta haluaisin kiittää kaikkia siihen osallistuneita opettajia.

Tampereella huhtikuussa 2009.

Juha Laine

Sisällysluettelo

JOHDANTO	6
1 YLEISTIETOA SÄHKÖMAGNEETTISISTA KENTISTÄ.....	7
1.1 SÄHKÖKENTTÄ.....	8
1.2 MAGNEETTIKENTTÄ.....	9
2 SÄHKÖMAGNEETTINEN AALTO.....	11
2.1 SÄHKÖMAGNEETTISEN AALLON SPEKTRI.....	11
2.2 RADIOTAAJUINEN SÄHKÖMAGNEETTINEN AALTO	12
3 OMINAISABSORPTIOPEUS (SAR).....	14
4 SÄHKÖMAGNEETTISET KENTÄT JA KEHO	16
4.1 KEHON KUDOSTEN SÄHKÖISET OMINAISUUDET	16
4.2 KENTÄN VOIMAKKUUDEN VAIKUTUS KUDOKSEEN	19
5 KENTTIEN TAAJUUDEN VAIKUTUKSET KEHOON JA KUDOKSIIN	20
5.1 RADIOTAAJUISTEN SÄHKÖMAGNEETTIKENTTIEN LÄMPÖVAIKUTUKSET	20
5.2 RADIOTAAJUISET KENTÄT JA SYÖPÄ.....	25
5.3 PIENTAAJUISTEN KENTTIEN VAIKUTUKSIA KUDOKSIIN	27
5.4 PIENTAAJUISTENSÄHKÖMAGNEETTIKENTTIEN MUITA VAIKUTUKSIA	28
5.5 VÄLITAAJUISTEN KENTTIEN VAIKUTUKSET	30
6 MAGNEETTIKENTÄN KÄYTTÖ LÄÄKETIETEESSÄ.....	31
7 YHTEENVETO	32
LÄHTEET	

Johdanto

Yleinen käsitys sähkömagneettisten kenttien mekanismeista ja vaikutuksista on hyvin vajanainen. Monestikaan ei tiedetä juuri mitään vaikutuksista, eikä niihin sen enempää paneuduta, tai niitä mietitä. Syynä tähän saattaa olla se, että kenttien havaitseminen tai aistiminen on lähes mahdotonta perusaistien avulla. Ainoat mahdolliset tuntemukset kentistä voivat olla lämmöntuntemus tai jokin pieni ärsyke esimerkiksi lihaksessa. Näitä aistimuksia on kuitenkin hyvin vaikea yhdistää sähkömagneettikenttiin, varsinkaan jos ei tiedä vaikutusmekanismeista. Työn tarkoituksena onkin antaa käsitystä siitä, mitä ovat sähkömagneettiset kentät, mistä ne muodostuvat, mitä ne tekevät ja mitkä ovat niiden vaikutukset terveydellisesti.

Työssä tarkastellaan ensin yleisellä tasolla sähkömagneettisia kenttiä ja niiden toimintaa. Tämän jälkeen siirrytään tutkimaan, mitkä ovat niiden terveysvaikutukset ja millä suureilla ja tavoilla näitä terveysvaikutuksia voidaan tulkita.

1 Yleistietoa sähkömagneettisista kentistä

Maan ja auringon synnyttämän magneettikentän lisäksi ihmisen elinympäristöön kuuluvat monet muutkin sähkömagneettiset kentät, jotka ihminen itse laitteillaan saa aikaiseksi. /1/

Pien- ja suurtaajuiset sähkömagneettiset kentät ovat osa ionisoimattoman säteilyn spektriä. Muita tähän joukkoon kuuluvia säteilyn lajeja ovat staattiset sähkö- ja magneettikentät, mikroaaltouunin säteily ja optinen säteily. Optinen säteily koostuu joko valosta, infrapuna- tai ultraviolettisäteilystä. /2/ Ionisoimattoman säteilyn lisäksi on olemassa ionisoivaa säteilyä. Esimerkiksi radioaktiivisten aineiden ja hiukkaskiihdyttimien säteily on ionisoivaa säteilyä. Myös röntgenlaitteiden aiheuttama säteily on ionisoivaa säteilyä. Siitä lähtevien fotonien tai hiukkasten energia on niin suuri, että kohdatessaan biologista materiaalia, esimerkiksi ihmisen kudosta ne synnyttävät väliaineessa ioneja, jotka voivat rikkoa solujen ja kudosten kemiallisia rakenteita ja aiheuttaa siten vahinkoa kehossa. Kun fotonin energia pienenee, eikä se aiheuta enää suoraan vaurioita kemiallisissa rakenteissa, on kyseessä ionisoimaton säteily. Ionisoimattomalla säteilyllä on kuitenkin vaikutuksia elävään kudokseen. Näiden vaikutusten määrä riippuu säteilevän kohteen aiheuttaman kentän voimakkuudesta, taajuudesta, pulssinmuodosta ja altistuksen kestosta. Ionisoivan ja ionisoimattoman säteilyn raja on röntgensäteilyn ja ultraviolettisäteilyn välissä (ks. sivu 6 kuva 1). /3/

Taulukossa 1 on listattuna muutamia sähkömagneettisiin kenttiin liittyviä suureita. Taulukossa olevia suureita käsitellään työssä myöhemmässä vaiheessa. On kuitenkin hyvä aluksi hieman tutustua näihin suureisiin.

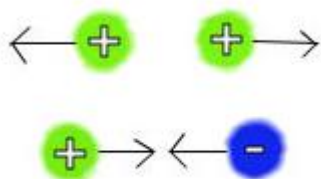
Suure	Tunnus	Yksikkö	Yksikön tunnus
Taajuus	f	Hertsi	Hz
Aallonpituus	λ	Metri	m
Sähkökentän voimakkuus	E	Voltti metriä kohti	V/m
Magneettikentän voimakkuus	H	Ampeeri metriä kohti	A/m
Magneettivuon tiheys	B	Tesla	T
Tehotiheys	S	Watti neliometriä kohti	W/m ²
Virrantiheys	J	Ampeeri neliometriä kohti	A/m ²
Ominaisabsorptionopeus	SAR	Watti kilogrammaa kohti	W/kg
Johtavuus	σ	Siemens metriä kohti	S/m

Taulukko 1. Sähkömagneettisiin kenttiin liittyviä suureita /4/

1.1 Sähkökenttä

Sähkökenttä (E) syntyy aina jännite-erojen välille, kun tietyssä pisteessä potentiaali on eri kuin kytkennän toisessa pisteessä. Esimerkiksi, kun laite kytketään sähköverkkoon, syntyy laitteen ympärille sähkökenttä. Sähkökentän voimakkuutta mitataan yleensä voltteina metriä kohden (V/m). Sähkökentän voimakkuus on sitä suurempi, mitä suurempi on jännite-eron suuruus. Sähkökenttien voimakkuudet ovat suurimmillaan suurjännitteisten sähkönsiirtolaitteiden, sekä suurtehoisten teollisuuslaitteiden läheisyydessä. Pienempien laitteiden, kuten kodinkoneiden synnyttämät sähkökentät ovat varsin pieniä verrattuna näihin isompiin kenttiin. /1/

Sähkökenttä on vektorisuure, joten sillä on aina jokin suunta ja voimakkuus. Samaan tapaan kuin magneetit, vetävät sähkökentissä erimerkkiset varaukset toisiaan puoleensa ja samanmerkkiset hylkivät toisiaan, kuten kuviossa 1 on piirrettyä. /3/



Kuvio 1. Varauksien sähköiset voimat /3/

Samaan tapaan kuin varausten voimat hylkivät toisiaan, hylkivät myös samanmerkkiset varausten synnyttämät sähkökentät toisiaan, mutta erimerkkiset potentiaalit vetävät toisiaan puoleensa. Mikäli sähkökenttään tuodaan vielä esimerkiksi kolmas tai useampi varaus, pitää sähkökentän suunta ja voima määrittää laskemalla vektoreiden summat yhteen. /3/

Kun jokin materiaali on sähkökentässä, indusoituu materiaalin (esimerkiksi kehon) sisään virtoja. Näitä virtoja kuvataan suureella virrantiheys (J), jonka yksikkö on A/m^2 . Indusoituneiden virtojen määrä riippuu sähkökentän (E) voimakkuudesta, sekä materiaalin johtavuudesta (σ) kaavan 1 mukaan. Johtavuuden yksikkö on S/m . /3/

$$J = \sigma \cdot E \quad (1),$$

jossa σ = materiaalin johtavuus
 E = sähkökentän voimakkuus /3/

1.2 Magneettikenttä

Kun laite on kytkettynä verkkovirtaan, vaikuttaa sen ympärillä sähkökenttä. Kun laitetta käytetään ja sen komponenteissa ja johtimissa kulkee virta, syntyy laitteen ympärille myös magneettikenttä. Magneettikentän suuruus määritellään magneettivuon tiheytenä (B) jonka yksikkö on tesla (T). Magneettikentän voimakkuus on toinen suure, jolla magneettikenttää voidaan kuvata. Tätä suureta mitataan arvolla ampeeria metriä kohden (A/m). Yleensä magneettikentät ovat terveydelle merkityksellisempiä kuin sähkökentät, sillä esimerkiksi magneettikentät synnyttävät kehossa kulkevia varauksia

vastaan poikittaisen voiman, joka hankaloittaa varauksien kulkemista. Varauksia ovat esimerkiksi ionit, jotka ovat sähköisesti varautuneita atomeja tai molekyyliä. /1/

Vuonna 1831 Michael Faraday löysi ilmiön, jossa magneettikenttä indusoi metalliseen silmukkaan virtoja. Tätä ilmiötä kutsutaan sähkömagneettiseksi induktioksi. Ihmisen kudosta voidaan myös kuvata metallisella silmukalla, jolloin sama indusoitumisilmiö pätee ihmiskehoon. Faradayn laki asiasta nähdään kaavassa 2. /3/

$$U = -\frac{d}{dt}\Phi \quad (2),$$

jossa U = jännite
 Φ = magneettivuo

Magneettivuon suuruus taas saadaan kaavan 3 mukaisella lausekkeella, jos kentän voimakkuus on tasainen koko pinta-alaa kohden, eli kenttä on homogeeninen. /3/

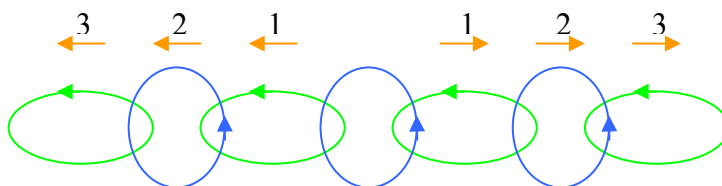
$$\Phi = BA \quad (3),$$

jossa B = magneettivuon tiheys
 A = materiaalin pinta-ala

Induktion määrä kasvaa sitä suuremmaksi, mitä nopeammin ajan funktiona muuttuva magneettikenttä muuttuu materiaalin, kuten kehon ympärillä. Kehoon indusoituva jännite synnyttää kehoon sähkökentän. Sähkökenttä puolestaan synnyttää kehoon virran joka aiheuttaa esimerkiksi lämpöabsorptiota kudoksiin ja erilaisia vaikutuksia soluihin. Näistä kerrotaan myöhemmin luvuissa 4 - 6. /3/

2 Sähkömagneettinen aalto

Sähkömagneettinen aalto syntyy sähkömagneettisen kentän toiminnasta. Esimerkiksi aina kun muuttuva sähkökenttä synnyttää magneettikentän, tai muuttuva magneettikenttä synnyttää sähkökentän ja tämä generoiminen on jatkuvaa, leviävät sähkö- ja magneettikenttä sähkömagneettisena aaltona ympäristöön. /5/ Kuviossa 2 on hieman hahmotettu sitä, miten sähkömagneettinen aalto muodostuu. Sähkömagneettinen aalto on siis säteilyä ja etenee aaltoliikkeenä esimerkiksi tyhjiössä valonnopeudella. Sähkömagneettisen aallon nopeus riippuu kuitenkin väliaineen taitekertoimesta (n), mikäli tila missä aalto liikkuu ei ole tyhjiö. Sähkömagneettinen aalto ei tarvitse liikkumiseensa mitään kiinteää väliainetta, vaan se voi esimerkiksi liikkua ilman välityksellä. /3/



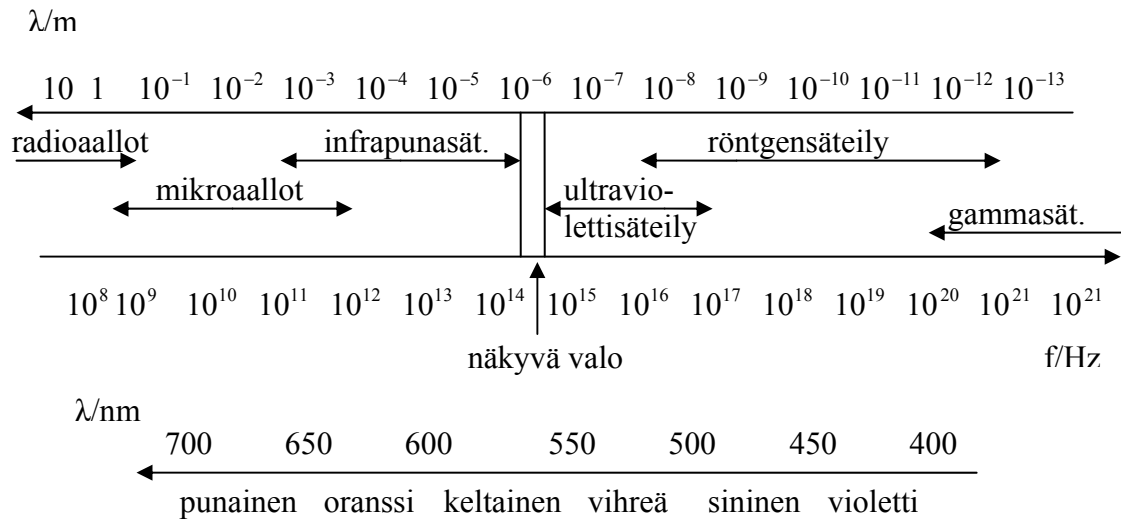
Kuvio 2. Sähkömagneettisen aallon synty. /3/

Kuviossa 2 siniset ympyrät kuvaavat sähkökenttää ja vihreät magneettikenttää. Sähkökentän ja magneettikentän vaikutus toisiinsa on sähkömagneettisessa aallossa poikittaista. Keskellä kuvaa on tilanne, jossa sähkökenttä on syntynyt. Sen purkautuminen synnyttää vierelleen magneettikentän, mitä kuvaa ensimmäinen nuoli. Magneettikentän purkautuminen on taas synnyttänyt vierelleen sähkökentän (nuoli 2), minkä jälkeen on taas magneettikenttä syntynyt. Tämä ketjureaktio on sähkömagneettinen aalto, joka leviää ympäristöönsä valonnopeudella.

2.1 Sähkömagneettisen aallon spektri

Sähkömagneettisten aaltojen taajuus- ja aallonpituus alue on hyvin laaja. Aaltoja on löydetty ainakin alueella $10^{-3} - 10^{24}$ Hz. /5/

Tämä alue jaotellaan sähkömagneettisten aaltojen aallonpituuden ja taajuuden mukaan eri osa-alueisiin, jotka yhdessä muodostavat sähkömagneettisten aaltojen spektrin. Kyseisen spektrin eri osa-alueet ovat nähtävissä kuviossa 3. Kuvioista voidaan nähdä, etteivät alueet ole kovinkaan tarkkoja, sillä ne menevät osin päällekkäin.



Kuvio 3. Sähkömagneettisen aallon spektrin eri osa-alueet. /5/

Kuviossa 1 ylärivillä nähdään tietyn aallon aallonpituus, jonka perusyksikkönä on metri. Usean aallon pituus on kuitenkin paljon lyhyempi. Keskirivillä nähdään aallon taajuus, jonka perusyksikkönä on Hertsi. Keskellä kuvaa on kuvattuna näkyvän valon varaama kaista aaltojen aallonpituus ja taajuus alueella. Alarivillä taas on kuvattuna valon eri värien aallonpituudet, joiden yksikkönä on nanometri. Hyvin monet fysikaaliset tekijät siirtyvät paikasta toiseen sähkömagneettisena aaltoiluna, kuten kuvasta voidaan päätellä.

2.2 Radiotaajuinen sähkömagneettinen aalto

Sähkömagneettinen aalto kuljettaa mukanaan energiaa. Tätä ominaisuutta käytetään hyödyksi esimerkiksi laitteissa, joilla pyritään siirtämään tietoa paikasta toiseen.

Radiotaajuisella sähkömagneettisella aallolla pystytään siirtämään tietoa pitkienkin etäisyyksien päähän. Laitteita jotka synnyttävät sähkömagneettisia kenttiä, ovat mm. matkapuhelimet, niiden tukiasemat, televisio- sekä radiolähettimet ja tutkat.

Radiotaajuisten kenttien voimakkuus ilmoitetaan tehotiheytenä, jonka yksikkö on wattia neliökilometrille, eli W/km^2 . /1/

Kun puhutaan radiotaajuisesta lähteestä, kuten matkapuhelimesta, joka on lähellä kehoa, käytetään suurena SAR-arvoa, jonka yksikkö on wattia kilogrammalle (W/kg). Tämä arvo kuvaa radioaalloista ihmisen kehoon tai sen osaan imeytyvää tehoa. /1/

Tehotiheyden avulla pystytään jossakin määrin laskemaan kehoon absorboituneen tehon määrää, kun taajuus on tarpeeksi suuri, jolloin aallonpituus pituus pysyy hyvin lyhyenä. Mitä pidempi aallonpituus säteilyllä on, sitä enemmän keho heijastaa säteilyä pois. Kaavalla 4 saadaan laskettua tehon määrä.

$$P = (1 - R^2) \cdot A \cdot S \quad (4),$$

jossa $(1 - R^2) =$ tehoheijastuskerroin (kehosta)

$A =$ kehon pinta-ala

$S =$ tehotiheys /3/

Tämän tehon avulla saadaan SAR-arvo laskettua, kun tiedetään vielä kehon massa, mutta siitä tarkemmin seuraavassa luvussa.

3 Ominaisabsorptionopeus (SAR)

SAR (Specific Absorbtion Rate) eli ominaisabsorptionopeus kuvaa suuretta, jolla mitataan kehoon absorboituneen energian määrää radiotaajuisesta tehosta, joka vaikuttaa kehoon kehon ympärillä olevan sähkömagneettisen kentän avulla.

Absorboituvan tehon määrä riippuu muun muassa radiotaajuisen kentän taajuudesta, pulssitehosta, altistuksen kestosta sekä kehon kudosten johtavuudesta. /6/

SAR voidaan jakaa kahteen erilaiseen ryhmään. Paikallinen SAR tarkoittaa sitä, että SAR-arvo mitataan tai lasketaan jostakin pienemmästä alueesta kudoksella, esimerkiksi otetaan 10 gramman painoinen kudoksen osa tarkasteluun. Koko kehon SAR taas tarkoittaa koko kehon yli vaikuttavaa kenttää. Käytännössä saadaan mitattua tai laskettua paikallinen SAR, jonka avulla voidaan määrittää koko kehoon vaikuttava keskimääräinen SAR.

SAR:n määrittämiseen voidaan käyttää muutamia eri tapoja. Kaavassa 5 nähdään, miten SAR saadaan määritettyä tehon avulla, joka saatiin laskettua edellisen luvun kaavalla 4. Kaavaa voidaan käyttää kuitenkin lähinnä vain paikallisen SAR-arvon laskemiseen.

$$SAR = \frac{P}{m} \quad (5),$$

jossa P = kehon osaan absorboitunut kokonaisteho

m = kehon osan massa

SAR-arvon mittaaminen elävän ihmisen sisältä on mahdotonta, joten sen mittaamiseen käytetään mm. mallinukkea, joka sisäisesti vastaa ihmistä. Tällä tavalla mitatusta absorboitumisesta voidaan laskea kehoon vaikuttava paikallinen SAR-arvo. Esimerkiksi matkapuhelimien arvot mitataan näin. Mittauksia on tehty myös eläimien sekä kuolleiden ihmisten avulla. /3/

Paikallinen SAR määritellään pieneen kudospalaan absorboituneen tehon keskiarvon avulla. Kansainvälisen ionisoimattoman säteilyn järjestön (ICNIRP) ohjearvossa mitattavan kudospalan paino on 10 grammaa. Mitoiltaan kudospala on noin $2,15 \times 2,15 \times 2,15 \text{ cm}^3$ ja kudoksen tiheydeksi oletetaan veden tiheys 1000 kg/m^3 , sillä suuri osa kudoksista on vettä. Kudokseen absorboituva teho ilmenee siinä lämmön nousuna. SAR voidaankin määrittää kudoksen lämpötilan noususta kaavan 6 mukaisesti. /3/

$$SAR = c \frac{dT}{dt} \quad (6),$$

jossa c = kudoksen ominaislämpökapasiteetti (J/(kgK))
 dT = lämpötilan muutos kelvineinä (K) tai asteina ($^{\circ}\text{C}$)
 dt = lyhyt lämmitysaika (s)

SAR voidaan määrittää myös kehossa ja kudoksissa vaikuttavan virrantiheyden (J) sekä kehon yli vaikuttavan sähkökentän voimakkuuden (E) avulla. Kaavasta 7 voidaan havaita virrantiheyden yhteys sähkökentän voimakkuuteen ja kaavasta 8 nähdään, miten näiden kahden arvon avulla voidaan SAR määrittää.

$$J = \sigma \cdot E \quad (7),$$

jossa σ = kudoksen johtavuus mitattavassa pisteessä

$$SAR = \frac{J^2}{\rho \cdot \sigma} = \frac{\sigma \cdot E^2}{\rho} \quad (8),$$

jossa ρ = mitattavan kehon kappaleen tiheys

Virrantiheys saadaan arvioimalla kehon kudoksissa kulkevien virtojen määrä ja kudoksien eri tyyppien vaikutus virrantiheyteen. SAR-arvon määrittämistä hankaloittaa myös se, että kudoksen kaltaiseen häviölliseen kappaleeseen muodostuva sähkökenttä on hyvin epätasainen kappaleen eri osissa. Vaikka kappale, kuten kudoksesta

muodostuva osa olisi kuinka tasainen tahansa tai se muodostuisi homogeenisesta aineksesta, olisi kenttä silti epätasainen. Ihmisen kudokset eivät ole homogeenisia, eivätkä kudoksien muodostamat kappaleet tasaisia, mikä hankaloittaa SAR-arvon määrittämistä. Virrat yleensä myös kasautuvat kehossa eri paikkoihin ja tähän paikkaan syntyvän lämpöabsorption määrä voi olla hyvinkin suuri verrattuna kehon keskiarvoon. /3/

4 Sähkömagneettiset kentät ja keho

Esimerkkinä sähkö- sekä magneettikentän vaarallisuutta voisi kuvata seuraavalla: IARC luokittelee syöpävaarallisuuden neljään eri luokkaan. Ryhmään 2B kuuluvat pientaajuisten magneettikenttien lisäksi esimerkiksi kahvi ja pakokaasu. Luokkaan 3 kuuluvat altisteet, joita ei nykytiedon avulla pystytä luokittelemaan karsinogeenisuuden mukaan. Tähän luokkaan kuuluvat esimerkiksi tee ja pientaajuiset sähkökentät. /7/ Kyseessä ei siis ole suurenluokan syöpää aiheuttavat altisteet. Kahvilta ja teeltä ihminen voi kuitenkin välttyä, mutta esimerkiksi radiotaajuiset aallot liikkuvat ihmisen ympärillä jatkuvasti.

Sähkömagneettisten kenttien biologisia vaikutuksia voidaan tutkia parhaiten tarkastelemalla kehoon vaikuttavan sähkökentän, kudoksissa syntyvien virtojen ja niiden virrantiheyden sekä kehoon absorboituvan tehon määrän eli SAR-arvon avulla. Ongelmana tarkastelussa kuitenkin on se, miten ulkoinen sähkömagneettinen kenttä, josta keho absorboi tehoa, vaikuttaa siihen, miten kehoon indusoituu kehon sisäisiä kenttiä. Johtuen kenttien muutoksista kehossa, on niiden mittaaminen haastavaa. Vaikka kaksi henkilöä altistuisi samanlaiselle tai samalle kentälle, saattaisi energian absorboituminen kehoon olla erilaista riippuen henkilöiden fyysisistä ominaisuuksista ja erilaisuuksista. Erisuuruinen absorption määrä riippuu esimerkiksi kehon koosta, muodosta, kudosten johtavuudesta ja kehon asennosta kenttää kohden. /3/

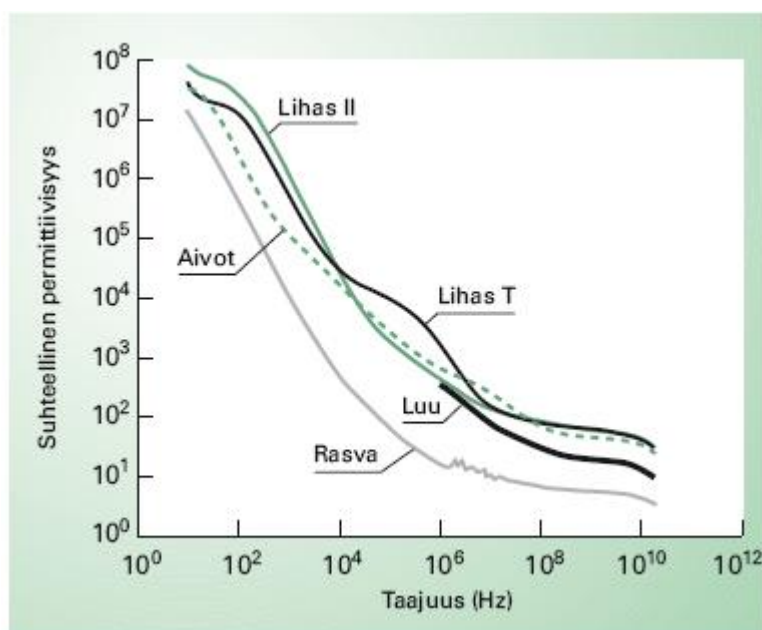
4.1 Kehon kudosten sähköiset ominaisuudet

Kehon kudokset ovat pääosin vettä, siihen liuenneita suoloja ja muita orgaanisia yhdisteitä, kuten aminohappoja, hiilihydraatteja, nukleiinihappoja ja rasvahappoja.

Kudosten vesipitoisuus 40-70% (riippuen kudoksesta), sekä muu solurakenne ovat keskeisimpiä vaikuttajia kudosten sähköisiin ominaisuuksiin. /3/

Kudokset voidaan jakaa kahteen selkeästi erilaiseen ryhmään kudosten sähköisen johtavuuden ja permittiivisyyden suhteen. Permittiivisyys tarkoittaa suuretta, jolla mitataan, kuinka helposti väliaine, tässä tapauksessa ihmisen kudoksesta varastoi energiaa itseensä ja tätä myöden kasvattaa tehoabsorption määrää kudoksessa.

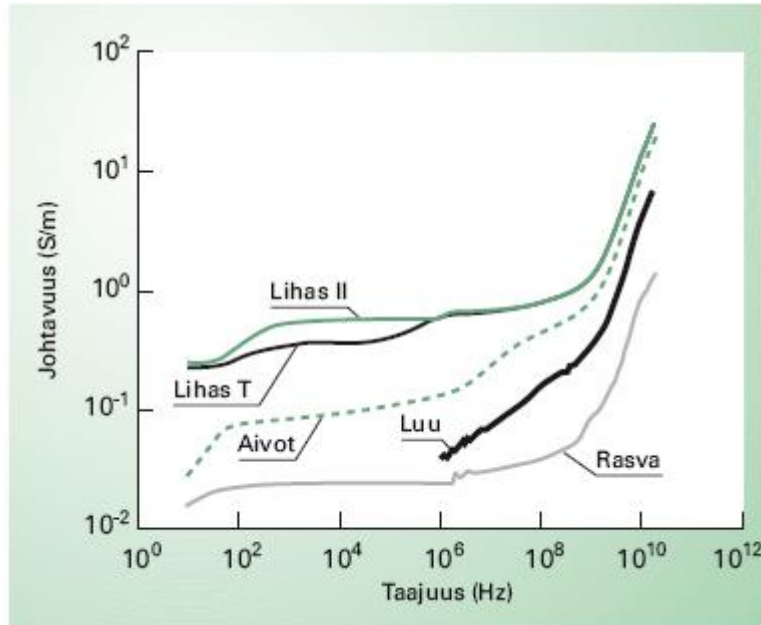
Ensimmäiseen ryhmään kuuluvat selkeästi vesipitoisimmat kudokset, kuten lihakset, aivot, iho ja useimmat sisäelimet. Toiseen ryhmään kuuluvat vähemmän vettä sisältävät kudokset, kuten rasva ja luu. Seuraavissa kuvioissa on esitetty, kuinka näiden eri kudostyyppien permittiivisyys sekä sähköinen johtavuus muuttuu, kun sähkömagneettisen kentän taajuus muuttuu. /3/



Kuvio 4. Kudoksen suhteellisen permittiivisyyden muutos taajuuden funktiona. /3/

Y-akselilla nähdään suhteellisen permittiivisyyden määrä ja x-akselilla kentän taajuus. Kuvio 4 voidaan nähdä, että taajuuden kasvattaminen heikentää väliaineen permittiivisyyttä, joka pienentää energian absorption määrää. Lihaskäyrä II tarkoittaa, että sähkökenttä, joka kudokseen vaikuttaa, on lihassyiden mukainen. Lihaskäyrä T tarkoittaa, että sähkökenttä on poikittain lihassyitä vastaan. Lihassyiden suunta kenttää kohtaan ei vaikuta permittiivisyyden määrään kovinkaan paljoa. Lihaksien, luiden sekä

aivokudoksen permittiivisyys pysyy jokseenkin samalla tasolla, vain rasvakudoksen arvot eroavat selvästi muista.



Kuvio 5. Johtavuuden muutos taajuuden funktiona. /3/

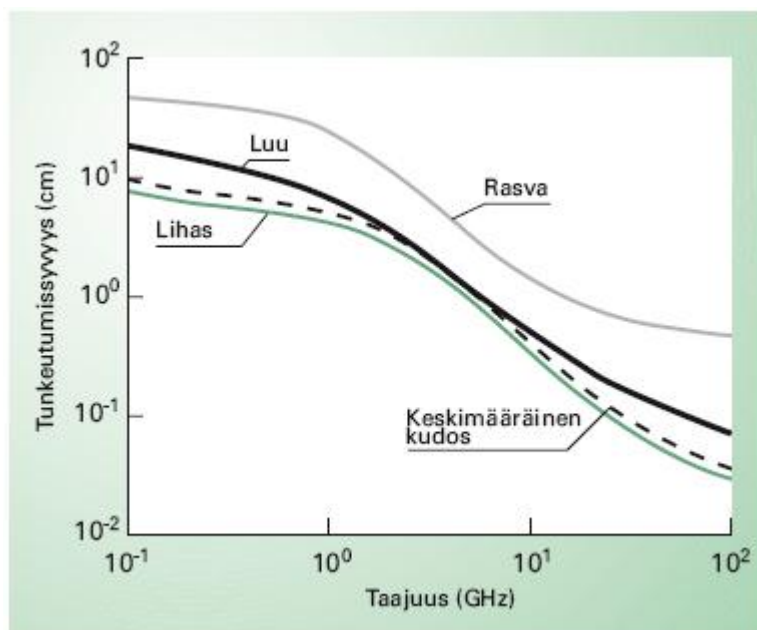
Johtavuudella kuvataan suuretta, jolla mitataan kehoon syntyvien virtojen kulkeutumista. Suurempi johtavuus tarkoittaa parempaa kulkeutumista ja tätä myöten myös absorboidun tehon määrä vähenee tietyssä kudoksessa. Y-akselilla nähdään johtavuuden määrä kudoksessa suhteessa x-akselin taajuuden muutokseen.

Johtavuudenkin suhteen voidaan nähdä, että vähemmän vesipitoiset kudokset (luu, rasva) ovat selkeästi huonommin johtavia kuin muut kudokset. Myös aivojen kudosten johtavuus on aluksi huonoa, kun kentän taajuus on pieni. Taajuuden kasvattaminen siis parantaa sähkövirtojen johtavuutta ja huonontaa energian absorboitumisen määrää kudoksessa.

Elimistössä lihasten tai lihastyypisten kudosten määrä aikuisessa ihmisessä on noin puolet, joten keskeisimpänä vaikuttajana absorptiolle käytetään lihaksen sähköisiä ominaisuuksia. Kehon keskiarvo johtavuudelle ja permittiivisyydelle määritetään noin kahden kolmasosan verran lihasten mukaan. /3/

Johtavuus ja permittiivisyys määrittää osakseen sen, kuinka paljon kehoon absorboituu tehoa. Kolmantena asiana voidaan tarkastella kuinka syvälle sähkömagneettisen kentän

synnyttävä aalto pystyy tunkeutumaan kehoon ja lisäämään absorptio määrää. Kuviossa 6 nähdään eri kudostyyppien vaikutukset sähkömagneettisen aallon tunkeutumiselle elimistöön.



Kuvio 6. Kudoksien vaikutus sähkömagneettisen aallon tunkeutumiselle kehoon. /3/

Kuviosta 6 nähdään Y-akselilla aallon tunkeutumissyvyys kudokseen ja x-akselilla on aallon taajuus. Kuten kuviosta voidaan nähdä, taajuuden nouseminen huonontaa tunkeutumissyvyyttä kaikilla eri kudoksilla. Sähkömagneettinen aalto pääsee siis tunkeutumaan syvemmälle kehoon ja aiheuttamaan syvemmällä absorptiota pienemmillä taajuuksilla kuin suuremmilla. Kuviosta voidaan myös nähdä, että lihaksen osuus keskimääräisen kudoksen tunkeutumissyvyyteen on hyvin suuri.

4.2 Kentän voimakkuuden vaikutus kudokseen

Niin kuin on käynyt selväksi, aiheuttaa muuttuva sähkö- ja magneettikenttä kehon sisälle sähkökentän, tämä puolestaan synnyttää kudoksiin virtoja. Riittävän suuri kehon sisäinen sähkökenttä (riittävän korkealla taajuudella) voi lämmittää kudoksia ja soluja ja häiritä niiden toimintaa muuten. Nämä oireet ovat fysikaalisesti jo todettuja, ja näiden oireiden mukaan on eri laitteille ja kentille asetettu maksimialtistusrajat. Altistusrajat määräävät sen, kuinka suurella teholla esimerkiksi jokin laite, vaikkapa matkapuhelin

voi lähettää energiaa. Kudoksissa ja soluissa voi kuitenkin esiintyä muita oireita kuin lämpeneminen, esimerkiksi muutoksia kudoksessa sen solu- ja molekyyllitasolla. /3/

Tuloksista ei kuitenkaan ole saatu täyttä selvyyttä, ovatko muutokset pysyviä missään tapauksessa tai ovatko ne edes haitallisia. Kenttiä, jotka aiheuttavat tällaisia oireita, kutsutaan heikoiksi kentiksi. Käsite heikosta kentästä ei ole vakiintunut, sillä tutkimustulokset niistä eivät ole vielä kovin selkeitä. Heikko kenttä vaikuttaa joka tapauksessa selvästi asetettujen altistusrajojen alapuolella. /3/

Voimakkaampien kenttien vaikutukset ovat siis selvät, ne aiheuttavat kudoksien solujen lämpenemistä sekä hermojen stimulaatiota eli sähköistä ärsytystä, lihasten vajaatoimintaa jne. Heikkojen kenttien vaikutuksia pidetään hyvin tarkkoina solu- ja molekyyllitason asioina. Niiden oletetaan voivan häiritä biokemiallisten viestien kulkeutumista solujen välillä ja viestin välittymistä itse solun sisällä ja häiritä näin kudoksen toimintaa. Kuitenkaan näistä tapauksista ei ole vankkaa fysikaalista todistusaineistoa. /3/

5 Kenttien taajuuden vaikutukset kehoon ja kudoksiin

Seuraavissa luvuissa käsitellään taajuuden vaikutusta sähkömagneettisen kentän vaikutuksiin. Kentät on jaettu suur- eli radiotaajuisiin kenttiin (100 kHz – 300 GHz), pientaajuisiin kenttiin (30 – 300 Hz) sekä vielä välitaajuisiin kenttiin (300 Hz – 100 kHz). Jako on tehty sen vuoksi, että esimerkiksi radiotaajuisien kenttien vaikutukset ovat erilaisia kuin pientaajuisien. Välitaajuisien kenttien vaikutuksia on hieman vähemmän tutkittu, sillä niiden sisältämän taajuusalueen laitteita ei käytetä niin paljoa kuin radio- ja pientaajuisia kenttiä käyttäviä laitteita. /3/

5.1 Radiotaajuisien sähkömagneettikenttien lämpövaikutukset

Solujen lämpenemiseen liittyvissä tutkimuksissa on saatu selville, että lämpötilasta ja altistumisajasta riippuen solun toiminta voi tilapäisesti muuttua, tuloksena voi olla solukuolema, elimistön lämmönsäätelyjärjestelmän (mm. hikoilu, veren kiertämisen jäädyttävyyys) kuormittuminen tai jopa koko kudoksen vaurioituminen pysyvästi

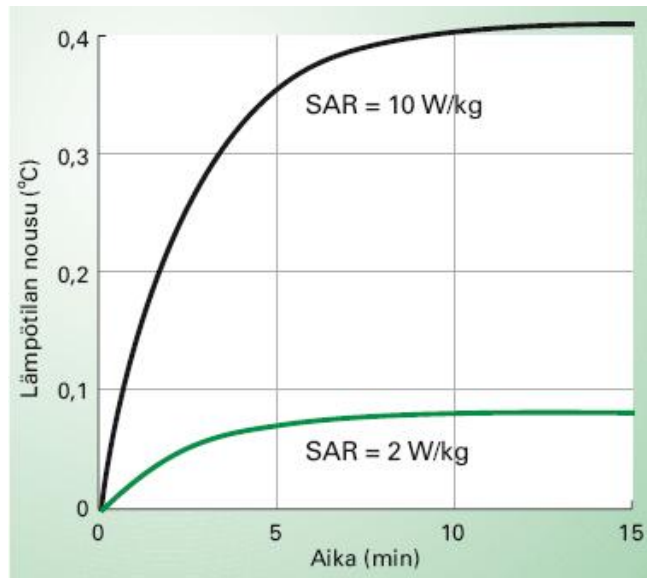
johtuen laajemmasta solukuolemasta. Lämpötilojen vaikutukset kehossa ja niiden aistiminen vaihtelevat suuresti, pienin lämpötila, jonka ihminen voi aistia on noin 0,07 °C:n luokkaa. Solujen kuoleminen alkaa noin 5 asteen nousun jälkeen kehossa, jolloin kehon lämpötila on noin 42 °C:n luokkaa. /3/

SAR-arvolla määritetään, kuinka suuri määrä tehoa läheteestä absorboituu kehoon. Tämä tarkoittaa radiotaajuisessa kentässä käytännössä sitä, kuinka paljon kehon kudokset lämpiävät tietyllä SAR-arvolla. Kehon lämpenevyyden määrää ei kuitenkaan ole aivan helppoa saada lasketuksi SAR-arvosta. /3/

Vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi:

- Absorboituvan energian määrä
- Energian jakautuminen kudoksissa
- Aika, kuinka kauan kentälle altistutaan
- Kudosten ominaislämpökapasiteetti (kuinka paljon energiaa kudoksesta pystyy varastoimaan itseensä)
- Kudoksen lämmönjohtokyky (paljonko kudokseen absorboituneen energian aiheuttamaa lämpöä johtuu pois kudoksesta) /3/

Muita tekijöitä ovat myös ympäristön lämpötila, ilmankosteuden määrä ja ilmavirtauksien voima. Keho säätelee sen lämpöä myös hikoilulla ja pintaverenkierron jäädyttävällä vaikutuksella. Pintaverenkierrossa jäähtynyt veri pystyy viilentämään lämmennyttä kudosta. Seuraavassa kuviossa on hieman mallinnettu, millainen paikallinen SAR-arvo vastaa minkäkin suuruista lämmön nousua. /3/



Kuvio 7. Lämpötilan nousu suhteessa paikalliseen SAR-arvoon ajan kasvaessa. /3/

Kuvion 7 tulokset ovat määritetty hyvin yksinkertaisella menetelmällä, eikä niissä ole otettu huomioon kaikkia pieniä tekijöitä. Menetelmiä, joilla pystytään tarkemmin määrittämään SAR-arvon vaikutus kudoksen lämpenemiseen, on kehitetty esimerkiksi Alankomaissa Utrechtin yliopistossa. Utrechtin yliopiston sekä muiden tutkimusryhmien tutkimuksissa on saatu selville, että matkapuhelimet aiheuttavat aivokudokselle keskimääräisesti noin 0,1 °C:n lämmön nousun. Suurimmalla sallitulla SAR-arvolla, mitä matkapuhelimille on asetettu Euroopassa, eli 2 W/kg:n arvolla on saatu lämmön nousun arvoksi noin 0,2 - 0,3 °C. Kuviossa 7 lämpötilan nousuksi on saatu vajaa 0,1 °C. Kummallakaan lämmön nousun arvolla ei kuitenkaan ole vielä tutkimuksien mukaan juuri minkäänlaisia terveydellisiä haittoja. Paikallisen SAR-arvon pitäisi olla noin 50 W/kg, ennen kuin haitallisia muutoksia aivokudoksessa havaittaisiin. Kehon lämmönsäätelyjärjestelmän tarkoituksena on pitää kehon lämpö noin 37 asteessa. Normaali vuorokautinen vaihteluväli on noin $\pm 0,5$ °C. /3/

Arvioitaessa kuinka paljon sähkömagneettisten kenttien aiheuttama lämpöabsorptio vaikuttaa kehoon, on hyvä ottaa huomioon myös muita lämpöä kehoon tuottavia asioita, kuten ilman lämpötila, suuri ilman kosteus (lisää hikoilua) ja auringon säteily. Esimerkiksi raskas liikunta kuumalla ja kostealla ilmalla voi nostaa kehon lämpöä kaksikin astetta. /3/

Lämpötilan nousu kudoksissa on ainoa täysin varmaksi todistettu oire, joka radiotaajuisista sähkömagneettisista kentistä syntyy kehoon. Lämmön nousu aiheuttaa esimerkiksi proteiinien rakenteen muuttumista solussa sen denaturoitumisen (proteiinin tuhoava ominaisuus) takia. Proteiinien denaturoitumisen seurauksena voi tapahtua esimerkiksi koko solun kuoleminen. Kuvioista 8 nähdään millaisia vaikutuksia lämmön nousu kehossa aiheuttaa. /3/

Vaikutus	Kohde	Lämpötilan kynnysarvo (°C)	Altistumisen kesto
Lämpöhalvaus	Ihminen, kehon sisäosat	> 42	1–2 h
Keskushermoston vaurioituminen	Ihminen, rotta, hiiri koira, kissa	42–44	1–2 h
Palovamma iholla	Ihminen	55–60	3–10 s
Kipuaistimus		45	3–10 s
Käyttäytyminen muuttuu	Rotta (koko-keho)	1 °C (lämpötilannousu)	40–60 min
Harmaakaihi ¹⁾	Mykiö (kani)	≥ 41	≥ 30 min

Taulukko 2. Lämmön nousun vaikutukset kehoon. /3/

Taulukon 2 ensimmäisestä sarakkeesta nähdään, millainen vaikutus lämpötilasta syntyy. Toisesta sarakkeesta nähdään lämpöaltistuksen kohde. Kahdessa viimeisessä sarakkeessa nähdään lämpötila, joka tapahtumaan vaaditaan, ja kauanko kohteen pitää lämmölle altistua. Solut selviävät hyvin vielä alle 42 °C:ssa, sillä solut kehittävät termotoleranssin, jossa proteiineja korjataan erityisten korjausproteiinien avulla. Vaikutus näkyy siinä, että solukuolema hidastuu. Termotoleranssin käynnistyttyä solut kestävät myös myöhemmässä vaiheessa tapahtuvan lämmön nousun hyvin. /3/

Kuitenkin noin 42 - 43 °C:n lämpötilassa korjausmekanismi alkaa kuormittua ja tarvitaan noin 1 - 2 tuntia aikaa, jotta voidaan selkeästi havaita solukuolemien lisääntyneen. Herkimpiä soluja lämmön noususta johtuvalle solukuolemalle ovat esimerkiksi juuri aivosolut ja kivessolut. Silmässä olevat mykiön solut ovat myös hyvin herkkiä, sillä niistä puuttuu solua jäähdyttävä verenkierto. /3/

Taulukon viimeiseltä riviltä nähdään, että harmaakaihia syntyy 41 °C:n jälkeen, jolloin paikallinen SAR:n arvo on noin 100 W/kg ja absorboitunut teho jakautuu koko silmän alueelle. Harmaakaihi havaitaan samentuneina kohtina näössä. Harmaakaihia voi tulla myös kuumissa paikoissa, kuten metallin- ja lasinsulattamoissa työskentelystä, sillä lämpö säteilee niissä infrapuna-alueella. /3/

Kun keho absorboi tehoa ja siitä syntyy lämmön nousua, on ensimmäinen oire kehon oman lämmöntuoton osittainen korvautuminen absorptiosta saadulla lämmöllä. Tämä tapahtuu, kun koko kehon SAR on noin 0,5 – 1,5 W/kg. /3/

Haitalliseksi tai vaaralliseksi lämpökuormitus muuttuu noin 4 W/kg:n SAR-arvolla koko kehossa. Tämä ilmenee uupumuksena ja jopa lämmönsäätelyjärjestelmän pettämisenä, josta voi seurata lämpöhalvaus ja tarpeeksi kauan altistettuna jopa kuolema. Taulukosta 3 nähdään muutamia SAR:in kynnysarvoja. /3/

Vaikutus	Koko kehon SAR (W/kg)	Paikallinen SAR ¹ (W/kg)
Kipuaistimus iholla		120
Harmaakaihi		100
Lämpöaistimus		8
Lämpöuupuminen ja -halvaus	>4	
Lämmönsäätelyjärjestelmä alkaa kuormittua	4	
Lämpökuormaa vähennetään tietoisesti	1,2	
Perusaineen-vaihdunnan lämpö pienenee	0,5–1,5	
ICNIRPin työntekijäraja ylittyy	0,4	10 ¹¹
ICNIRPin väestöraja ylittyy	0,08	2 ¹¹

Taulukko 3. SAR-kynnysarvoja. /3/

Aikaisemmasta taulukosta nähtiin muutamia eri tapahtumia, joita syntyy kun lämpötila kehossa nousee tiettyyn pisteeseen. Taulukossa 3 on listattuna joillekin näistä tapahtumista ominaisia SAR-arvoja. Paikallinen SAR tarkoitti siis tiettyyn pienempään

alueeseen kohdistuvaa kentän vaikutusta. Tällainen vaikutus tarvitsee huomattavasti suuremman määrän tehoa kentältä, jotta haittavaikutuksia alkaa syntyä. Koko kehon SAR saadaan integroimalla paikalliset SAR-arvot koko kehon yli. Koko kehon arvo on huomattavasti paikallista pienempi, sillä koko kehon lämpöaltistuminen kuormittaa huomattavasti enemmän kehon lämmönsäätelyjärjestelmää. /3/

Kaksi viimeistä riviä tarkoittavat kansainvälisen ionisoimattoman säteilyn järjestön asettamia rajoja näille arvoille, riippumatta säteilyn lähteestä. Paikallisen SAR-arvon kohdalla on huomautuksena, että arvo on määritetty 10 gramman painoiselle kudokseksi. Lämpökuorman tietoinen vähentäminen tarkoittaa esimerkiksi vaatetuksen vähentämistä ja hakeutumista viileämpään paikkaan. /3/

Suuret altistumiset, joilla koko kehon SAR voi nousta yli rajojen, ovat harvinaisia normaalin ihmisen elämässä. Kuitenkin joissakin ammateissa, kuten antennien korjaustöissä, tai muiden suurien sähkölaitteiden (jotka synnyttävät suuria sähkömagneettisia kenttiä) läheisyydessä työskentely voi olla joskus haitallista keholle. Myös esimerkiksi sähköhitsauslaitteet, sekä suurtaajuuskuumentimet (käytetään muovinsaumaukseen ja liimankuivaamiseen) voivat aiheuttaa paikallisen SAR arvon nousua tietyssä kudoksessa niin korkeaksi, että soluvaurioita voi syntyä. /3/

5.2 Radiotaajuiset kentät ja syöpä

Sähköisten laitteiden kehittyminen, ja esimerkiksi matkapuhelimien ja muiden sähkölaitteiden yleistymisen viimeisten muutaman vuosikymmenen aikana ovat herättäneet kysymyksiä, voisiko laitteilla olla joitakin haitallisia terveysvaikutuksia. Sähkömagneettisten kenttien- ja aaltojen kudosta lämmittävä vaikutus on jo todettu, mutta voisiko laitteilla olla joitain muitakin terveysvaikutuksia, kuten esimerkiksi syövän kehittymisen kiihtyminen. Asiaa on tutkittu useassa eri maassa erilaisilla kokeilla. Jos jokin taho on löytänyt joitain viitteitä siitä, että kentillä olisi vaikutusta syövän kehittymiseen, on väitteen kohta jokin muu taho todistanut vääräksi. Jonkin tahon saamien tuloksien hyväksyminen ja varmistaminen vaatii sen, että kokeet joilla

tulokset ovat saatu, voidaan toistaa riippumattomissa testausryhmissä. Monissa tapauksissa ongelmana on juuri ollut, ettei kokeita ole voitu toistaa, tai kokeista saadut tulokset ovat olleet erilaisia. /3/

Ehkä suurimpina ongelmina säteilyn vaikutuksien tutkimisessa on se, että kokeita ei voida tehdä ihmisille vaan ne joudutaan tekemään eläimillä, ja näitä tuloksia ei voida suoranaisesti verrata ihmisiin. Syöpätutkimuksissa joissa on tutkittu ihmisiä, ovat tiedot kentille altistumisten määrästä esimerkiksi töissä eri laitteista, tai matkapuhelimesta kerätty ihmisiltä itseltään. Altistumismittarit ovat sitä myöten hyvin karkeita ja epävirallisia. /3/

Useissa eri tutkimuksissa ei ole saatu varmistusta siitä, että matkapuhelimet aiheuttaisivat kasvanutta riskiä syöpään sairastumiseen. Vaikkakin useilla potilailla joilla on ollut aivokasvain, on todettu että kasvain on sillä puolella, jolla on matkapuhelinta käytetty. Kuitenkaan ei voida olla varmoja, onko matkapuhelin vaikuttanut syövän kehittymiseen millään tapaa. /3/

Tutkimuksia on tehty myös eri ammattilaisten piirissä, olisiko jossakin ammatissa työskentelevien henkilöiden syöpäriski tai sairastuneisuus syöpään suurentunut. Tulokset ovat olleet vaihtelevia, joissakin tutkimuksissa on löydetty pientä, mutta mahdollista riskin lisääntyneisyyttä, kuten tutkan käyttöön liittyneissä ammateissa. Kuitenkin taas joissakin tutkimuksissa ei ole löydetty lisääntynyttä riskiä. Ongelmana selkeästi vielä on, että tutkimuksia ja laitteiden käyttöä on harjoitettu vielä hyvin vähän aikaa ja selkeästi tarvitaan vielä jatkuvuutta tutkimuksiin, jotta lopullisia ja varmoja johtopäätöksiä voidaan tehdä. Vaikka nyt näyttäisi siltä, että vaaraa ei ole, pitää kuitenkin huomioida esimerkiksi lisääntynyt lasten matkapuhelimien käyttö. Lapset käyttävät puhelimia elämänsä aikana paljon kauemmin ja luultavasti enemmän kuin tämän päivän aikuinen. Myös lisääntyvä sähkölaitteiden käyttö (sähköautot) tulevaisuudessa lisäävät kentille altistumisen määrää. Tutkimuksia aiheeseen liittyen on siis hyvä jatkaa vielä useita vuosikymmeniä eteenpäin, jotta voidaan asiaan saada varmuutta. /3/

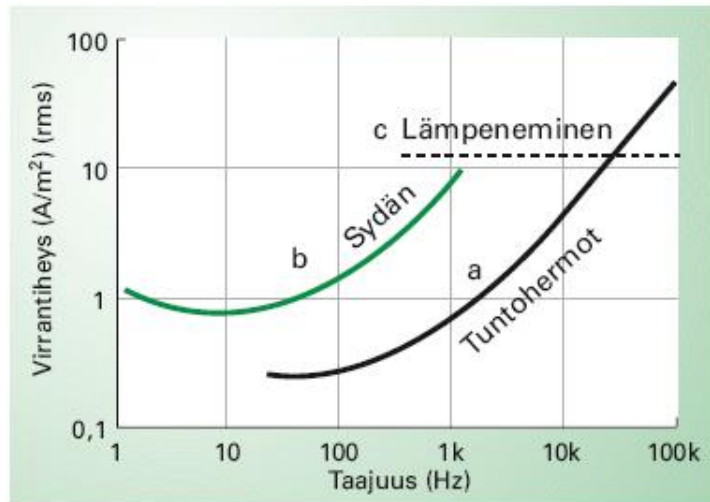
5.3 Pientaajuisten kenttien vaikutuksia kudoksiin

Suurilla taajuuksilla kudokset lämpenevät absorboituneen tehon vaikutuksesta, pienemmillä taajuuksilla solujen ja niistä koostuvien kudoksien toiminta alkaa häiriintyä sähkömagneettisen kentän vaikutuksesta. /3/

Erityisesti hermosolut, lihassolut ja aistimuksia vastaanottavat solut ovat herkkiä sähköiselle stimulaatiolle, eli sähköiselle ärsytykselle. Tämä tarkoittaa lihasten kuten sydänlihaksen toiminnan häiriintymistä, kuten kammiovärinä. Muita stimulaation ilmentymiä ovat esimerkiksi iholla ärsytys- ja aistimusilmiöt. Hermo- ja reseptorisolut (käsittelevät sähköisiä viestejä kehossa) voivat stimuloitua, ja siitä esimerkkinä ovat esimerkiksi näköaistimukset. Hermosolujen stimulaation määrään vaikuttaa se, kuinka kauan sähkökenttä vaikuttaa soluun. /3/

Voimakas pientaajuinen magneettikenttä ja sen kudokseen synnyttämät sähkökenttä ja virta ovat merkittävimpiä lähteitä tällaiselle stimulaatiolle. Virrantiheyden suuruus kudoksessa on merkittävin tekijä kun käsitellään stimuloitumista. Suurilla taajuuksilla lämpövaikutukset ovat voimakkaampia kuin stimulaatiovaikutukset, jolloin stimulaatiovaikutukset jäävät lämpövaikutuksien varjoon. /3/

Pienemmillä taajuuksilla kuitenkin stimulaatio on keskeisempi vaikuttaja kehossa. Kuviosta 8 nähdään miten sydän ja muut tuntohermot käyttäytyvät tietyllä taajuudella, ja miten stimuloitumissa niissä esiintyy.



Kuvio 8. Sydämen ja tuntohermosolujen stimuloituminen. /3/

Suuremmilla taajuuksilla kudoksen lämpenemisen vaikutukset ovat merkitsevempiä kuin stimulaatiosta johtuvat. Käyrästä c nähdään missä lämpövaikutukset alkavat olla suurempia, kyseisessä kohdassa paikallisen SAR-arvon suuruus on noin 1 W/kg. Matalammilla taajuuksilla taas stimulaation vaikutukset ovat merkitsevempiä. /3/

Kuten kuvioista nähdään, pitää sydänlihaksen kudokseen indusoitua suurempi virta kuin tuntohermoihin, jotta stimulaation vaikutuksia siinä esiintyisi. Tämä johtuu siitä, että lihasten solukalvo pystyy kestävämpään suurempaan virrantiheyttä ennen stimuloitumista kuin hermokudos. Kun sydämeen kohdistuu 50 Hz taajuudella noin 2 A/m² virrantiheys, voi sydämessä ilmetä lisälyöntejä, kun virrantiheys ylittää 5 A/m² puhutaan kammiovärinä tilasta. /3/

5.4 Pientaajuistensähkömagneettikenttien muita vaikutuksia

Taajuudeltaan pientaajuisten ja voimakkuudeltaan sellaisten kenttien, joita voi luonnossa ja ihmisten elinympäristöissä esiintyä on myös arveltu olevan jollakin tavalla yhteydessä syövän syntyyn. Varsinaisia viitteitä suorasta vaikutuksesta ei ole voitu varmistaa, mutta on saatu viitteitä, että pientaajuiset kentät ja varsinkin magneettikenttä voisi auttaa syövän syntymisessä ja nopeuttaa sen kehittymistä. Syövän kehittyminen on monimutkainen prosessi, eikä nykytiedolla tunneta kaikkia sen syntymekanismeja. /3/

Kuitenkin yksi tapa syövän kehittymiseen on solun DNA:ssa tapahtuvat vauriot ja

mutaatiot. Jos elimistö ei pysty näitä vaurioita korjaamaan, saattaa koko solu muuntautua syöpäsoluksi. Kuitenkaan kaikki mutaatiot DNA:ssa eivät aiheuta välttämättä syöpää, vain tietyissä solun toimintaa säätelevissä geeneissä syntyvät vauriot nostavat syöpäriskiä. Joissakin tutkimuksissa on saatu viitteitä siitä, että pientaajuinen magneettikenttä hidastaisi vaurioituneiden solujen korjausta ja näin auttaisi syövän kehittymistä. /3/

Solujen jakautumisen kiihtymisen katsotaan edistävän syövänsyntyä. Ensimmäkin se nopeuttaa vaurioituneiden ja pahanlaatuisiksi muuttuneiden solujen kehittymistä kasvaimeksi ja edistää mutaatioiden syntyä soluissa. Pientaajuisten magneettikenttien on joissakin tutkimuksissa havaittu kiihdyttävän solujen jakautumista, joissakin tutkimuksissa taas hidastavan, joten tarkkaa varmaa tietoa asiasta ei ole. Lukuisia muitakin tapoja on tutkittu miten syöpä voisi kehittyä elimistössä ja miten pientaajuiset sähkömagneettiset kentät voisivat vaikuttaa niihin. Tällaisia tapoja ovat esimerkiksi, miten pientaajuiset kentät voisivat estää normaalin solukuoleman tapahtumista, miten kentät estäisivät solun sisäisiä viestien välityksiä ja miten eri solujen välinen viestiliikenne häiriintyisi kenttien vaikutuksesta. Ns. normaalin solukuoleman eli apoptoosin vastakohta on nekroosi, jossa solukalvot hajoavat ja solun sisältö pääsee leviämään kehoon aiheuttaen tulehdusta. Apoptoosi on myös syövän kehittymistä estävä tekijä, joten apoptoosin tapahtumisen estymistä magneetikentän aiheuttamana voidaan pitää syövän syntyä kiihdyttävänä asiana. Kuitenkaan varmaa tietoa ei ole siitä, miten pientaajuiset kentät liittyvät näihin elimistön toimintoihin ja tutkimuksia niistä tarvitaan lisää. /3/

Puheenaiheena on ollut myös pientaajuisten magneettikenttien ja leukemian yhteys. Suurjännitteisten sähkösiirtolinjojen läheisyydessä asuneilla ihmisillä on havaittu kasvanutta riskiä leukemiaan sairastumiseen, varsinkin lapsilla. Kun ihmiseen vaikuttaa noin $0,2 \mu\text{T}$ magneettikenttä, voidaan puhua että ihminen on altistunut voimakkaalle magneettikentälle. Tämän tasoisia magneettikenttiä havaitaan noin 150 metrin päässä 400 kV siirtolinjasta, 70 metrin päässä 200 kV linjasta ja noin 60 metrin päässä 110 kV linjasta. Tutkimuksia on tehty maailmanlaajuisesti koskien leukemiaa ja sen yhteyttä suurjännitteisiin sähkösiirtolinjoihin. Tuloksista ei voida kuitenkaan havaita, että näiden linjojen magneettikentillä olisi ainakaan selkeästi vaarallisia vaikutuksia. Kuitenkin joitakin viitteitä eri tutkimuksissa on saatu, että kentät hieman nostaisivat riskiä

sairastumiseen. 0,2 μT kenttiä ei pidetä vielä kovinkaan suurena riskitekijänä, mutta esimerkiksi yli 0,4 μT kentillä on havaittu olevan jo noin kaksinkertainen riski sairastua leukemiaan, verrattuna 0,2 μT kenttiin. Vuonna 1993 valmistuneessa suomalaisessa tutkimuksessa tutkittiin noin 135 000 suomalaista nuorta jotka olivat asuneet maksimissaan 1,5 km päässä sähkönsiirtolinjasta. Tutkimuksien perusteella voitiin todeta, että leukemiaan sairastumisen riski oli hieman noussut. Riskin kasvu ei kuitenkaan ollut niin suuri, että suurempia johtopäätöksiä olisi voitu tehdä. Kuitenkin kaksi leukemia tapausta havaittiin lapsilla, jotka olivat asuneet tavallista voimakkaamman magneettikentän läheisyydessä. /3/

5.5 Välitaajuisien kenttien vaikutukset

Välitaajuisia kenttiä synnyttäviä laitteita käytetään vielä hyvin vähän verrattuna suur- ja pientaajuisia kenttiä synnyttäviin laitteisiin. Johtuen tästä, välitaajuisia kenttiä ja niiden vaikutuksia kehoon on tutkittu suhteellisen vähän ja aineistoa sen vaikutuksista on vähäisesti. Kuitenkin johtuen sähkölaitteiden määrän kasvamisesta ja välitaajuisia kenttiä synnyttävien laitteiden lisääntymisestä, on syytä myös tutkia niiden mahdollisia vaikutuksia. /3/

Välitaajuisien kenttien vaikutuksia lähdetään tutkimaan ainakin osittain vielä pien- ja suurtaajuisien kenttien kautta. Kun pientaajuisilla kentillä pääsääntöinen vaikutus on hermoston stimulaatio ja suurtaajuisilla on lämpövaikutukset, joudutaan välitaajuisissa kentissä tutkimaan missä kohtaa stimulaatio vaikutukset muuttuvat lämpövaikutuksiin. Kuitenkin välitaajuisilla kentillä on havaittu myös omanlaisiaan vaikutuksia, kuten esimerkiksi vaikutukset luustoon ja sikiöiden kuolleisuuteen. Eräässä ruotsalaisessa tutkimuksessa todettiin välitaajuisien magneettikenttien lisäävän hiiren sikiöiden kuolleisuutta, kun sitä altistettiin tarpeeksi voimakkaalla välitaajuisella magneettikentällä. Tätä tulosta koitti myös suomalainen ryhmä toistaa, mutta kovinkaan merkitseviä tuloksia ei saatu, hiiriensikiöiden kuolleisuuden havaittiin olevan joitakin lieviä vaikutuksia. Välitaajuisia magneettikenttää käytetään myös lääketieteessä luunmurtumien hoitoon, välitaajuisien kenttien on havaittu kiihdyttävän aineenvaihduntaa ja nopeuttavan solujen kasvua. Välitaajuisilla kentillä on ajateltu olevan hermoston kannalta merkitseviä vaikutuksia, samalla tavalla kuin pientaajuisilla

kentillä. Kuitenkin tutkimustuloksia on niin vähän, ettei vielä voida vetää vankkoja johtopäätöksiä, että välitaajuisilla kentillä olisi merkitseviä biologisia vaikutuksia. Syöpään liittyvissä tutkimuksissakaan ei ole löydetty mitään ratkaisevaa, mutta tutkimuksia siitäkin on vielä vähän. /3/

6 Magneettikentän käyttö lääketieteessä

Luunmurtumien hoidon lisäksi magneettikenttää käytetään suuressa määrin lääketieteessä muun muassa magneettikuvauslaitteissa. Laitteiden tekninen kehitys on mahdollistanut sen, että magneettikuvauslaitteiden määrä eri sairaaloissa on noussut kahden viimevuosikymmenen aikana merkittävästi. Laitteiden synnyttämät magneettikentät voivat olla hyvinkin voimakkaita, jopa 2 - 8 T riippuen laitteen tekniikasta. /6/

Voimakkuudeltaan 2 – 8 T kentät aiheuttavat potilaille lämmöntuntemuksia, sekä lämpöuupumusta. Magneettikenttä luonnollisesti vetää puoleensa metalliesineitä. Kuvauslaitteiden ympäristössä olevien metalliesineiden on raportoitu aiheuttaneen joitakin vahinkoja potilaille tai käyttöhenkilökunnalle, sillä magneettikuvauslaite on vetänyt metalliesineitä puoleensa. Suomessa ei kuitenkaan ole viimeksi mainittuja tapauksia jouduttu todistamaan. Joissakin magneettikuvaustilanteissa on kuvaus jouduttu keskeyttämään mm. potilaan tunteen kuumotuksen takia luuntukiraudoissa. Magneettikentän on kerrottu aiheuttaneen selkeätä hermostimulaatiota, joka on havaittu kihelmöintinä ja värinä lihaksissa. Sydäntahdistimen toiminta voi myös häiriintyä voimakkaan magneettikentän vaikutuksesta. Mm. edellä mainittujen tapahtumien takia magneettikuvauslaitteiden käyttö sairaaloissa on hyvin tarkoin valvottua, sekä kuvausalueen suhteen, että kuvattavan potilaan suhteen, sillä kaikissa tapauksissa potilasta ei voida kuvata, johtuen esimerkiksi juuri sydäntahdistimesta. Magneettikuvauslaitteet synnyttävät sekä pien- että suurtaajuisia kenttiä, joten useita näille kentille ominaisia oireita voidaan havaita laitteen käytön aikana. /6/

7 Yhteenveto

Sähkö- tai magneettikentästä absorboitunut teho, kehoon indusoituneet kentät ja niistä indusoituneet virrat vaikuttavat siihen, millaisia oireita kehoon syntyy. Muita vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa kentän taajuus, säteen aallonpituus, kentän voimakkuus, kauanko kentälle altistutaan ja kehosta riippuvat ominaisuudet, kuten kudosten ominaisuudet ja lämmönsäätelyjärjestelmän toiminta. Jälkimmäisistä vaikutuksista voidaan suurimpana kuitenkin pitää taajuuden vaikutusta, sillä suurtaajuisilla kentillä on selkeästi erilaiset mekanismit, kuin pientaajuisilla.

Suurtaajuiset kentät aiheuttavat käytännössä lämpövaikutuksia. Tästä oireina ovat lämpöaistimukset, solukuoleminen, lämmönsäätelyjärjestelmän kuormittuminen, kudoksen vaurioituminen laajemmin johtuen solukuolemasta ja harmaakaihin syntyminen silmässä. Näihin oireisiin vaikuttavat pitkälti asiat joita aiemmassa kappaleessa lueteltiin. Kudoksien vaikuttavia ominaisuuksia omat esimerkiksi niiden sähköinen johtavuus, permittiivisyys ja lämmönjohtokyky.

Suurtaajuisten kenttien on arveltu olevan kytköksissä syövän syntyyn, esimerkiksi matkapuhelimien tapauksessa on näin arveltu. Kuitenkaan vielä ei ole saatu vankkoja tuloksia siitä, että suurtaajuisilla kentillä olisi kovinkaan vahvoja vaikutuksia tässä asiassa. Testit ovat kuitenkin vielä hieman epätarkkoja, sillä tiedot kentille altistumisissa on usein kyselytutkituilta ihmisiltä itseltään, jolloin tuloksiin tulee epätarkkuutta. Eläinkokeillakaan ei ole saatu kovin suuria vaikutuksia esille. Kuitenkin kokeita on hyvä jatkaa vielä muutamia vuosikymmeniä eteenpäin, jotta voidaan saada varmuus, ettei suurtaajuisilla kentillä ole vaikutusta syövänsynnyn kanssa. Esimerkiksi tämän päivän lapset käyttävät huomattavasti enemmän matkapuhelimia, kuin lapset aikaisemmin ja tulevat käyttämään niitä paljon enemmän, kuin nykyaikuinen. On otettava myös huomioon se, että sähkölaitteet tulevat yleistymään jatkuvasti ja langattomien sovelluksien määrä tulee kasvamaan, jolloin lisää radiotaajuisia kenttiä tulee liikkumaan ihmisten ympärillä.

Pientaajuisten kenttien vaikutukset ovat enemmänkin solutasolla tapahtuvia sähköisiä asioita, ei niinkään lämpövaikutuksia koko kudoksessa. Oireina kentistä ovat hermostimulaatio, joka havaitaan sähköisenä ärsytyksenä hermoissa, esimerkiksi silmissä tapahtuvina näköilmiöinä ja sydämessä rytmihäiriöinä.

Pientaajuisilla magneettikentillä on jo suurempi vaikutus syövänsyntyssä kuin muilla kentillä, mitä kokeilla on tutkittu. Magneettikentät hidastavat DNA:ssa tapahtuvien vaurioiden ja mutaatioiden korjausta, jolloin syöpä pääsee kehittymään paremmin. Pientaajuisten magneettikenttien katsotaan myös nopeuttavan solujen jakaantumista, jolloin myös pahanlaatuiset syöpäsolut kasvattavat kasvaimen nopeammin.

Magneettikenttiä käytetään jossakin määrin myös lääketieteessä, kuten magneettikuvauksessa, siinäkin on kuitenkin omat riskinsä, joiden vuoksi magneettikuvauslaitteiden käyttö on tarkoin valvottua.

Välitaajuisista kentistä ei ole vielä paljoa tutkimustuloksia, eikä viitteitä ole vaikutuksista saatu paljoa. Välitaajuisilla kentillä katsotaan olevan samankaltaisia oireita kuin pien- ja suurtaajuisilla kentillä, riippuen välitaajuuden suuruudesta. Joitakin pieniä asioita on kuitenkin löydetty, joita luvussa 6 lueteltiin. Näistä ei kuitenkaan voida vetää mitään varmoja johtopäätöksiä ja kokeita tarvitaan tulevaisuudessa vielä paljon lisää.

Lähteet

- 1 Sähkömagneettiset kentät 2009. [online]. http://www.stuk.fi/sateilytietoa/sateilevat_laitteet/magneettikentat/fi_FI/index/
- 2 Ionisoiva ja ionisoimaton säteily 2005. [online]. <http://www.ttl.fi/Internet/Suomi/Aihesivut/Tyohygienia/Sateily+ja+valaistus/>
- 3 Nyberg, Heidi & Jokela, Kari 2006. Sähkömagneettiset kentät. Helsinki: Säteilyturvakeskus
- 4 Maila Hietanen, Patrick Von Nandelstadh & Tommi Alanko 2005. Sähkömagneettiset kentät työympäristössä. [online]. <http://www.ttl.fi/NR/rdonlyres/6EC22588-F05A-4AB2-9844-297EFB60E314/0/EMFohjekirja.pdf>
- 5 Pentti Inkinen, Reijo Manninen & Jukka Tuohi 2003. Momentti 2. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy
- 6 Lauri Huurto & Tim Toivo 2000. Magneettitutkimukset ja niiden turvallisuus. [online]. http://www.nam.fi/instancedata/prime_product_julkaisu/laakelaitos/embeds/julkaisut_laitteet_ja_tarvikkeet_julkaisusarja_1.2000_1_.pdf
- 7 Voimajohtojen sähkö- ja magneettikentät 2008. [online]. http://www.leenakorpinen.fi/files/VoimajohtojensahkojamagneettikentatTTY10_2008.pdf