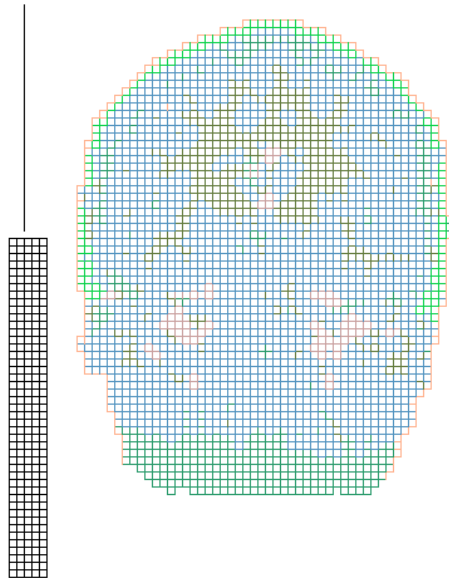


TUTKIMUSOHJELMA

SÄHKÖMAGNEETTISTEN KENTTIEN BIOLOGISET VAIKUTUKSET



Tutkimuksen yhteenveto

21.5.1997

**Kuopion Yliopisto
Työterveyslaitos
Säteilyturvakeskus
Valtion teknillinen tutkimuskeskus**

PROJEKTITOIMINTAAN LIITTYVIÄ TIETOJA

Tutkimusohjelma: Sähkömagneettisten kenttien biologiset vaikutukset

Sopimukset: Yhteistyösopimus Dno. 103/94/TTE 3273, 9.5.1994.
Rahoitus sopimus Työsuojelurahasto-VTT , 30.5.1994,
Työsuojelurahaston hanke nro 93106

Tutkimusohjelman ulkopuoliset rahoittajat:

TEKES, Teknologian kehittämiskeskus
Työsuojelurahasto
Benefon Oy
Helsingin Puhelin Oy
Nokia Mobile Phones
Telecom Finland Oy

Tutkimuslaitokset: Kuopion Yliopisto, Ympäristötieteiden laitos
Säteilyturvakeskus, Säteilyturvallisuusosasto
Työterveyslaitos, Fysiikan ja Työlääkätieteen osastot
Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), VTT Tietotekniikka

Projektin johtoryhmä: Johtoryhmän viimeisin kokoonpano on seuraava:

Puheenjohtaja:	Prof.	Veli Santomaa	Nokia Tutkimuskeskus
Jäsenet:	Keh.pääll.	Jouko Nurminen	Benefon Oy
	DI	Tuomo Hokkanen	Telecom Finland Oy
	DI	Antti Siitonen	Helsingin Puhelin Oy
	Dos.	Maila Hietanen	Työterveyslaitos
	TkT	Kari Jokela	Säteilyturvakeskus
	FT	Jukka Juutilainen	Kuopion Yliopisto
Projektipäällikkö, johtoryhmän sihteeri	Erik.tutk.	Kalevi Laukkanen	VTT Tietotekniikka

Tutkimukseen osallistuneet henkilöt:

Kuopion yliopisto: Jukka Juutilainen, Päivi Heikkinen, Timo Kumlin, Sakari Lang,
Veli-Matti Kosma,

Kansanterveyslaitos, Kuopio:
Hannu Komulainen, Hannele Huuskonen

Kuopion yliopistollinen sairaala:
Tapani Lahtinen, Anssi Väänänen, Ilkka Penttilä, Tero Hongisto

Säteilyturvakeskus: Kari Jokela, Lauri Puranen, Petri Hyysalo

Työterveyslaitos: Maila Hietanen, Tero Kovala, Anna-Maija Hämäläinen, Riitta Ve-
lin, Patrick von Nandelstadh

VTT: Kalevi Laukkanen, Risto Pitkäaho, Arto Hujanen, Veli Santomaa
(nykyään Nokian Tutkimuskeskus)

TUTKIMUKSEN YHTEENVETO**1. JOHDANTO**

Mielenkiinto matkapuhelimien sähkömagneettisen kenttien mahdollisia biologisia vaikutuksia kohtaan on viime vuosien aikana lisääntynyt oleellisesti. Syynä tähän on mm. matkapuhelinta käyttävien henkilöiden lukumäärän räjähdysmäinen kasvu. Mielenkiintoa lisää se, että käsipuhelinta pidetään hyvin lähellä puhelimen käyttäjän päätä.

Nykyiset altistumisrajat on laadittu ottaen huomioon vuosikymmenten aikana kertynyt tietämys, mutta uusia kysymyksiä syntyy ja tutkimuksen on etsittävä niihin vastauksia. Lisäksi altistumisrajat perustuvat kudoksiin absorboituneeseen tehon määrään, jota nyky menetelmin on käytännössä mahdotonta mitata esim. normaalin puhelimen käyttäjän päästä. Standardisointijärjestöt ovatkin viime vuosina toisaalta pyrkineet tarkentamaan altistumisrajoja ja toisaalta ne ovat kehittämässä standardisoitua menetelmää, jolla altistumisrajan täyttyminen voidaan todeta.

Tutkimusohjelmaa laadittaessa on otettu edellä mainitut asiat huomioon. Nämä asiat kiinnostavat myös kotimaista tietoliikenneteollisuutta, onhan sillä merkittävä osuus maailmanmarkkinoista. Ohjelman tutkimusaiheet on valittu ottaen huomioon sekä tieteelliset kysymykset että matkapuhelimien testaukseen ja altistuksen määrittämiseen liittyvät näkökohdat. Kotimaisen projektin syntyyn on myös oleellisesti vaikuttanut eurooppalaisen COST 244-projektin käynnistyminen. Yhteistyö kansainvälisellä tasolla on nähty tarpeelliseksi ja hyödylliseksi.

Tutkimusohjelma koostuu viidestä osaprojektista (suluissa vastaava tutkimuslaitos):

1. Kansainvälinen toiminta ja projektin koordinointi (VTT Tietotekniikka).
2. Radioaaltojen absorboitumisen mallitus (VTT Tietotekniikka).
3. Matkapuhelinten neurofysiologiset vaikutukset (Työterveyslaitos).
4. Matkapuhelinten aiheuttaman lämpöabsorption määrittäminen päässä (Säteilyturvakeskus).
5. Radiotaajuussäteilyn syöpää edistävät vaikutukset koe-eläimillä (Kuopion yliopisto).

Tutkimusaiheiden osalta ohjelma jakaantuu tekniseen ja biologiseen osaan. Teknisessä osassa tavoitteena on ollut lisätä ja kehittää kotimaista tietämystä altistustilanteen laskennallisessa mallituksessa ja simuloinnissa (osaprojekti 2) sekä turvallisuusnäkökohtaan liittyvässä mittaus- ja testaustekniikassa (osaprojekti 4). Nämä aiheet ovat laajasti esillä myös kansainvälisessä tutkimuksessa ja liittyvät käynnissä olevaan matkapuhelimien standardisoidun mittausmenetelmän kehitystyöhön. On pidetty tärkeänä kehittää kotimaista asiantuntemusta ja teknisiä valmiuksia, jotka ovat hyödyksi toimialan kotimaiselle teollisuudelle, matkapuhelinoperaattoreille, tutkimuslaitoksille ja viranomaisille. Menetelmiä ja valmiuksia tarvitaan sekä olemassa olevien matkapuhelinten testauksessa ja mittauksissa että erityisesti uusien puhelinmallien suunnittelussa.

Tutkimuksen biologisessa osassa on tutkittu kahta kysymystä: vaikuttavatko matkapuhelimen sähkömagneettiset kentät ihmisen aivosähkötoimintoihin (osaprojekti 3), ja voivatko ne edistää syövän kehittymistä koe-eläimissä (osaprojekti 5).

Tutkimukset keskittyvät matkapuhelimien taajuusalueille 450 MHz, 900 MHz ja 1800 MHz. Suurin osa työstä on tehty 900 MHz:lla.

Tutkimusohjelma on alkanut v. 1994. Ohjelman rahoitus kokonaisuudessaan on ollut 3,5 milj. mk, josta ulkopuolinen rahoitus on ollut 2,2 milj.mk sekä tutkimuslaitosten oma rahoitus 1,3 milj.mk. Tutkimusohjelma on nyt muilta osin päättynyt paitsi, että osaprojekti 5 saatetaan loppuun erillisellä rahoituksella.

2. SISÄLTÖ JA TULOKSET

Osaprojektien sisältö ja tärkeimmät tulokset ovat lyhyesti kuvattuna seuraavat.

2.1 Osaprojekti 1: Kansainvälinen toiminta ja projektin koordinointi

Tähän osaprojektiin sisältyvät koko projektin koordinointi ja käytännön hallinnointi. Lisäksi siihen on kuulunut yhteydenpito eurooppalaiseen COST 244 projektiin "Biomedical Effects of Electromagnetic Fields". Kotimaisen projektin nimi on kohtalaisen suora käännös COST 244:n nimestä.

COST tulee sanoista Cooperation in the Field of Science and Technical Research ja se merkitsee nimensä mukaisesti yhteistyötä sovitun aiheen puitteissa. COST-organisaatio ei rahoita mitään tutkimusta, eli kukin osallistuja vastaa itse omista kuluistaan. Ainoastaan matkalippu kokouksiin korvataan yhdelle tai kahdelle henkilölle. COST 244:n aihe on hyvin laaja. Nimellisesti se pyrki kattamaan kaikki sähkömagneettisten kenttien biologiset vaikutukset taajuusalueella 0 - 300 GHz. COST 244 ei siis mitenkään erityisesti keskittynyt matkapuhelimiin, mutta ne olivat kyllä hyvin esillä.

COST 244 päättyi v. 1996, mutta samansisältöinen projekti nimeltään COST 244bis jatkuu seuraavat neljä vuotta. Osallistuminen COST 244-projektiin on tarjonnut hyvän yhteyden ei pelkästään eurooppalaiseen vaan laajasti kansainväliseen tutkimukseen tällä tutkimusalueella. Yksi COST 244:n työseminaareista järjestettiin v. 1995 Kuopiossa. COST 244:ssä oli mukana 21 Euroopan maata.

COST 244:n tärkeimmät toimintamuodot ovat olleet:

- muodostettu tietokanta eri maiden kansallisista projekteista, yli 200 projektia
- järjestetty 11 työseminaaria eri aiheista, yksi niistä Kuopiossa 1995
- laskentaohjelmien vertailu, ns. kanonisten mallien laskenta, 16 tapausta
- valmisteltu mittaustekninen vertailukamppanja, se toteutunee myöhemmin
- kerätty tiedot ja esitelty alan muiden organisaatioiden toimintaa
- järjestetty 2 laajaa yhteiskonferenssia alan muiden organisaatioiden kanssa

COST 244:llä on kotisivu Internetissä osoitteessa <http://bagan.srce.hr/cost244/>.

2.2 Osaprojekti 2: Radioaaltojen absorboitumisen mallitus

Tämän osaprojektin keskeinen tehtävä on ollut sellaisen laskennallisen työkalun kehittäminen, jolla voidaan simuloida käsipuhelimen käyttäjän altistuminen puhelimen radiotaajuisille kentille. Laskennallinen mallitus on tärkeää siksi, että pään sisäistä kenttajakautumaa ei voida suoraan mitata. Laskennallinen työkalu on kuitenkin aina tekninen apuväline, jota voidaan soveltaa selvitys- ja suunnittelutehtävissä, esim. SAR-laskelmissa tai antennisuunnittelussa.

Laskentaohjelma käyttää hyväkseen ihmisestä ja käsipuhelimesta laadittuja numeerisia malleja. Laskennan tarkkuus riippuu mallien tarkkuudesta. Tällä hetkellä mallit ovat kehitysvaiheessa. Ohjelmalla voidaan laskea esim. käsipuhelimen aiheuttamat radiotaajuiset kentät tai ns. SAR-arvot puhelimen käyttäjän pään alueella. SAR-arvo (Specific Absorption Rate, laatuna W/kg) kuvaa sitä, paljonko tehoa absorboituu kudoksessa tarkastelupisteessä. Altistusrajat on määritelty SAR-arvon avulla.

Ihmisen kudokset voidaan kuvata dielektrisenä materiaalina, jolla on määrätty sähköiset ominaisuudet. Eri kudostyyppien ominaisuudet poikkeavat toisistaan riippuen mm. niiden vesi- ja suolapitoisuudesta. Tietoja kudosten sähköisistä ominaisuuksista on kartoitettu ja kerätty mm. COST 244:n puitteissa. Kudosten ominaisuudet riippuvat taajuudesta. Laskennassa tarvitaan myös tieto kudoksen ominaispainosta. Seuraavassa taulukossa 1 on esimerkki kudosten ominaisuuksista.

Taulukko 1: Esimerkki kudosten ominaisuuksista 900 MHz:lla.

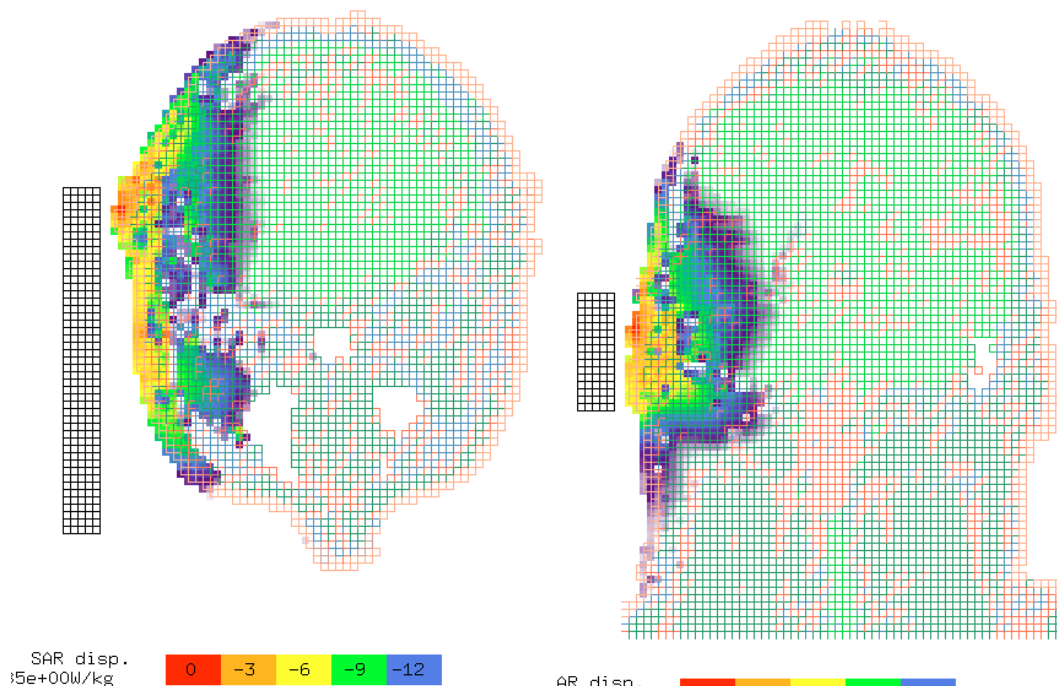
Kudos	eristevakio ϵ_r	johtavuus σ (S/m)	tiheys (kg/m ³)
lihas	57	0,8	1040
iho	35	0,9	1080
harmaa aivomateria ja hermot	54	1.2	1030
luu, kallo	21	0.3	1850

Simulointia varten ihmisen anatomiasta on laadittava numeerinen malli. Tässä tapauksessa malli koostuu esim. pienistä kuutioista, joista ihminen kootaan. Kullekin pienelle kuutiolle määritellään siinä olevaa kudosta edustavat materiaaliarvot. Mallin muodostamisessa lähtökohtana ovat esim. MRI-kuvat pään alueelta. Niistä määritellään mallin anatomia ja kudostyytit. Mallin muodostaminen edellyttää lääketieteellistä asiantuntemusta. Ihmisen laskentamalleja on tällä hetkellä käytettävissä kaksi; ne on tilattu USA:sta. Molemmat rajoittuvat henkilön pään alueelle, koska ihmisen laajempi mallittaminen ei ole tarpeen, kun lasketaan pään sisäisiä SAR-arvoja. Vastaava numeerinen malli on laadittava myös käsipuhelimesta ja henkilön kädestä, missä puhelinta pidetään.

Mahdollisia laskentamenetelmiä olisi useampia, mutta tässä tapauksessa on valittu FDTD-menetelmä (Finite Difference Time Domain), joka on yleinen sähkömagneetiikan laskentamenetelmä. FDTD perustuu suorakulmaiseen koordinaatistoon, joten kaarevat rajapinnat kuvautuvat porrasmaisina. Tällä seikalla ei ole merkitystä, jos laskentasolun koko on tarpeeksi pieni. Laskentasolun koko on valittava riittävän pieneksi myös aallonpituuteen näh-

den. Laskentaohjelmaa ei ole kehitetty VTT:llä, vaan sen kehitystyö on tilattu USA:sta. Ohjelman nimi on XFDTD. Kehitystyö on tapahtunut yhteistyössä VTT:n kanssa siten, että VTT on määritellyt halutut ominaisuudet ja huolehtinut ohjelman testaamisesta ja tulosten validoinnista. Työn tuloksena XFDTD-ohjelma on kehittynyt versiosta 1.0 versioon 3.05.

Esimerkkinä XFDTD-ohjelman laskentatuloksesta on kuvassa 1 esitetty SAR-arvojen jakautuma päämallissa.



Kuva 1. Mallipuhelimen aiheuttama SAR-arvojen jakautuma päämallissa. Puhelimessa monopoliyypinen antenni. Antenni ei näy kuvassa, koska leikkaustaso ei kulje sen kautta. Puhelin on vaakasuorassa etäisyydellä 15 mm korvasta. Taajuus 900 MHz.

Osaprojekti 2:ssa tehdyn työn pääosan on muodostanut laskentaohjelman toimivuuden testaus ja tulosten tarkkuuden selvittäminen. Ohjelman toimintaa on testattu laskemalla COST 244:n piirissä määritellyt kanoniset laskentatapaukset. Myöskin on verrattu laskettuja ja mitattuja suuntakuvioita erilaisille antennille. Pään ja käsipuhelimen mallien laskennassa on testattu mallien yhdistämistä, verrattu eri mallien antamia tuloksia ja testattu käden osuutta mallituksessa. Ohjelmasta on saatu runsaasti käyttökokemusta. Ohjelma on todettu hyvin käyttökelpoiseksi ja sopivaksi käsipuhelimen aiheuttaman altistustilanteen mallitukseen ja simulointiin. Ohjelmaa on mm. sovellettu osaprojekti 4:n kalibrointitilanteiden mallitukseen. Tulosten perusteella päädyttiin uuteen kalibrointilaitteen rakenteeseen, joka on todettu varsin hyväksi.

Koska XFDTD-ohjelma on yleinen sähkömagneetiikan ohjelma, sitä voidaan soveltaa moniin laskentaongelmiin, ihmisen mallitus on vain yksi esimerkki. Lähiaikoina sitä on tarkoitus soveltaa mm. koe-eläinten altistustilanteen mallitukseen ja käsipuhelimen antennisuunnittelussa, kun tavoite on etsiä antennirakenteita, jotka pienentävät päähän kohdistuvaa altistusta. Laskentaohjelmaa tullaan kehittämään edelleen muiden projektien yhteydessä.

Tulossa ovat mm. mallin kääntömahdollisuus, SAR-laskenta altistusrajojen mukaisesti sekä parempi ja laajempi ihmismalli kotimaasta.

2.3 Osaprojekti 3: Matkapuhelinten neurofysiologiset vaikutukset

Tämä osaprojekti toteutettiin Työterveyslaitoksella. Tutkimuksen tarkoituksena oli arvioida syntykö aivojen sähköisissä toiminnoissa epätavallisia muutoksia matkapuhelinten käytön aikana.

Tutkimukseen osallistui 19 vapaaehtoista aikuista: 9 naista (32-57 vuotta) ja 10 miestä (28-48 vuotta), jotka altistettiin kuuden erilaisen analogisen tai digitaalisen matkapuhelimen lähettämille radiotaajuisille kentille. Puhelintyypit ja niiden toimintataajuudet on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Tutkimuksessa käytetyt puhelimet sekä niiden toimintataajuudet.

Puhelintyyppi	Taajuus (MHz)
Benefon NMT	450
Benefon NMT	900
Ericsson NMT	900
Nokia GSM	900
Nokia NMT	900
Nokia PCN	1800

Kullekin koehenkilölle tehtiin yhteensä seitsemän EEG rekisteröintiä, joista kuusi oli varsinaista altistusta ja yksi valealtistus ("lumerekisteröinti"), jolloin puhelin ei ollut aktivoitu lähetystilaan. Kaikki Benefonin 450 MHz taajuudella toimivalla NMT puhelimella tehdyt rekisteröinnit jouduttiin jättämään lopullisista tuloksista pois puhelimen aiheuttamien häiriöiden vuoksi. Kukin EEG rekisteröinti kesti 30 minuuttia josta 20 minuuttia oli altistusta ja 10 minuuttia valealtistusta. Rekisteröintien aikana koehenkilöt istuivat rentoutuneina, silmät suljettuina mutta valveilla. Puhelimia ohjattiin tietokoneella ilman puhetta, joten koehenkilöt eivät tieneet milloin puhelin oli toiminnassa ja milloin ei.

Aivotoimintaa tutkittiin kvantitatiivisellä EEG rekisteröinnillä käyttämällä Cadwell Spectrum 32 -laitetta. Kaikki rekisteröinnit talletettiin optiselle levyille myöhempää analysointia varten. Viiden analyysissä mukana olleen puhelintyyppin altistus- ja lumerekisteröintien tuloksista muodostettiin erotusmuuttujat vähentämällä altistustilanteessa saaduista mitaustuloksista vastaavat lumetilanteen mittausarvot. Tuloksista laskettiin erotusmuuttujien keskiarvot, keskihajonnat sekä 95 % luottamusvälit. Altistus- ja lumerekisteröintien välisen erojen tilastollista merkitsevyyttä testattiin parillisella t-testillä. Vain yhden puhelimen käyttö aiheutti tilastollisesti merkitsevän eron ($p < 0.005$) koehenkilöiden EEG-rekisteröinneissä, joka havaittiin deltakaistan absoluuttisessa tehossa päälaen alueella. Koska vastaavassa suhteellisessa tehossa samalla alueella ei havaittu eroa altistustilanteen ja lumetilanteen välillä, kyse on monitestaustilanteeseen liittyvästä tilastollisesta sattumasta. Jos ero olisi todellinen, myös suhteellisessa tehossa pitäisi näkyä samansuuntainen muutos. Siten tämän tutkimuksen perusteella näyttää ilmeiseltä, että nykyisten matkapuhelinten synnyttämät radiotaajuiset kentät eivät häiritse aivojen normaalia sähkötoimintaa.

2.4 Osaprojekti 4: Matkapuhelinten aiheuttaman lämpöabsorption määrittäminen päässä

Tässä osaprojektissa kehitettiin 900 MHz:n taajuusalueella toimiva mittauslaitteisto matkapuhelimien SAR-määrittäystä varten. Lisäksi suunniteltiin ja rakennettiin altistuslaitteisto osaprojektin 5 eläinkokeisiin.

Kehitetyllä mittauslaitteistolla voidaan testata, täyttävätkö matkapuhelimet uusimpien SAR-rajojen ja turvallisuusstandardien vaatimukset. Laitteistoon kuuluu ihmisen pään kudosten jäljitelmä, siihen imeytyvää tehoa mittaava pienikokoinen mittapää, ns. SAR-mittapää, tietokoneohjattu mittapään liikutuslaitteisto, mittaustulosten keruu- ja käsittelyohjelmisto sekä kalibrointilaitteisto SAR-mittapäälle. Matkapuhelimen aiheuttaman SAR:n mittaus tulosten käsittelyineen kestää vajaan tunnin. SAR:n mittausalue on 0,01-50 W/kg ja arvioitu epävarmuus on +/- 16 %. Kehitetyn laitteiston osien hankintakustannukset ovat olleet noin kymmenesosa kaupallisten automaattisten laitteistojen kustannuksista. Laitteiston toimivuus testattiin mittaamalla tyypillisen NMT900-matkapuhelimen aiheuttama SAR-jakauma pään kudosten jäljitelmän sisällä.

Mittausten tarkkuuteen oleellisesti vaikuttavan SAR-mittapään kalibrointiin kehitettiin uudentyyppinen aaltoputkitekniikkaan perustuva mittanormaali. Pystyasentoinen aaltoputki koostuu kolmesta osasta, joista alin on ilmatäytteinen ja ylin on täytetty aivo- tai lihaskudoksen sähköisiä ominaisuuksia jäljittelevällä nesteellä. Niiden välissä on sovitukseen parantamiseksi 6 cm paksuinen akryylillä täytetty osa. Kalibrointipisteeseen syntyvä SAR määritetään aaltoputken kenttää häiritsemättömällä lämpötila-anturilla. Käyttämällä hyväksineesteen ja ilman rajapinnasta tapahtuvaa heijastusta saadaan aikaisemmin käytettyihin laitteistoihin verrattuna tasaisempi SAR-jakauma, mikä parantaa oleellisesti kalibroinnin tarkkuutta. Vapaaseen tilaan säteileviin kalibrointijärjestelmiin verrattuna kehitetyn aaltoputkijärjestelmän etuja ovat hyvä hyötysuhde, häiriöttömyys ja pieni koko. Kalibroinnin arvioitu epävarmuus on +/- 8%.

Osaprojektin 5 tutkimuksia varten kehitettiin kolme samanlaista aaltoputkikammioita hiirien altistamiseksi NMT900- ja GSM-matkapuhelimen tyypiselle mikroaaltosäteilylle sekä valealtistukseen. Kussakin kammiossa voitiin altistaa samalla kertaa 25 hiirtä. Hiiret asetettiin liikkumista rajoittaviin akryylikoteloihin, jotka sijoitettiin kammioihin siten, että hiirten kehon pituusakseli tuli kohtisuoraan sähkökenttää vastaan ja hiirten välimatkaksi tuli 5 cm. Hiiriin imeytyvä teho määritettiin vähentämällä mitatusta kammion sisäänmenevästä tehosta, mitattu ulostuleva ja kammiossa heijastuva teho.

Yksittäisen hiiren koko kehon SAR laskettiin jakamalla hiiriin imeytynyt teho hiirten kokonaismassalla. Täysikasvuisen hiiren SAR oli 1,7 W/kg NMT900-altistuksessa ja 0,4 W/kg GSM-altistuksessa. Laskettu SAR varmistettiin kalorimetrisillä mittauksilla, jotka tehtiin hiiren kokoa ja muotoa sekä keskimääräisiä sähköisiä ominaisuuksia jäljittelevillä kudosmalleilla.

Hiiristä tapahtuvien heijastusten vuoksi yksittäiseen hiireen imeytyvän tehon arvioitiin vaihtelevan +/- 40 % kullakin altistuskerralla. Elinikäisessä altistuksessa hiirten paikkaa vaihdettiin satunnaisesti kullakin altistuskerralla, jolloin yksittäiseen hiireen imeytyvän tehon arvioitu epävarmuus oli +/- 15 %.

2.5 Osaprojekti 5: Radiotaajuussäteilyn syöpää edistävät vaikutukset koe-eläimillä

2.5.1 JOHDANTO

Matkapuhelimista tuleva radiotaajuussäteily on varsin heikkoa, ja sen on yleensä oletettu olevan puhelinten käyttäjien terveydelle haitatonta. **Amplitudimoduloidulla** radiotaajuussäteilyllä on kuitenkin joissakin soluviljelmäkokeissa havaittu spesifisiä biologisia vaikutuksia, jotka näyttävät liittyvän käytettyyn pientaajuusmodulaatioon. Tämän perusteella on esitetty epäilyksiä, että eräiden matkapuhelinjärjestelmien (Euroopassa GSM:n) lähettämällä amplitudimoduloidulla radiotaajuussäteilyllä saattaisi olla samantapaisia biologisia vaikutuksia kuin pientaajuisilla magneettikentillä. Pientaajuisia magneettikenttiä esiintyy esimerkiksi voimajohtojen ympärillä, ja niiden on epäilty mm. lisäävän syöpäriskiä.

Käytettävissä olevan biofysikaalisen ja biologisen tiedon perusteella on epätodennäköistä, että radiotaajuussäteily tai pientaajuiset magneettikentät voisivat vahingoittaa DNA:ta ja siten saattaa alulle syövän kehityksen. Syövän kehitys on kuitenkin monivaiheinen prosessi, ja DNA:ta vaurioittavien karsinogeenien, ns. **initiaattoreiden** lisäksi tunnetaan karsinogeenisia kemikaaleja, joiden vaikutus on riippumaton DNA-vaurioista. Nämä ns. **promoottorit** nopeuttavat tai edistävät initiaattoreiden aloittamien syöpien kehittymistä. Eräiden soluviljelmillä ja eläimillä saatujen kokeellisten tulosten mukaan pientaajuiset magneettikentät saattavat toimia promoottorina, eli edistää syövän kehittymistä, mikäli niitä annetaan yhdessä initiaattoreiden kanssa.

2.5.2 TAVOITTEET

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, toimiiko pitkäaikainen altistuminen GSM-tyyppiselle amplitudimoduloidulle tai jatkuvalla NMT-tyyppiselle 900 MHz:n säteilylle syövän promoottorina naarashiirissä. Syövän initiaattorina käytettiin ionisoivaa säteilyä. Vertailun vuoksi yksi eläinryhmä altistettiin 50 Hz:n magneettikentälle.

2.5.3 AINEISTO JA MENETELMÄT

Kokeet suoritettiin Kansanterveyslaitoksen (KTL) koe-eläintiloissa. KTL:n Toksikologian laboratorio (toimien yhdessä Kuopion yliopiston Patologian laitoksen kanssa) on ainoana viranomaislaboratoriona Suomessa läpäissyt kansallisen GLP(Good Laboratory Practice)-tarkastuksen. Tässä tutkimuksessa noudatettiin GLP:n mukaisia menettelyjä aina kun mahdollista, kuitenkin ilman muodollisia laadunvalvontatarkastuksia. Kokeen kesto oli 1.5 vuotta.

Eläimet ja ryhmäjako. Tutkimuksessa käytettiin 300 sisäsiittoista CBA/S naarashiirtä. Eläimet olivat 3-5 viikon ikäisiä kokeen alussa. Eläimet jaettiin satunnaisesti 6 altistusryhmään (Taulukko 3). Ryhmän A eläimet olivat ”häkkikontrolleja”, joita ei altistettu millekään. Kaikkien muiden ryhmien eläimet altistettiin alussa ionisoivalle säteilylle (gamma). Ionisoivan säteilyn annos oli 4 Gy, ja se annettiin kolmena osa-annoksena viikon välein. Radiotaajuussäteilyä annettiin 1.5 tuntia päivittäin viitenä päivänä viikossa. Hiiren keskimääräinen SAR-arvo oli jatkuvalla radiotaajuussäteilyllä 1.5 W/kg ja pulssimoduloidulla säteilyllä 0.35 W/kg. Valealtistetut eläimet pidettiin 1.5 tuntia altistuslaitteessa, johon ei ollut kytketty radiotaajuussignaalia. Magneettikenttäryhmä pidettiin 24 h/päivä 50 Hz magneettikentässä, jonka voimakkuus vaihteli ohjelmoidusti välillä 1.3 - 130 μ T, ja magneetti-

kentälle valealtistetut eläimet samanlaisessa altistuslaitteistossa, johon ei ollut kytketty virtaa. Lisäksi kokeessa oli mukana 6 terveystarkkailueläintä.

Taulukko 3. Koeryhmät

Ryhmä	Altistus
A	Kontrolli
B	Gammasäteily + valealtistus radiotaajuuselle(RF) säteilylle
C	Gammasäteily + altistus jatkuvalle RF säteilylle (NMT)
D	Gammasäteily + altistus pulssimoduloidulle RF säteilylle (GSM)
E	Gammasäteily + valealtistus 50 Hz magneetikentälle.
F	Gammasäteily + 50 Hz:n magneetikenttä
TT	Terveystarkkailu

Radiotaajuusaltistus. Hiiret altistettiin suorakulmaisessa aaltoputkessa (24.8 cm x 20 cm x 125 cm), 25 eläintä kerrallaan. Hiirten liikkumista altistuksen aikana rajoitettiin pitämällä ne pienissä akryyliputkissa. Sähkökentän suunta oli aaltoputkessa kohtisuorassa hiirten pituusakselia vastaan, jolloin tehoabsorptio hiirtä kohti jäi suhteellisen pieneksi. Tällä saavutettiin suhteellisen tasainen SAR-jakauma aaltoputken pituussuunnassa. Ensimmäisen ja viimeisen hiiren SAR-ero oli suurimmillaan n. 20%. Hiirten sijoitus aaltoputkeen satunnaistettiin joka päivä uudestaan, joten koko kokeen aikainen keskimääräinen altistus oli kaikilla hiirillä sama. SAR määritettiin aaltoputkeen syötetyn ja ulos tulevan tehon erotuksesta.

Eläinten käsittely. Hiiriä tarkkailtiin päivittäin. Huonoon kuntoon menneet eläimet lopetettiin. Joka viikko suoritettiin tarkempi tutkimus ja elimet palpoitiin. Eläimet punnittiin ja rehun ja veden kulutus mitattiin kerran kahdessa viikossa.

Näytteet. Jokaisesta eläimestä otettiin verinäytteet hematologista analyysiä varten ja näytteet n. 40 elimestä histopatologia, biokemiallisia ja molekyylibiologisia määrittämiä varten.

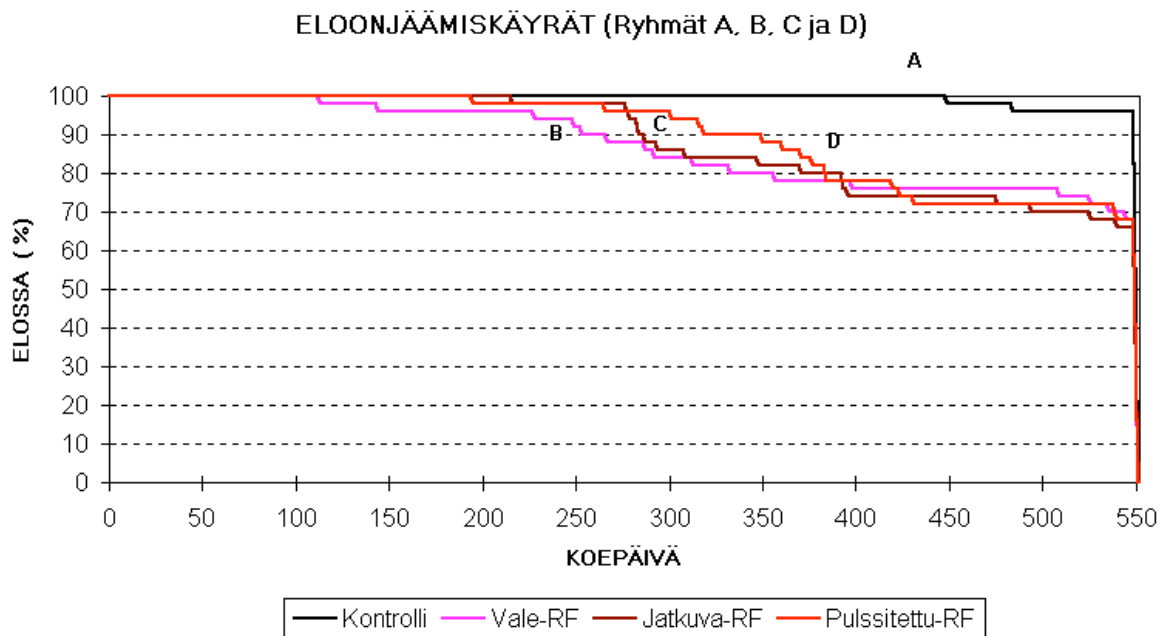
2.5.4 TULOKSET

Rehun kulutus. Kokeen alussa kaikki ionisoivalle säteilylle altistetut eläimet söivät hie-man vähemmän kuin kontrollieläimet. Myöhemmin kontrollieläimet, 50 Hz magneetikentälle altistetut ja valemagneetikentälle altistetut eläimet kuluttivat yhtä paljon rehua. Myös radiotaajuussäteilylle altistetut ja valealtistetut kolme ryhmää kuluttivat keskenään yhtä paljon, mutta vähemmän kuin magneetikenttäryhmät. Pienentynyt rehunkulutus näissä ryhmässä johtuu todennäköisesti stressistä, joka aiheutui eläinten pitämisestä liikkumattomina aaltoputkissa 1.5 tuntia päivittäin.

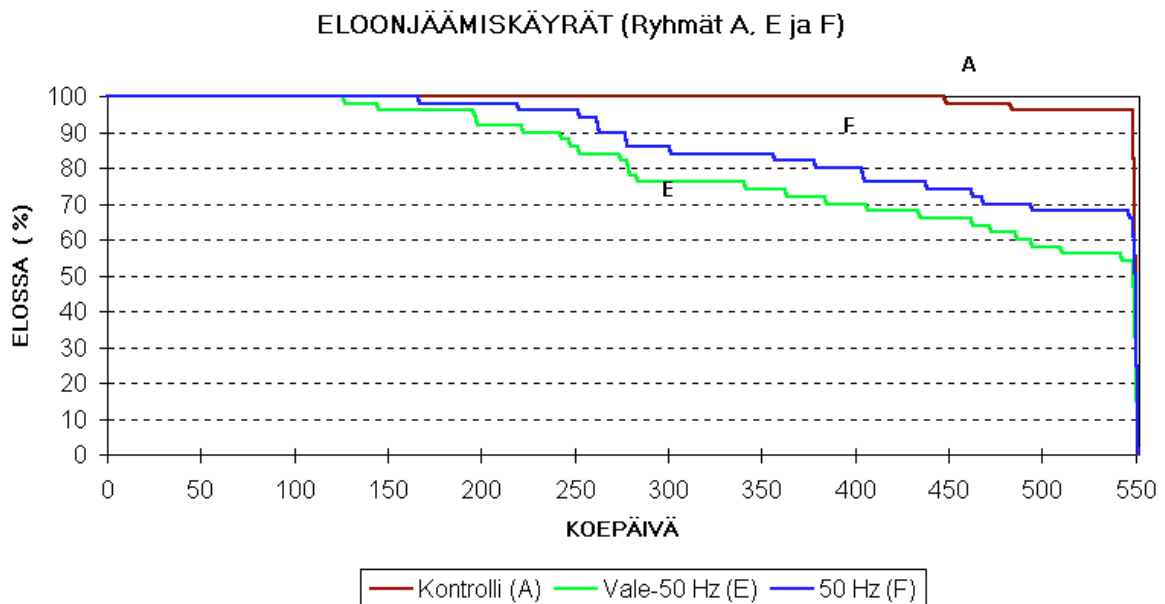
Painonkehitys. Kasvukäyrien mukaan aaltoputkissa pidetyt ryhmät (radiotaajuussäteilylle oikeasti tai valealtistetut) kasvoivat hitaammin ja jäivät selvästi pienemmiksi kuin muut eläimet. Stressi ja pienempi rehunkulutus ovat todennäköisesti riittävä selitys.

Eloonjääminen. Lähes kaikki kontrolliryhmän eläimet olivat elossa kokeen lopussa. Eloonjääminen oli vähäisempää kaikissa muissa ryhmissä (kuva 2). Vaikka asiaa ei vielä ole varmistettu histopatologisesti kudospäätteistä, näiden ryhmien suurempi kuolleisuus johtuu melko varmasti ionisoivan säteilyn aiheuttamista lisääntyneistä syövästä. Radiotaajuussäteilylle altistettujen ja valealtistettujen eläinten välillä ei ollut kuolleisuseroja.

Pientaajuiselle magneettikentälle altistettujen ja valealtistettujen eläinten eloonjäämiskäyrien eroa ei ole analysoitu tilastollisesti (kuva 3). Mikäli ero on tilastollisesti merkitsevä, se viittaa magneettikentän lievään suojaavaan vaikutukseen.



Kuva 2. Radiotaajuussäteilylle altistettujen hiirten eloonjääminen



Kuva 3. Pientaajuisille magneettikentille altistettujen hiirten eloonjääminen

2.5.5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Radiotaajuussäteilylle altistettujen ja valealtistettujen eläinten eloonjäämiskäyrien samantaisuus viittaa siihen, että pulssimoduloidulla tai jatkuvalla radiotaajuussäteilyllä ei ole syöpää edistävästä vaikutusta. Lopullisesti johtopäätökset varmistuvat kuitenkin vasta kun ku-

dosnäytteet on tutkittu histopatologisesti. Histopatologiset tutkimukset ja tulosten analysointi jatkuvat kansainvälisellä rahoituksella v. 1998 puoleen väliin saakka.

YHTEYSTIEDOT

Koko projekti sekä osaprojekti 2:	Kalevi Laukkanen VTT,	puh. (09) 456 6576
Osaprojekti 3:	Maila Hietanen, Työterveyslaitos,	puh. (09) 474 7714
Osaprojekti 4:	Lauri Puranen, Säteilyturvakeskus	puh. (09) 759 88457
Osaprojekti 5:	Jukka Juutilainen, Kuopion Yliopisto	puh. (017) 163 226
Altistusrajat:	Kari Jokela, Säteilyturvakeskus, (tai Lauri Puranen)	puh. (09) 759 88456