

Opinnäytetyö (AMK)

Tietotekniikan koulutusohjelma

Hyvinvointiteknologia

2014

Marko Laaksonen

# MATKAPUHELINSÄTEILYN TERVEYSHAITAT JA SAR- LAITTEISTON VERTAILUMITTAUKSET



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Marko Laaksonen

## MATKAPUHELINSÄTEILYN TERVEYSHAITAT JA SAR-LAITTEISTON VERTAILUMITTAUKSET

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin matkapuhelimen tuottaman SAR-säteilyn terveysvaikutuksia, alan standardeja ja mittalaitteistoja. Terveysvaikutuksia selvittäessä työssä paneuduttiin useisiin jo julkaistuihin tutkimuksiin. Alan standardeista keskityttiin erityisesti Euroopan ja Yhdysvaltojen valvovien viranomaistahojen määräyksiin ja niiden toimintatapoihin. Työosuudessa tehtiin useita SAR-mittauksia eri laitteistoilla, ja pyrittiin saamaan esiin laitteista johtuvat eroavaisuudet ja niiden määrä.

SAR-mittaukset aloitettiin valitsemalla kaksi samanlaista matkapuhelinta. Näillä testiyksilöillä tehtiin useita toistuvia mittauksia. Mittauksilla pyrittiin selvittämään testiyksilöistä stabiilimpi, ja valittiin se referenssilaitteeksi. Kun referenssilaitte oli saatu selville, vaihdettiin SAR-mittausjärjestelmästä mittapää (probe) ja tiedonkeruuyksikkö (DAE). Seuraavassa vertailussa vertailtiin iSAR-laitteistoa jo kerättyihin perinteisellä SAR-järjestelmällä tehtyihin referenssimittauksiin.

Työn tuloksen saatiin selville, että proben ja DAE:n vaihdolla eroavaisuudet ovat niin pieniä, ettei niillä ole käytännössä merkitystä mitattuihin SAR-arvoihin. iSAR-vertailussa saatiin selville, että se tuottaa perinteistä SAR-järjestelmää pienempiä tuloksia. Vaikka tulokset olivat johdonmukaisesti pienempiä, saadut tulokset menevät kuitenkin standardissa huomioidun epävarmuusprosentin sisään.

iSAR-vertailuista saatujen tulosten myötä tuotekehityksessä tullaan ottamaan huomioon tulosten poikkeama perinteiseen SAR-järjestelmään verrattaessa. Opinnäytetyössä tehdyt mittaukset toteutettiin vain yhdellä taajuusalueella, joten tulokset eivät välttämättä päde eri taajuusalueilla. Referenssitulosten myötä laboratorioden välisiä eroavaisuuksia pystytään mittaamaan ja vertailemaan keskenään.

### ASIASANAT:

SAR, matkapuhelin, säteily, ominaisabsorptionopeus

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Information Technology | Healthcare informatics

2014 | 38

Teppo Saarenpää

Marko Laaksonen

# MOBILE PHONE RADIATION HEALTH HAZARDS AND SAR EQUIPMENT COMPARISON MEASUREMENTS

In this thesis will be explored the mobile phones SAR radiation health effects, industry standards and SAR measuring equipment. There is a comprehensive review on a number of already published studies that focuses cellular mobile phone health effects. The standards for this industry focuses particular on European and U.S. regulatory agencies to monitor the regulations and their methods of operation. Part of the work was to carry out several of SAR measurements with different hardware. The aim was to highlight the differences and its amount.

SAR measurements were started by selecting two identical mobile phones. With these test samples were performed a number of repeated measurements. Measurements aimed to investigate which test sample is more stable, and to select the more stable one for the upcoming tests. When the reference device was found SAR measurement system probe and a data acquisition unit (DAE) were changed. These tests were made to find out the differences with a different hardware setup. The last comparison compared the iSAR and the traditional SAR system equipment with earlier collected reference measurements.

Based on the test results it was found that changing the probe and the DAE affect so marginally that it don't have practical significance of the measured SAR values. In the iSAR comparison, it was found that it produces smaller results than the traditional SAR system. Although the results were consistently smaller this is noticed in the standards laboratory's uncertainty value.

Based into the iSAR comparisons results product development will take into account the deviation between the results of the traditional SAR system. It must be noticed that these measurements were performed only in one frequency range, so the results may not apply in the different frequency bands. These tests gave a good reference results so now the differences between laboratories can be measured and compared to each other.

## KEYWORDS:

SAR, specific absorption rate, mobile phone, radiation

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO</b>	<b>6</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2 MATKAPUHELINSÄTEILY</b>	<b>2</b>
2.1 SAR:n määritelmä	2
2.2 Säteilevät laitteet ja säteilyn hyötykäyttö	3
<b>3 SÄTEILYN TERVEYSVAIKUTUKSET</b>	<b>6</b>
3.1 Ionisoiva säteily	6
3.2 Ionisoimaton säteily	7
<b>4 STANDARDIT</b>	<b>10</b>
4.1 Asiantuntija ja standardointijärjestöt	11
4.2 ICNIRP	13
4.2.1 ICNIRP:n tavoitteet	14
4.2.2 ICNIRP:n jäsenet	14
4.2.3 ICNIRP:n tieteellinen asiantuntemus	15
4.2.4 ICNIRP:n konsultointi ja työtavat	15
4.2.5 ICNIRP:n julkaisut	15
4.3 FCC	16
4.4 Neuvostoliiton aikaiset säteilyhygieeniset normit	17
<b>5 SAR-MITTALAITTEISTOT</b>	<b>18</b>
5.1 Robotti	19
5.2 DAE	20
5.3 Mittapää	21
5.4 Phantom	22
5.5 Simulanttinesteet	24
5.6 Ohjelmistot	24
5.7 Matkapuhelinverkon luontilaitteisto	27
5.8 iSAR	28
<b>6 MITTAUKSET JA VERTAILUT</b>	<b>30</b>
6.1 Stabiilisuustestit sekä proben ja DAE:n vaikutus	31

6.2 iSAR-vertailu	32
<b>7 YHTEENVETO</b>	<b>35</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>36</b>

## **LIITTEET**

Liite 1. Testiyksilö 1 stabiilisuustesti (kehomittaus)	
Liite 2. Testiyksilö 2 stabiilisuustesti (kehomittaus)	
Liite 3. Mittatulokset eri DAE:lla ja probella	
Liite 4. iSAR-mittatulokset (testiyksilö 1)	
Liite 5. iSAR-mittatulokset (testiyksilö 2)	

## **KUVAT**

Kuva 1. Laitteet eriteltynä toimintataajuuden mukaan [4].	4
Kuva 2. SAR-mittausjärjestelmä.	18
Kuva 3. SAR-mittauksissa käytettävä TX-sarjan teollisuusrobotti [21].	19
Kuva 4. DAE kiinnitettynä robottiin.	20
Kuva 5. SAR-mittapään rakenne (SPEAG ET3DV5R) [15].	21
Kuva 6. ELI-allas kehomittauksille [24].	23
Kuva 7. Triple modular -allas kehomittauksille [24].	23
Kuva 8. Twin SAM -allas pää- ja kehomittauksille [24].	23
Kuva 9. DASY-ohjelmisto.	26
Kuva 10. SEMCAD X -ohjelmisto.	26
Kuva 11. Rohde & Schwarzin CMW 500 -tukiasemasimulaattori [26].	28
Kuva 12. iSAR-mittapöytä [28].	29

## **TAULUKOT**

Taulukko 1. Kansainvälisiä asiantuntija- ja standardointijärjestöjä [15].	12
Taulukko 2. Eri maiden valvovia viranomaisia [15].	13

## KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO

DAE	Datan keräämisyksikkö joka välittää mittadatan tietokoneohjelmistolle. Data Acquisition Electronics.
DUT	Yksilöity testikappale esim. matkapuhelin. Device Under Test.
FCC	Valvoo ja säätelee Yhdysvaltojen sisäistä ja kansainvälistä teleliikennettä. Määrittää Yhdysvalloissa myytävien matkapuhelinten SAR-mittaustavat ja maksimi SAR-arvot. Federal Communications Commission.
Hot spot	Mittakuvassa näkyvä alue, jossa SAR-säteily on voimakkainta.
ICNIRP	Määrittää mm. Euroopassa myytävien matkapuhelinten mittaustavat ja maksimi SAR-arvot. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection.
ILO	Kansainvälinen työjärjestö. International Labour Organization.
Permittiivisyys	Permittiivisyys on suure, joka kuvaa, miten väliaine vaikuttaa siihen kohdistuvaan sähkökenttään.
Phantom	SAR-laitteiston allas, jossa SAR-mittaukset suoritetaan.
Probe	SAR-laitteiston mittapää.
RF	Radiotaajuus. Radio Frequency.
SAR	SAR kuvaa radiotaajuisesta sähkömagneettisesta säteilystä kudoksiin absorboitunutta säteilyn määrää. SAR-mittauksia hyödynnetään matkapuhelinsäteilyn altistumisen arvioinnissa. Specific Absorption Rate eli ominaisabsorptionopeus.
Spacer	Tarkkaan mitoitettu kappale, jonka avulla määritetään matkapuhelimen ja phantomin välinen etäisyys.
STUK	Säteilyturvakeskus on sosiaali- ja terveysministeriön hallinnonalaan kuuluva Suomen säteilyvalvonnasta ja ydinturvallisuusvalvonnasta vastaava viranomainen.
System check	Toimenpide, jolla varmistetaan laitteiston tuottaman mittadatan luotettavuus.

Variantti	Matkapuhelinmallista tehty operaattorikohtainen variaatio.
WHO	Maailman terveysjärjestö. World Health Organization
WLAN	WLAN on langaton lähiverkkotekniikka, jolla erilaiset verkkolaitteet voidaan yhdistää toisiinsa ilman kaapeleita. Wireless Local Area Network.

# 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä on keskitytty matkapuhelimesta aiheutuvien terveyshaittojen arvointiin sekä SAR-järjestelmien erilaisiin vertailumittauksiin. Toimeksiantajana opinnäytetyössä on Nokia TCC. Kaikki mittaukset suoritetaan Nokian Salon toimipisteessä. Toimeksiantaja tarvitsee kyseisiä tuloksia mm. eri toimipaikkojen mittaustulosten vertailuun ja analysointiin. Osa työosuuden suunnitelluista mittauksista ja mittalaitteistoista jätetään salaisten tietojen ja laajuuden takia opinnäytetyön ulkopuolelle.

Matkapuhelinsäteilystä ja SAR:sta on tehty opinnäytetöitä. Näissä ei kuitenkaan käsitellä mittalaitteistoa, mittauksia eikä laitevertailuja. Säteilyturvakeskus (STUK) on julkaissut sähkömagneettisista kentistä kirjan, jossa sivutaan myös SAR-säteilyä, viranomaistahoja, terveysvaikutuksia ja mittaustekniikkaa.

Matkapuhelinten yleistymisen vuoksi niiden aiheuttaman säteilyaltistumisen vaikutuksiin on alettu kiinnittää enemmän huomiota. Suomessa matkapuhelinten aiheuttamaa säteilyä tarkkailee Säteilyturvakeskus. Yksi STUK:n tehtävistä on tehdä säännöllisesti pistokoemittauksia kaikille Suomessa markkinoilla oleville matkapuhelinvalmistajien tuotteille. Luvussa 3 keskitytään säteilyn terveysvaikutuksiin, ja siinä käydään läpi useita säteilyn terveyshaittoja käsitteleviä tutkimuksia ja julkaisuja.

Työn tarkoituksena on selvittää matkapuhelimen aiheuttaman säteilyn tunnetut vaarat, mittaustekniikat, viranomaistahot, standardit, mittalaitteisto sekä erityisesti mittalaitteistosta johtuvien tulosten eroavaisuus ja määrä. Luvuissa 5 ja 6 perehdytään mittalaitteistoon ja vertailumittauksiin.



## 2 MATKAPUHELINSÄTEILY

Matkapuhelimia käytettäessä ne säteilevät matalatasoista radioaaltoa kommunikoidakseen verkossa. Matkapuhelimista tai niiden tukiasemista aiheutuvaa säteilyä on joka puolella. Tästä syystä tieteelliset organisaatiot ovat määrittäneet ohjeistuksen, joka sisältää ihmisen radiotaajuussäteilylle altistumisen turvalliset raja-arvot. Hallitukset ympäri maailman ovat ottaneet käyttöön nämä laajat kansainväliset turvallisuusohjeistukset. Turvallisuusohjeistukset täyttääkseen matkapuhelinvalmistajat suunnittelevat matkapuhelimet toimimaan ohjeistuksissa tarkkaan säädettyjen raja-arvojen alapuolella. Jokainen matkapuhelinmalli testataan standardien mukaisesti ja testitulokset raportoidaan viranomaishyväksyntiä varten. Uusien puhelimien SAR-arvot ovat luettavissa valmistajien www-sivuilta, myyntiesitteistä tai matkapuhelimen käyttöohjeista. [1] [12]

Suomessa valvova viranomainen on Säteiluturvakeskus (STUK). STUK:ssa matkapuhelimia on testattu vuodesta 2003 lähtien. STUK valvoo matkapuhelinten säteilyturvallisuutta testaamalla pistokokein eri puhelinmalleja. Ensisijaisesti matkapuhelinten turvallisuudesta on kuitenkin vastuussa tuotteen valmistaja. Valmistajan velvollisuutena on varmistaa puhelimen vaatimustenmukaisuus ennen kuin matkapuhelin tuodaan markkinoille. STUK:ssa mitattujen puhelinten SAR-arvot ovat vaihdelleet 0,2 W/kg – 1,4 W/kg välillä. Yhdenkään STUK:n testaaman puhelimen SAR-arvo ei ole ylittänyt raja-arvoa. STUK:ssa testit tehdään kansainvälisen IEC62209-1 -standardin vaatimusten mukaan. [12]

### 2.1 SAR:n määritelmä

SAR on mittayksikkö, joka on lyhenne sanoista Specific Absorption Rate. SAR kuvaa ominaisabsorptionopeutta eli radioaallostaa pään tai vartalon alueen kudoksiin paikallisesti imeytyvää tehoa, ja sen yksikkö on W/kg.

SAR-mittauksissa siis tutkitaan nimenomaan energiaa, joka radioaalloista imeytyy kudokseen, eikä puhelimesta lähtevää kokonaistehoa.

Matkapuhelimissa lähetysteho riippuu aina yhteyden laadusta tukiasemaan sekä käyttötilanteesta, eli puhutaanko (normaali tai datapuhelu) kuunnellaanko vai ollaanko vain valmiustilassa. [2] Matkapuhelimet suunnitellaan niin, että ne (mm. virrankulutuksen pienentämiseksi) lähettävät aina mahdollisimman pienellä teholla. Kentän voimakkuuden ollessa hyvä matkapuhelin lähettää siis pienellä teholla, mutta mikäli puhelin on ns. huonossa kentässä, lähetysteho voi olla jopa satakertainen. [3]

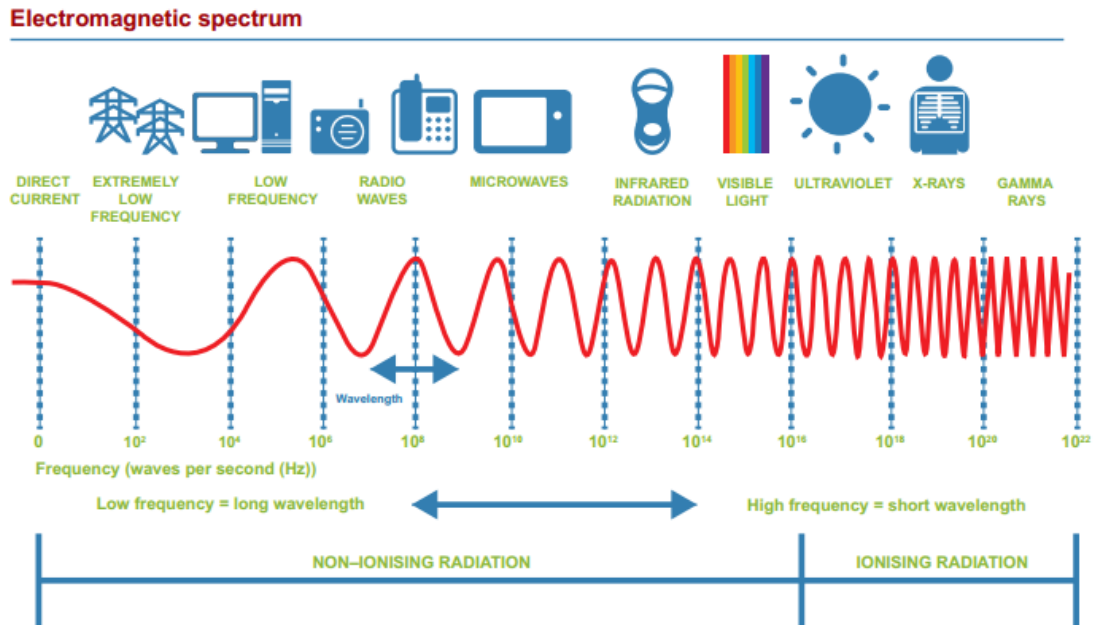
Laboratorio-olosuhteissa mittaukset tehdään aina suurinta mahdollista matkapuhelimen lähetystehoa käyttäen, joten todellisuudessa säteilylle altistutaan lähes aina vähemmän kuin mittauksien perusteella voisi tulkita. [1] Puhelinta suunniteltaessa pitää myös ottaa huomioon, että samanaikaisesti voi käytössä olla eri yhteystyyppisiä, esim. puhe, Bluetooth tai datayhteys. Huomioitavaa on, että yhteyksien samanaikainen käyttö ei saa ylittää asetettua SAR-enimmäisrajaa ja testauksessa keskitytäänkin erityisesti worst case -mittauksiin. [3]

Suomessa, kuten koko Euroopassa, noudatetaan kansainvälisen ionisoimattoman säteilyn toimikunnan ICNIRP:n uusimpia säädöksiä. ICNIRP:n määrittämien mukaan matkapuhelimesta kudoksiin imeytyvän SAR:n enimmäisraja on 2 W/kg. Käytettävä raja-arvo on testatusti huomattavasti alle sellaisen altistumistason, jolla on todettu olevan haitallisia vaikutuksia. [3] [12]

## 2.2 Säteilevät laitteet ja säteilyn hyötykäyttö

Säteilyä on kaikkialla, ja se kuuluu luonnollisena osana elinympäristöömme. Säteily on aina joko ionisoimatonta- tai ionisoivaa säteilyä. Säteily voi olla joko sähkömagneettista aaltoliikettä tai hiukkassäteilyä. Nykyaikana yleisimpiä kotiympäristöstä löytyviä säteilylähteitä ovat mm. matkapuhelimet, televisio, itkuhälytin, mikroaaltouuni, palovaroitin, WLAN-tukiasemat ja tietokoneet. Tämän lisäksi ympäristössämme on myös muita säteilyä tuottavia laitteita esimerkiksi

AM- ja FM-radiolähetykset sekä ilmateitse välitettävät TV-lähetykset. Eri laitteet toimivat eriävillä taajuuksilla päällekkäisyyksien ja häiriöiden välttämiseksi (Kuva 1).



Kuva 1. Laitteet eriteltynä toimintataajuuden mukaan [4].

Nykyisin säteilyä hyödynnetään monilla eri aloilla. Tässä opinnäytetyössä keskitytään pääsääntöisesti matkapuhelinten aiheuttamaan säteilyyn ja sen mittaamiseen. Muutama muukin teollisuuden ala käyttää säteilyä hyväksi.

Terveydenhuollossa säteilyä käytetään magneetti- ja röntgenkuvauksissa sekä sädetyshoitona, jolloin päämääränä voi olla esimerkiksi syöpäkasvaimen tuhoaminen tai oireiden lievittäminen. [5]

Elintarviketeollisuudessa säteilyä käytetään hyväksi säteilyttämällä esimerkiksi mausteita niiden säilyvyyden parantamiseksi. Osa säteilystä on terveydelle vaarallista, ja se tappaa bakteereja ja mikrobeja. Tätä säteilyvaikutusta hyödyntää lääke- ja sairaalateollisuus muun muassa säteilysteriloimalla pakkauksia ja instrumentteja.

Paperiteollisuudessa säteilyä hyödynnetään paperin paksuuden mittaamiseen ja laadun varmistamiseen prosessin aikana. Säteilyä hyödynnetään myös raja-  
asemilla muun muassa täydessä lastissa olevien rekka-autojen läpivalaisuun.  
[6]

Tietotekniikan, tietoliikennetekniikan ja elektroniikan alalla säteilyä käytetään  
pääasiassa tiedon lähettämiseen ja vastaanottamiseen. Matkapuhelinten aihe-  
uttamista terveysvaikutuksista on tehty useita eri tutkimuksia ja niitä käsitellään  
tarkemmin luvussa 3.

## 3 SÄTEILYN TERVEYSVAIKUTUKSET

Kaikki säteily jaetaan joko ionisoivaan tai ionisoimattomaan säteilyyn. Ionisoimattomaa säteilyä ovat ultraviolettisäteily, lasersäteily, infrapunasäteily sekä radiotaajuiset ja pientaajuiset sähkömagneettiset kentät. Ionisoimaton säteily aiheuttaa pääasiassa palautuvia solutason muutoksia kuten lämpötilan kohoamista. Ionisoivaa säteilyä ovat röntgen-, gamma- ja radonsäteily. Ionisoiva säteily on ihmiselle vaarallista aiheuttaen mahdollisesti pysyviä solutason muutoksia. Ionisoiva säteily ionisoi kohdemateriaalia kuten ihmiskehon molekyylejä. [7] [8]

Optisen säteilyn, kuten esimerkiksi laser-säteilyn, riskejä pyritään välttämään kapseloimalla säteilylähde, jotta säteily ei pääse silmiin tai iholle. Optiselle säteilylle altistumista minimoidaan estämällä säteilyn pääsy työskentelyalueille tai henkilökohtaisilla suojaimilla, kuten suojalaseilla. [7]

Sähkömagneettisille kentille altistumista pyritään välttämään käyttämällä erilaisia kotelointitekniikoita sekä estämällä säteilyn leviämistä. Laitteiden valmistajat ovat vastuussa tuotteidensa säteilyturvallisuudesta, ja vaarojen hallinta onkin asiantuntijoiden työtä. [7]

### 3.1 Ionisoiva säteily

Ionisoivan säteilyn käyttö on luvanvaraista, ja ionisoivaa säteilyä käyttävien työntekijöiden annosvalvonta on säädetty tarkasti. Terveysriskiä aiheuttavaa ionisoivaa säteilyä saattaa esiintyä ydinvoimaloissa, röntgentutkimuksissa tai radioaktiivisia aineita käsiteltäessä. Röntgen- ja gammasäteilyä käytetään monilla teollisuuden aloilla, esimerkiksi metalliteollisuudessa hitsausaumojen laadun tarkastamiseen. [7] [8]

Radon on hajuton, väritön ja mauton radioaktiivinen jalokaasu, jonka säteily on ionisoivaa säteilyä. Radonia vapautuu luonnosta ilmaan maa- ja kallioperästä. Koti ja työpaikkojen radonpitoisuuteen vaikuttavat maa- ja kallioperän radontuotto ja läpäisevyys, rakennuksen perustamistapa sekä ilmanvaihto. Radonpitoisten pohjavesien vuodot voivat lisätä pitoisuutta maanalaisissa tiloissa. [7]

Radonin terveysvaikutukset tunnetaan, ja se voi aiheuttaa keuhkosyöpää. Eri-tyisen haitallista on yhteisvaikutus asbestialtistuksen ja tupakoinnin kanssa. Huoneilman radonpitoisuutta voidaan määrittää radonmittauspurkeilla lämmityskauden aikana. Halutessaan myös yksityishenkilöt voivat tilata radonmittauksen Säteilyturvakeskuksen nettisivuilta. Radonhaittaa voidaan pienentää kunnollisella ilmanvaihdolla ja rakennusteknisillä toimilla. [7] [8] [9]

### 3.2 Ionisoimaton säteily

Ionisoimaton säteily jaetaan kolmeen eri kategoriaan, optiseen säteilyyn, radio- taajuisiin säteilyihin sekä pientaajuisiin sähkömagneettisiin kenttiin. Optiseen säteilyyn kuuluvat ultraviolettisäteily, lasersäteily ja infrapunasäteily. Matkapuhelimissa on siis kyse nimenomaan ionisoimattomasta, tarkemmin radiotaajuisesta (RF = Radio Frequency) säteilystä. [7]

### **Radiotaajuiset sähkömagneettiset kentät**

Tutkimusten mukaan matkapuhelimen ja tukiaseman lähettämät radioaallot ovat energialtaan niin pieniä, etteivät ne kykene rikkomaan kemiallisia sidoksia, esimerkiksi vaurioittamaan DNA:ta ja aiheuttamaan syöpää. Pitkäaikaiskäytöstä on kuitenkin vielä vähän tutkimustietoa, joten mahdollisia haitallisia terveysvaikutteita ei toistaiseksi voida vielä täysin sulkea pois. [10]

Radioaaltojen biologisia vaikutuksia on tutkittu kymmeniä vuosia. Tunnetut radiotaajuuden säteilyn välittömät terveysvaikutukset johtuvat radioaaltojen energian imeytymisestä kehoon, mikä aiheuttaa lämpötilan nousua kudoksissa. Mikäli kehon lämmönsäätelyjärjestelmä ei pysty poistamaan kudoksista ylimääräistä lämpöä, säteilystä syntyy terveyshaittoja. Näin suuria altistumisia ei kuitenkaan esiinny pelkästään matkapuhelinta käyttämällä, mutta altistuminen on kuitenkin mahdollista poikkeusolosuhteissa. Suurille säteilymäärille voi altistua joissakin työtehtävissä, kuten mastotöissä, tutka-asennuksissa ja suurtaajuuskuumennuksessa. [10]

Matkapuhelinsäteilyn biologisia vaikutuksia on selvitetty muun muassa soluko-keilla. Tutkimuksissa on havaittu, että matkapuhelimen radiotaajuinen säteily saattaa muuttaa matkapuhelimen altistustasolla väliaikaisesti joidenkin proteiinien aktiivisuutta sekä soluviljelmissä että ihmisen ihosta. Tutkimuksessa havaitut biologiset muutokset eivät kuitenkaan vielä tarkoita terveyshaittaa. [10]

Turun yliopistossa on tehty neuropsykologisia tutkimuksia, joissa on selvitetty matkapuhelinsäteilyn vaikutusta päättelyyn ja muistiin. Tehdyissä tutkimuksissa ei ole pystytty toistettavasti osoittamaan, että matkapuhelimen säteilyllä olisi käyttäjänsä kognitiivisia vaikutuksia. [10]

Matkapuhelimen aiheuttamia terveyden haittavaikutuksia on tutkittu myös lapsilla. Lapsilla ja nuorilla on ohuempi kalloluu ja joustavampi korvalehti, ja siksi aivojen altistuminen säteilylle on voimakkaampaa. Tutkimustulosten mukaan korvalla olevan matkapuhelimen aiheuttama altistuminen on alle 8-vuotiaiden aivojen pinnalla noin kaksinkertainen aikuisten altistumiseen verrattuna. Aivo-kudoksen lämpeneminen ei kuitenkaan ole sen suurempaa kuin aikuisilla, koska altistuminen kohdistuu niin pienelle alueelle. [10]

Matkapuhelimen käyttöön mahdollisesti liittyvästä kasvainvaarasta on tehty useita kymmeniä kohorttitutkimuksia (väestötasoisia tutkimuksia). Tähänastisten tutkimusten perusteella ei voida tehdä sellaista johtopäätöstä, että matkapuhelimet aiheuttaisivat riskiä terveydelle.

Myös yhdisteltyjä tutkimustuloksia on analysoitu. Eräät useita aiempia tutkimuksia yhdistäneet analyysit ovat antaneet viitteitä siitä, että yli 10 vuotta matkapuhelinta käyttäneillä saattaa olla suurentunut aivokasvaimen riski. Näihin tutkimuksiin liittyy kuitenkin epävarmuustekijöitä. Yksi suurimmista tutkimuksen lopputulokseen vaikuttavista virhelähteistä on muistiharha. Tutkittujen henkilöiden on vaikea muistaa tarkasti useita vuosia sitten tapahtuneiden puheluiden kestoa, eikä sitä, kummalla puolella päätä puhelinta on pitänyt. [10]

Uusimmassa matkapuhelimen ja syövän yhteyttä käsittelevässä tutkimuksessa päädyttiin tulokseen, ettei matkapuhelin lisää syöpäriskiä. Tutkimus oli erityisen kattava ja sen tekemiseen käytettiin yli 11 vuotta. Tutkimuksen rahoitti Britannian hallitus ja tietoliikenneteollisuus, joka käytti omaan osuutensa noin 16,6 miljoonaa euroa. Kyseinen tutkimus julkaistiin helmikuussa 2014. [11]

Matkapuhelimen terveyshaittoja tutkitaan edelleen jatkuvasti ja myös Säteilyturvakeskuksessa on meneillään useita tutkimuksia. Meneillään oleva kansainvälinen COSMOS-tutkimus on ensimmäinen väestötutkimus, johon matkapuhelimen käytön määrää koskevat tiedot saadaan matkapuhelinoperaattoreilta. Tällaista tutkimustietoa ovat kaivanneet muun muassa Maailman terveysjärjestö WHO sekä useat kansainväliset asiantuntijaryhmät. COSMOS-tutkimukseen osallistuvat Iso-Britannia, Tanska, Ruotsi, Suomi ja Hollanti. [14]

Matkapuhelinten ja matkapuhelintukiasemien yleistymisen on lisännyt radiotaajuiselle säteilylle altistuvien työntekijöiden määrää nopeasti viime vuosina. Matkapuhelimet ovat pienitehoisia ja niiden, kuten myös matkapuhelintukiasemien, kentät vaimenevat hyvin nopeasti etäisyyden kasvaessa. Yksittäisen käyttäjän helpoin tapa vähentää matkapuhelimesta saatavaa säteilyä on käyttää puhelimen kaiutintoimintoa tai vaihtoehtoisesti handsfree-laitetta. Jo pelkästään vyökotelon käyttäminen vähentää altistumista huomattavasti. [10] [13]



## 4 STANDARDIT

RF-säteilyn aiheuttamista terveysvaikutuksista huolenaiheena on ollut erityisesti niiden aiheuttama kudosten lämpeneminen. Kuten edellisessä luvussa todettiin, matkapuhelinten vaikutusta ihmiseen on jo tutkittu pitkään. Jotta tunnetuilta ja muilta potentiaalisilta terveysuhilta välttyttäisiin, laitteille on luotu paljon kansallisia ja kansainvälisiä standardeja sekä normeja, jotka laitteiden tulee täyttää. Osa standardeista ja normeista on käytössä suuremmilla alueilla, mutta osa niistä on maakohtaisia. [15]

Standardeilla määritellään miten jokin asia pitää tehdä. Normi puolestaan on ennemminkin suositus, kuinka jokin asia tulisi tehdä. Alalla on myös normeja, jotka ovat velvoittavia. Standardeja ja normeja käytetään muun muassa rajamaan kuinka paljon ihmiseen saa kohdistua säteilyaltistumisia esimerkiksi matkapuhelimesta. Mikäli säteilyarvot valmistusvaiheessa ylittävät markkina-alueensa säteilyrajat, tulee puhelin säätää ennen myynnin aloittamista vaatimusten mukaiselle tasolle tai jättää julkaisematta. Pahimmassa tapauksessa tuote on jo julkaistu, ja se joudutaan vetämään pois markkinoilta. Näin voi kuitenkin tapahtua vain mikäli jossain tuotekehityksen, valmistamisen tai mittauksen vaiheessa on rikottu säännöstöjä.

Altistumisrajat määrittelee kyseisen markkina-alueen säädökset, mutta ne eroavat tavallisilla ihmisillä ja säteilyä tuottavien laitteiden parissa työskentelevillä ihmisillä. Esimerkiksi ICNIRP:n säteilyä tuottavien laitteiden kanssa työskentelevän työntekijän raja paikalliselle keskiarvoistetulle (10 g kuution ihmiskudosta suhteutettu SAR-määrä) SAR:lle on kehossa ja päässä 10 W/kg, kun muulle väestölle se on 2 W/kg eli viisi kertaa pienempi. Nämä raja-arvot ovat 25 kertaa suurempia kuin mitä vastaavat koko kehon SAR-arvot 0,4 W/kg ja 0,08 W/kg. Koska matkapuhelinta käyttäessä vain pieni osa ihmisestä altistuu säteilylle, ja säteily vaimenee huomattavasti etäisyyden kasvaessa, mittauksissa keskitytään paikallisen (keskiarvoistetun 10 g kuution suhteutetun) SAR-säteilyn etsimiseen. [15]

Koska matkapuhelimia on käytössä paljon, valtaosa radiotaajuisten säteilyn aiheuttamista huolenaiheista liittyy niihin. RF -taajuusalueella on myös muita laitteita, mutta matkapuhelimien yleisyyden takia ne tuottavat eniten säteilyä kyseiselle taajuusalueelle. Matkapuhelinten mittauksissa tarkkailu kohdistuu kehon lisäksi päähän absorboituvan säteilyn määrään tietyllä aikavälillä. Standardeissa määritellään siis SAR-arvo, jolla tarkoitetaan keskimääräistä absorboituvan energian määrää 6 min:n jakson aikana, ja myös paljonko paikallinen maksimi SAR-arvo saa olla. [15]

Tässä opinnäytetyössä tullaan keskittymään pääsääntöisesti siihen kuinka säteilyrajat määritellään Euroopassa (ICNIRP) ja Yhdysvalloissa (FCC), ja kerrotaan vain lyhyesti miten muualla maailmassa toimitaan.

#### 4.1 Asiantuntija ja standardointijärjestöt

Maailmassa on olemassa monia kansallisia ja kansainvälisiä standardeja laativia ja valvovia järjestöjä. Maailmanlaajuisesti standardit pohjautuvat kolmen eri järjestön suositukseen. Näistä standardeista ja säädöksistä ovat muut järjestöt tehneet omia linjavetojaan. Euroopassa ionisoimattoman säteilyn säteilyrajat asettaa ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), mutta ICNIRP:n suosituksia käyttää myös osa Euroopan ulkopuolisista teollisuusmaista (esim. Australia ja Kiina). [15]

Yhdysvalloissa ja Kanadassa standardit päätetään IEEE:n (Institute of Electrical and Electronic Engineers) suositusten pohjalta. Valvovana viranomaisena Yhdysvalloissa ja Kanadassa toimii FCC, joka määrittelee rajat miten mittaukset tulee suorittaa. [15]

Venäjällä standardit pohjautuvat Neuvostoliiton aikaisiin säteilyhygieenisiin normeihin. Taulukkoon 1 on listattu myös muita kansainvälisesti merkittäviä asiantuntija- ja standardointijärjestöjä (Taulukko 1). [15]

Taulukko 1. Kansainvälisiä asiantuntija- ja standardointijärjestöjä [15].

Järjestö	WWW-sivut
<b>ICNIRP</b> – International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection	<a href="http://www.icnirp.de">www.icnirp.de</a>
<b>FCC</b> – Federal Communications Commission	<a href="http://www.fcc.gov">www.fcc.gov</a>
<b>IEEE</b> – The Institute of Electrical and Electronics Engineers	<a href="http://www.ieee.org">www.ieee.org</a>
<b>IEC</b> – International Electrotechnical Commission	<a href="http://www.iec.ch">www.iec.ch</a>
<b>WHO</b> – World Health Organization	<a href="http://www.who.int">www.who.int</a>
<b>CENELEC</b> – European Committee for Electrotechnical Standardization	<a href="http://www.celelec.org">www.celelec.org</a>

Suomessa, kuten myös muualla Euroopassa, standardit pohjautuvat siis ICNIRP:n suositukseen. Käytettävät suositukset määrittelevät Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö (STM) ja Säteilyturvakeskus (STUK). Näistä organisaatioista STM on vaikutusvaltaisempi, ja se on määrännyt STUK:n valvomaan, että säteilyrajoja noudatetaan, ja tutkimaan säteilyn vaikutuksia ihmiseen sekä ympäristöön. Yhtenä STUK:n tärkeimmistä tehtävistä on myös jakaa tietoa säteilyn vaikutuksista. STUK tekee myös matkapuhelimille pistotestejä mittaamalla eri valmistajien sattumanvaraisesti valittujen puhelinmallien SAR-arvoja. STM:n ratkaisujen pohjalta määräytyy lainsäädännölliset uudistukset sekä linjavedot säteilyrajojen osalta. Taulukossa 2 on listattuna muiden maiden kansallisia viranomaisia ja standardeja laativia järjestöjä (Taulukko 2). [15]

Taulukko 2. Eri maiden valvovia viranomaisia [15].

<b>Maa</b>	<b>Järjestö</b>	<b>WWW-sivut</b>
Suomi	<b>STUK</b> (Säteilyturvakeskus) <b>STM</b> (Sosiaali- ja terveysministeriö)	<a href="http://www.stuk.fi">www.stuk.fi</a> <a href="http://www.stm.fi">www.stm.fi</a>
Ruotsi	<b>SSI</b> (Statens strålskyddsinstitut)	<a href="http://www.ssi.se">www.ssi.se</a>
Norja	<b>NRPA</b> (Norwegian Radiation Protection Authority)	<a href="http://www.nrpa.no">www.nrpa.no</a>
Iso-Britannia	<b>HPA</b> (Health Protection Agency)	<a href="http://www.hpa.org.uk">www.hpa.org.uk</a>
Saksa	<b>BSF</b> (Bundesamt für Strahlenschutz) Strahlenschutzkommission	<a href="http://www.bfs.de">www.bfs.de</a> <a href="http://www.ssk.de">www.ssk.de</a>
Venäjä	<b>RNCNIRP</b> (Russian National Committee on Non-Ionizing Radiation Protection)	<a href="http://www.tesla.ru">www.tesla.ru</a>
Yhdysvallat	<b>FCC</b> (Federal Communications Commission)	<a href="http://www.fcc.gov">www.fcc.gov</a>
Kanada	<b>Health Canada</b>	<a href="http://www.hc-sc.gc.ca">www.hc-sc.gc.ca</a>
Australia	<b>ARPANSA</b> (The Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency)	<a href="http://www.arpansa.gov.au">www.arpansa.gov.au</a>

#### 4.2 ICNIRP

ICNIRP on kansainvälinen ionisoimattoman säteilyn toimikunta. Se on voittoa tavoittelematon julkisrahoitteinen organisaatio, jonka toimipaikka sijaitsee Saksassa. Komissio koostuu 14 jäsenestä, jotka ovat osa sen tietellistä asiantuntijaryhmää. Jäsenten asiantuntemus kohdistuu säteilyn mahdollisiin negatiivisiin vaikutuksiin sekä ihmisten terveyteen ionisoimattomalle säteilylle altistumisen yhteydessä [17].

Matkapuhelinvalmistajat eivät lähetä SAR-testausraporttejaan ICNIRP:lle. Valmistajat kuitenkin testaavat tuotteet ICNIRP:n vaatimalla tavalla, jotta puhelimet ovat turvallisia käyttää. ICNIRP:n vaatima SAR-arvo ilmoitetaan 10 g painavaan kuutiomaiseen ihmiskudosta jäljittelevään testipalaan suhteutettu SAR-säteily määrä.

#### 4.2.1 ICNIRP:n tavoitteet

ICNIRP:n pääasiallisena tavoitteena on levittää tietoa ja neuvoja mahdollisista terveyshaitoista (esim. ionisoimattomalle säteilylle altistuttaessa) kaikille jotka ovat aiheesta kiinnostuneita. ICNIRP:n tiedotus ja neuvonta kattaa kaikki erityyppiset ionisoimattomat säteilyt. Suuri osa ICNIRP:n tuottamasta informaatiosta julkaistaan tieteellisten katsauksien ja raporttien muodossa, ja ne käsitellään tieteellisissä kokouksissa. Näiden arvioiden tulokset yhdistetään riskinarviointiin, joka toteutetaan yhteistyössä Maailman terveysjärjestön (WHO) kanssa. Tuloksena julkaistaan ICNIRP:n määrittelemät altistumisrajat. Esimerkkejä näistä tuloksista ovat määritetyt altistumisrajat sähkömagneettisille kentille, lasersäteilylle, ultraviolettisäteilylle ja ultraäänelle. [17]

#### 4.2.2 ICNIRP:n jäsenet

ICNIRP:n jäsenet ovat riippumattomia asiantuntijoita tieteenaloilta, joita tarvitaan ionisoimattomalta säteilyltä suojautumisen tutkimiseen. ICNIRP:n komission tärkeimmät jäsenet valitaan komission sääntöjen peruskirjan mukaan. Komission ehdokkaat pyydetään kaikista kansallisista säteilysuojelun edustajista, jotka joko IRPA (International Radiation Protection Association) on valinnut, tai ICNIRP:n itse valitsemista jäsenistä. Puheenjohtaja ja varapuheenjohtaja valitaan aina jo komissiossa olevista jäsenistä. Komissiossa yksittäinen jäsenyys on rajattu maksimissaan 12 vuoteen. ICNIRP:n komission jäsenet eivät edusta kotimaataan tai niiden instituutteja, eivätkä jäsenet voi myöskään työskennellä teollisuuden palveluksessa. [17]

#### 4.2.3 ICNIRP:n tieteellinen asiantuntemus

ICNIRP:llä on tieteellistä asiantuntemusta mm. seuraavilta aloilta: lääketieteestä, ihotaudeista, silmätaudeista, epidemiologiasta, biologiasta, photobiologiasta, fysiologiasta, fysiikasta, sähkötekniikasta ja dosimetriasta. [17]

#### 4.2.4 ICNIRP:n konsultointi ja työtavat

ICNIRP käyttää paljon konsultointiapua. Konsultointiin ICNIRP käyttää sekä yksittäisiä asiantuntijoita että kansainvälisissä yhteistyökumppaniorganisaatioissa työskenteleviä ionisoimattoman säteilyn asiantuntijoita. Näitä organisaatioita ovat muun muassa Maailman terveysjärjestö (WHO), International Radiation Protection Association (IRPA), jossa on yli 16 000 jäsentä, the (US) National Council for Radiation Protection and Measurements, Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE), kansainvälinen valaistustoimikunta (CIE) ja kansainvälinen sähkötekniikan toimikunta (IEC). [17]

ICNIRP tekee tieteellistä työtään työryhmissä. Työryhmien eri työtehtävät koordinoidaan ja integroidaan komissiossa. Vuodesta 2013 työryhmiä alettiin kutsua projektiryhmiksi. Kullakin projektiryhmällä on oma työohjelmansa, jonka asettaa ICNIRP:n komissio. Projektiryhmät kootaan tieteellisistä asiantuntijakomiteoista ja ICNIRP:n komission jäsenistä. [17]

#### 4.2.5 ICNIRP:n julkaisut

ICNIRP julkaisee neuvoja ja tietoja eri tavoin. Esimerkiksi ICNIRP:n altistumista koskevia suosituksia ja sen lausuntoja kiinnostavista aiheista julkaistaan tieteellisessä lehdessä nimeltä Health Physics. ICNIRP julkaisee työnsä tuloksia myös omassa julkaisusarjassaan, nimeltään The Blue Books on NIR Protection. Usei-

ta tieteellisiä julkaisuja julkaistaan myös yhteistyössä WHO:n ja ILO:n kanssa. Lisätietoja kaikista ICNIRP:n julkaisuista on saatavilla ICNIRP:n nettisivuilta ja useat julkaisut ovat ladattavissa ilmaiseksi. [17]

#### 4.3 FCC

Federal Communications Commission (FCC) on Yhdysvaltain telehallintovirasto, joka perustettiin vuoden 1934 viestintälailalla. Virasto on Yhdysvaltain kongressin valtuuttama ja myös vastaa toimistaan kongressille. Ennen FCC:n perustamista edeltäjänä toimi vuonna 1927 perustettu Federal Radio Commission (FRC). [18]

FCC sääntelee Yhdysvalloissa kaikkia radiotaajuuksia, lukuun ottamatta liittohallituksen omaa käyttöä. FCC:n toimivaltaan lukeutuu kansainvälinen viestintä, jossa Yhdysvallat on joko lähde- tai kohdemaana, sekä liittovaltion sisäinen teliikenne. FCC:n tehtäviä on myös valvoa yleisten televisio- ja radiolähetysten säädyllyisyyttä sekä radiotaajuuksien kauppaaminen. FCC säännöt ovat osa Yhdysvaltojen lakikokoelmaa, ja ne kattavat kaikki 50 osavaltiota sekä Columbian piirin. Tarvittaessa FCC:llä on oikeus langettaa sakkoja henkilöille ja yhteisöille jotka rikkovat sen määräyksiä. [19]

FCC:tä johtaa viisi komissaaria, jotka Yhdysvaltojen presidentti nimittää. Presidentin nimitykset hyväksyy senaatti, ja nimitykset ovat voimassa viisi vuotta kerrallaan. Nimetyistä komissaareista voi samasta poliittisesta puolueesta olla maksimissaan kolme jäsentä. Varsinainen henkilökunta on jaettu seitsemään osastoon ja yhteentoista toimistoon. Osastot toimivat itsenäisesti, mutta tarvittaessa toisiaan avustaen. FCC:n budjetti vuonna 2012 oli 354.2 miljoonaa US dollaria ja sillä on 1 898 liittovaltion työntekijää. [19] [20]

SAR-mittauksien kannalta oleellinen ero FCC:n ja ICNIRP:n osalta on, että matkapuhelinvalmistajan tulee toimittaa FCC:lle kaikista markkina-alueelle tarkoitetuista puhelinmalleista ja niiden kaikista varianteista testausraportit. Viime vuosina FCC on muuttanut paljon SAR-testausmäärityksiään. Tämä on aiheuttanut matkapuhelinvalmistajille testaamisen lisääntymistä ja monimutkaistunut

testaustapoja. FCC:n vaatima SAR-arvo ilmoitetaan 1g painavaan kuutiomaiseen ihmiskudosta jäljittelevään testipalaan suhteutettu SAR-säteily määrä.

#### 4.4 Neuvostoliiton aikaiset säteilyhygieeniset normit

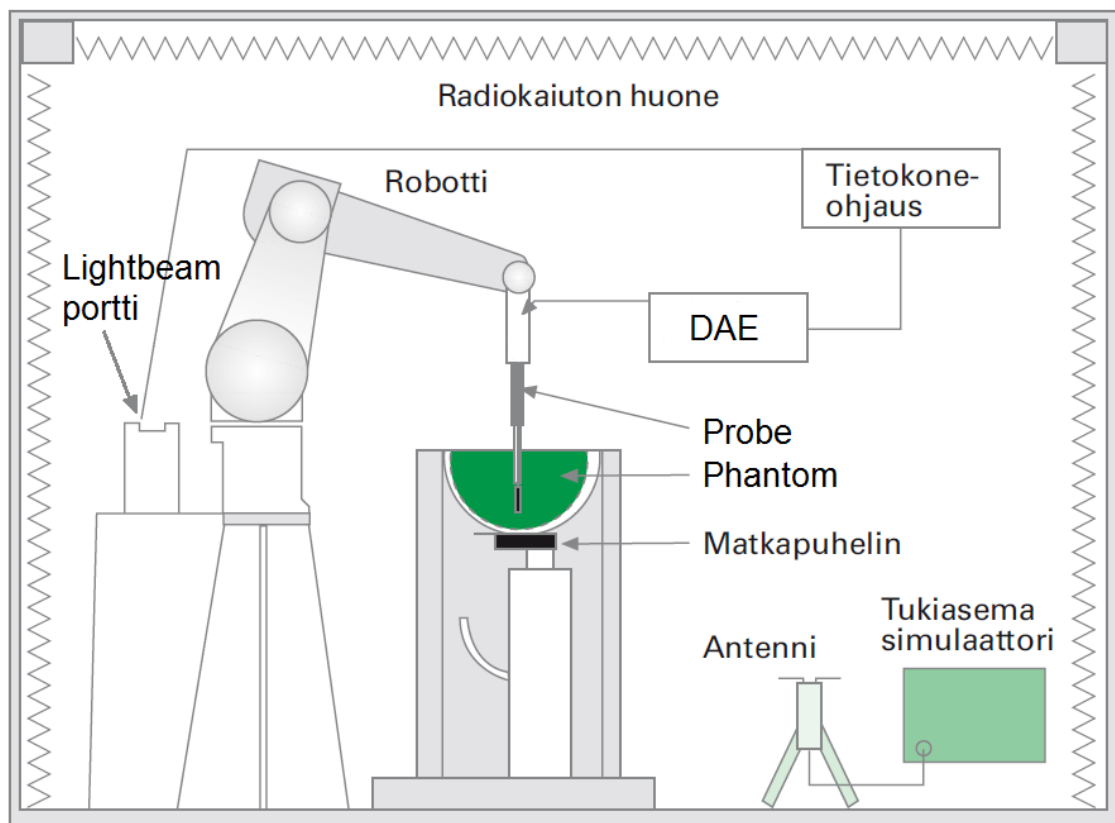
Venäjän säteilyhygieeniset normit radiotaajuiselle säteilylle ovat vuodelta 1996 ja ne periytyvät Neuvostoliiton ajalta. Normit poikkeavat huomattavasti länsimaaisista normeista myös radiotaajuusalueella. Venäjän normit on ajateltu niin, että säteilyhaitta kumuloituu työpäivän ajalta. Tämän vuoksi tehosiheyden sijaan rajoitetaan energiatiheyttä. Sen seurauksena 8 h kestäneessä altistumisessa sovellettava tehosiheyttä vastaava raja on pieni (0,25 W/m<sup>2</sup>). Länsimaissa vastaava raja on taajuudesta riippuen 10–100 W/m<sup>2</sup>. Lyhyillä altistumisajoilla ero kuitenkin pienenee. [15]

Venäjällä käytettävät altistumisrajat ovat määräyksiä ja ne ovat laadittu biologisin perustein. Altistumisrajojen biologiset perusteet kuitenkin poikkeavat länsimaisten altistumisrajojen perusteista. Länsimaissa rajat perustuvat hyvin tunnettuihin vaikutusmekanismeihin kuten hermostimulaatioon ja lämpövaikutuksiin. Venäjällä huomion kohteena ovat olleet enemmän epidemiologiaan ja klinisiin havaintoihin perustuvat neurovegetatiiviset vaikutukset, joita ilmentävät ei-spesifiset subjektiiviset pahanolon tuntemukset kuten päänsärky, heikotus, huihaus ja muistin heikentyminen. Venäjällä on ajateltu, että altistuminen sähkömagneettisille kentille olisi jonkinlainen ei-spesifinen stressitekijä elinympäristössä, ja että erityisesti pulssimaiset kentät olisivat siinä haitallisimpia. Viime vuosina länsimaissa vastaavanlaisia oireita on liitetty sähköherkkyyteen. [15]



## 5 SAR-MITTALAITTEISTOT

Matkapuhelimen SAR-arvojen mittausprosessissa käytetään monia alalle suunniteltuja laitteistoja. Osa laitteista on kuitenkin yleisiä teollisuudenaloille suunniteltuja, kuten esimerkiksi robotti. Tässä luvussa kerrotaan vain SAR-laboratoriossa olevista mittalaitteista (Kuva 2), mutta ei itse mittaamisperiaatteista. Mittaamisperiaatteista ja -tavoista kerrotaan tarkemmin luvussa 6.



Kuva 2. SAR-mittausjärjestelmä.

## 5.1 Robotti

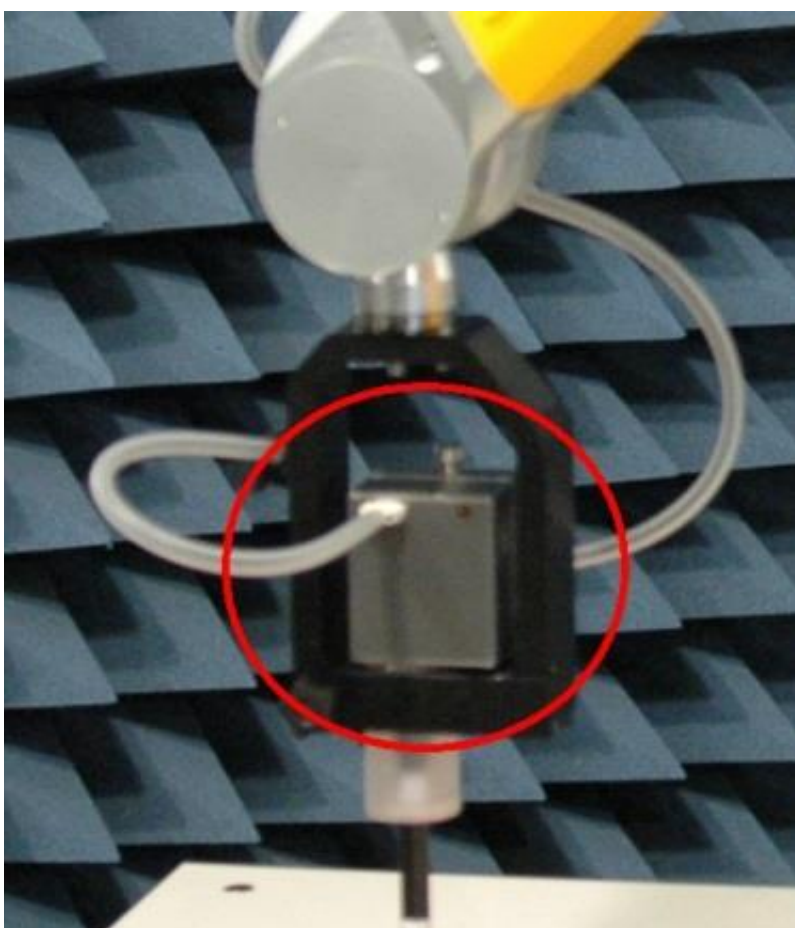
Robottina SAR-mittauksissa käytetään teollisuuden tarpeita varten valmistettuja yleisiä teollisuusrobotteja esimerkiksi Stäublin valmistamaa TX- (Kuva 3) ja RX-sarjaa. Robotin tehtävä on liikuttaa mittapäättä (probea) tietokoneen määäämiin tarvittaviin asentoihin kolmiulotteisessa mittauspisteiden verkossa. Tätä varten roboteissa on yleisesti 6 akselia. Robottia ohjataan tietokoneohjelmiston avulla tai tarvittaessa kaukosäätimellä. Kaukosäädinohjausta tarvitaan lähinnä joko vikatapauksissa tai asetettaessa ohjelmistolle phantomin paikka. Robotin tarkkuus toistettavissa mittauksissa on robotista riippuen  $\pm 0,03 - 0,05$  mm [21]



Kuva 3. SAR-mittauksissa käytettävä TX-sarjan teollisuusrobotti [21].

## 5.2 DAE

DAE on lyhenne sanoista Data Acquisition Electronics. SPEAG:n myymiin järjestelmiin SPEAG valmistaa DAE:n itse (Kuva 4). SPEAG on sveitsiläinen yritys, ja nimi on lyhenne sanoista Schmid & Partner Engineering AG. DAE:ssa on A/D-muunnin, ja se välittää mittadatan tietokoneohjelmistolle. DAE:n ominaisuuksiin kuuluu myös mm. reagoida ja välittää tieto tietokoneohjelmistolle, mikäli probe koskettaa (tai törmää) esteeseen tai altaaseen. DAE:ssa käytetään 9 V E-BLOCK -paristoja tai akkuja, ja sen käynnistys ja sammutus tehdään käsin. Mikäli patterit ovat loppumassa, DAE ilmoittaa siitä tietokoneohjelmistolle, joka ilmoittaa tiedon mittaajalle. [22]

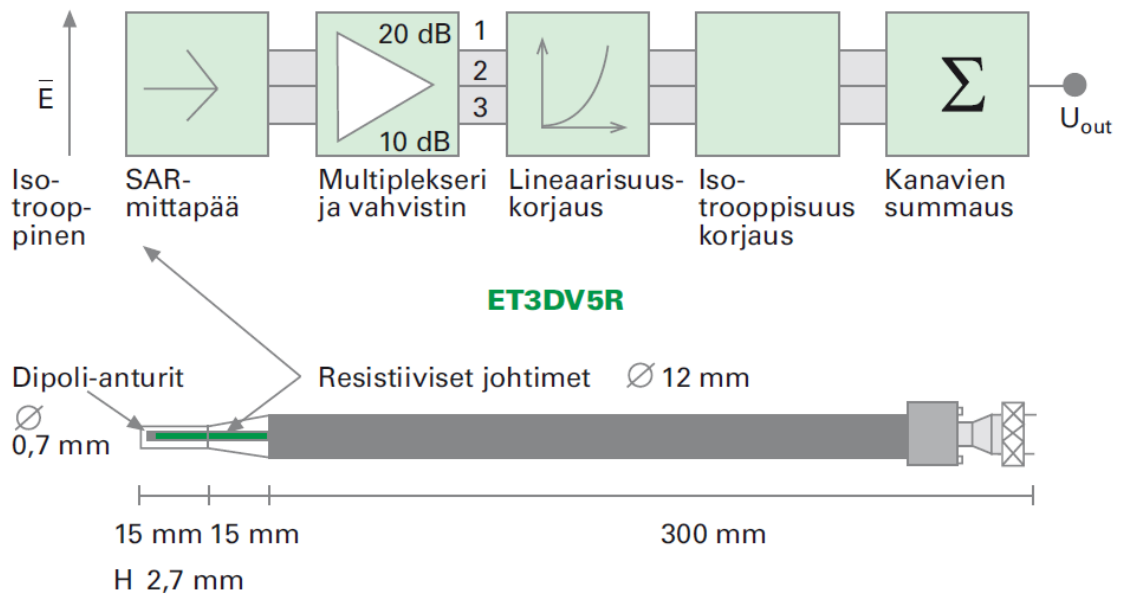


Kuva 4. DAE kiinnitettynä robottiin.

### 5.3 Mittapää

Mittapäättä kutsutaan probeksi. Se määrittää SAR-arvon nesteestä pienikokoisella isotrooppisella sähkökentän mittapäällä (Kuva 5). Neste on suunniteltu vastaamaan ominaisuuksiltaan (johtavuus ja permittiivisyys) ihmisen kudosta. Probe välittää mittadatan DAE:lle, josta se lähtee digitaalisenadatan optista kaapelia pitkin tietokoneelle. Probeja on erityyppisiä eri taajuusalueille. Probe voi olla käyttökelpoinen laajalle taajuusalueelle, ja esimerkiksi SPEAG:n valmistaman

EX3DV4-proben mittaustaajuusalue on 10 MHz - 6 GHz. [23] Kuten muissakin laitteissa, myös probeilla tulee olla voimassa olevat kalibrointitodistukset ja probet tulee kalibroida vuoden välein.



Kuva 5. SAR-mittapään rakenne (SPEAG ET3DV5R) [15].

## 5.4 Phantom

Phantom tarkoittaa simulanttinesteellä täytettyä allasta, josta SAR-arvot mitataan. Phantomeja on erilaisia erityyppisiä mittauksia varten. Mittausta tehtäessä mitattava laite asetetaan phantomin alle standardin määrittelemään asentoon ja kohtaan. FCC:n ja ICNIRP:n vaatimusten mukaan mittauksia tehdään sekä päälle että keholle. Kehomittaukset tehdään tasapohjaisissa altaissa (Kuvat 6 ja 7) ja päämittaukset ihmisen pääprofiilia jäljittelevissä altaissa (Kuva 8). Pään kohdistuvissa säteilymittauksissa mittaamista helpottaa, että altaassa on sekä oikean- että vasemmanpuoleinen pääprofiili. Näitä tarvitaan, koska mittaukset pitää tehdä sekä oikealta että vasemmalta puolelta. Näissä nk. Twin SAM -altaissa voidaan mitata tasapohjaisessa keskiosassa myös ICNIRP:n vaatimia kehomittauksia, vaikka käytössä on päämittaukseen käytetyt nesteet. Tasapohjaisessa keskiosassa voidaan suorittaa myös FCC:n vaatimia kehomittauksia, kun käytössä on keholle tarkoitettu simulanttineste.

Kuten muillekin laitteistoille, myös phantomeille on omat standardinsa, ja ne ovat erittäin tarkasti mitoitettuja. Esimerkiksi SPEAG:n valmistamissa altaissa seinän paksuus on  $\pm 0,2$  mm toleranssin sisällä. Valmistaja ilmoittaa phantomille myös taajuusalueen, johon allas on standardoitu. Altaat valmistetaan usein vahvistetusta lasikuidusta, ja päällysykset ovat pinnoitettua vaneria. Levyissä on merkityt paikat, joiden avulla robotille opetetaan altaan paikka. Suuremmissa, noin 30 l nestettä vaativissa altaissa ovat hanat nesteen vaihtamisen helpottamiseksi [24].



Kuva 6. ELI-allas kehomittauksille [24].



Kuva 7. Triple modular -allas kehomittauksille [24].



Kuva 8. Twin SAM -allas pää- ja kehomittauksille [24].

## 5.5 Simulanttinesteet

Mitattaessa käytettävän nesteen määrittelee kyseisen mittauksen taajuus ja tyyppi. Nestetyyppejä on kaksi. Pään kohdistuvan säteilyn SAR-arvoa mitattaessa käytössä oleva neste on suunniteltu vastaamaan aivokudoksen sähköisiä ominaisuuksia. Vastaavasti kehomittauksissa neste jäljittelee ihmisen keuhokudoksen sähköisiä ominaisuuksia. Usein tästä syystä kehomittauksiin tarkoitetut nesteet ovat koostumukseltaan juoksevampia kuin päämittauksissa käytettävät nesteet. Poikkeuksena yli 5 GHz mittauksissa käytettävät simulanttinesteet, joissa keho- ja päänesteet ovat yhtä juoksevia. Käytännössä nesteen tärkeät ominaisuudet ovat johtavuus ja permittiivisyys. Jokaisen taajuusalueen nesteille löytyy kirjallisuudesta ja esim. standardeista useitakin erilaisia reseptejä. Tarvittaessa simulanttinesteitä on mahdollista säätää ainesosia eli komponentteja lisäämällä.

Simulanttinesteen ominaisuudet mitataan korkeintaan 24 h ennen mittaussarjaa tehtävässä päivittäisessä tarkastusmittauksessa (system checkissä). Tässä yhteydessä mitataan myös nesteen lämpötila, ja sen on pysyttävä koko mittausten ajan  $\pm 2$  °C:n. Tämä ei ole useinkaan käytännössä ongelma, koska useimmissa laboratorioissa on ilmastoidut mittaushuoneet, eikä neste määränsä vuoksi lämpene mittauksissa kovinkaan paljoa. Nesteen määrä riippuu altaan koosta ja sen syvyys on määritelty standardeissa.

## 5.6 Ohjelmistot

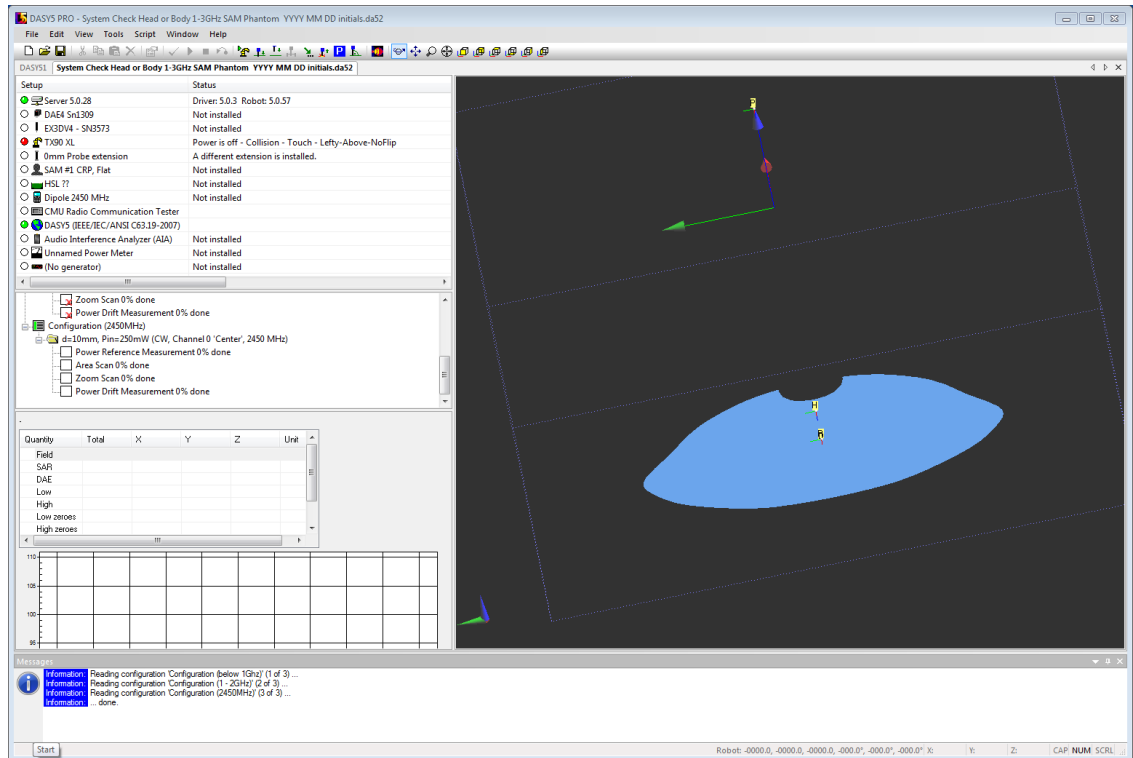
Laitevalmistaja SPEAG myy järjestelmiensä mukana myös mittausohjelmiston nimeltä DASY (Kuva 9). Ohjelmistolle määritellään käytettävä DAE, probe, robotti, mahdollinen proben jatkovarsi, phantom, neste, DUT sekä muita mahdollisia laitteita. Mittatiedostoon määritellään myös halutut mittaukset ja niiden konfiguraatiot. Ohjelmisto on erittäin monipuolinen ja asetuksia on paljon. Ohjelmis-

ton päätarkoituksena on ohjata robottia halutulla tavalla ja tallentaa saatu mittadata. Ohjelmistosta voi tallettaa tietoa CSV-muotoon, jolloin tulosten siirto esimerkiksi Excel-ohjelmistoon on mahdollista. Mittauksen valmistuttua ohjelmistosta näkee tuloksen heti, mutta mikäli mittaaaja haluaa katsella mittausdataa 3D-mallina, pitää käyttää toista ohjelmistoa nimeltä SEMCAD X.

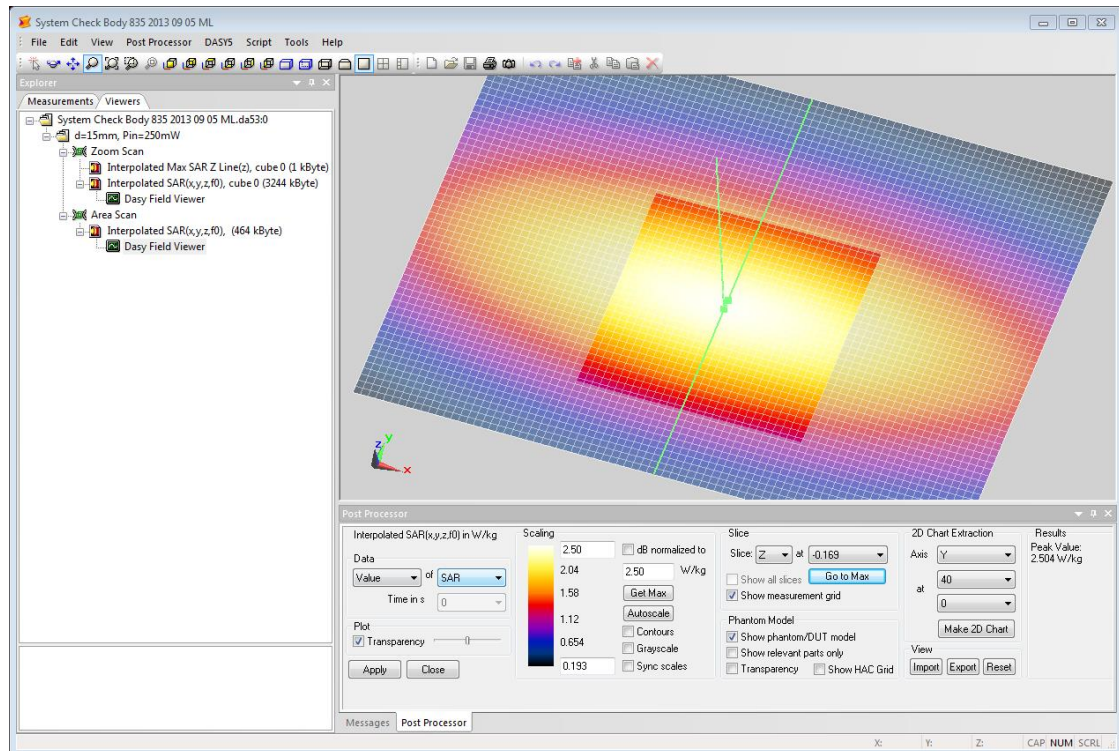
SEMCAD X (Kuva 10) on myös SPEAG:n myymä ohjelmisto, jota käytetään muun muassa mittapohjien valmisteluun ja tulosten analysointiin. Jokaisessa projektissa ennen varsinaisia mittauksia luodaan mittapohjat. Tämä nopeuttaa mittaamista sekä vähentää virheiden määrää. Ennen varsinaisten mittausten aloittamista mitataan SAR koko laitteesta ja mittadata viedään SEMCAD X ohjelmistolle. Mittausdatan tuonnin jälkeen ohjelmistolla näkee minne SAR-säteilyn suurimmat säteilykohdat eli ns. hot spotit sijoittuvat. [25] Tätä ominaisuutta käytetään määrittäessä mittatiedostoihin mitattavat alueet. Kun tiedetään minne hot spot sijoittuu mittaaminen nopeutuu, koska joka mittauksessa ei tarvitse mitata koko laitetta. Matkapuhelimeissa on monia antennia, jolloin hot spottien sijainti riippuu mitattavasta taajuudesta ja yhteystyypistä. Tämän takia mittapohjia luodaan useita.

SEMCAD X-ohjelmistoa käytetään myös SAR-raportoinnin tukena. Ohjelmistolla luodaan SAR-raportin yhteydessä ilmoitetut niin sanotut mittausplotit. Mittausplot on yhteenveto yksittäisestä SAR-mittauksesta tai eri mittauksien yhdistelystä. Yhteenveto pitää sisällään muun muassa SAR-lukemat 1 g:lle ja 10 g:lle, tiedot mittalaitteistosta, mitattauksen kohteena olevasta matkapuhelimesta, mitattavuudesta, mittaustiheydestä ja säteilykuvan.





Kuva 9. DASY-ohjelmisto.



Kuva 10. SEMCAD X -ohjelmisto.

## 5.7 Matkapuhelinverkon luontilaitteisto

Jotta matkapuhelimesta saadaan mitattua SAR-arvot laitteen pitää olla yhteydessä matkapuhelinverkkoon. Laboratorioissa matkapuhelinverkko luodaan itse, ja se koostuu antennista ja tukiasemasimulaattorista. Tukiasemasimulaattorivalmistajia on useita ja simulaattorien käyttö poikkeaa paljon toisistaan. Esimerkiksi Anritsun valmistamat laitteet ovat ulkoasultaan merkkipohjaisia, kun taas Rohde&Schwarzin CMW500:n ulkoasu on graafinen (Kuva 11). Ulkoasun lisäksi laitteiden käyttölogiikka on toisistaan poikkeava.

Ennen mittauksia tukiasemasimulaattorin asetuksista tulee valita haluttu puhelu ja datayhteystyyppi. Tyyppejä ovat esimerkiksi GSM-puhelu, GPRS (2G data), WCDMA (3G data) ja LTE (4G data). Osalla laitteista voi luoda minkä tahansa tyyppisen yhteyden, mutta osalla esimerkiksi LTE-mittausmahdollisuus puuttuu. Tämän jälkeen tulee valita mittauksessa tarvittavat asetukset, jotta matkapuhelin on yhteydessä samoilla parametreilla, joilla tietokoneelle on luotu mittatiedosto. Tukiasemasimulaattori ilmoittaa, kun mitattava matkapuhelin löytää verkon ja kun puhelu on yhdistetty. Mittauksen aikana matkapuhelimen pitää olla koko ajan yhdistettynä verkkoon, eikä yhteys saa katketa. Mitattaessa on erittäin tärkeää, että asetukset ovat oikein. Laboratorio-olosuhteissa matkapuhelin säädetään aina niin, että sen antama säteilyteho on maksimissaan. Laitteistossa on paljon eri näkymiä, ja niistä pitää myös tarkastella signaalin laatua ja yhteyden tilaa.

Antenneja on erilaisia, ja ne ovat siirrettäviä, kuten kuvasta 2 voi havaita. Mikäli mitattaessa on ongelmia verkkoon yhdistämisessä tai yhteys katkeilee, antennia voi liikutella tai suunnata tarvittavaan suuntaan. Tämä toimenpide saattaa auttaa matkapuhelinta pysymään paremmin yhteydessä luotuun matkapuhelinverkkoon. Vaikuttavia tekijöitä ovat mm. lähetteen polarisaatio ja antennivaimennukset.



Kuva 11. Rohde & Schwarzin CMW 500 -tukiasemasimulaattori [26].

## 5.8 iSAR

iSAR-laitteistolla (Kuva 12) mittaaminen eroaa paljon aikaisemmin tässä luvussa käsitellyistä laitteista. iSAR:lla mitattaessa käytetään vain tukiasemasimulaattoria ja antennia. Laitteistolla on oma tietokoneohjelmistonsa joka toimitetaan iSAR laitteiston mukana. Laitteessa ei siis käytetä lainkaan robottia, DAE:a, probea tai nesteitä. Laitteisto koostuu 320 mm x 320 mm kokoisesta mittauspöydästä ja iSAR-tietokoneohjelmistosta. iSAR laitteistosta on olemassa kolme eri varianttia. Näin mahdollistetaan niin päähän kuin kehoonkin kohdistuvan SAR-säteilyn mittaaminen. Tässä opinnäytetyössä kuitenkin keskitytään vain kehosäteilyä mittaavaan iSAR laitteistoon. [27]

iSAR laitteisto kykenee mittaamaan pää- tai kehonesteillä alueella 500 MHz – 6 GHz. Neste sijaitsee laitteen sisällä, jossa on 256 probea, jotka kattavat koko ruudutetun alueen. Ruudutetun mitta-alueen koko on 240 mm x 120 mm. [27]

iSAR:n suurin etu on sen nopeus. Mittauksen näkee tietokoneruudulla lähes reaaliajassa ja iSAR mittaa SAR-arvot sekunnin välein. Laitteistolla on myös mahdollisuus tehdä aika pyyhkäisyjä eli ns. time sweeppejä. Tämä tarkoittaa että laite mittaa matkapuhelinta tietyn ajan. Mittaukselle voi myös määrittää viiveen. Näin on mahdollista mitata matkapuhelinta esimerkiksi 2 h 5 min:n välein. Tällä tavoin voidaan selvittää vaikka puhelimen stabiilisuutta akun varauksen suhteen. [27]

Laite täyttää mittalaitteille vaadittavat standardit, mutta valvovat tahot eivät hyväksy vielä iSAR-mittauksia virallisiksi tyyppihyväksyntätesteiksi. Tämä on laitteiston suurin heikkous, ja sen takia sitä käytetäänkin toistaiseksi vain tuotekehityksessä. Laitteen ohjelmistolla on mahdollista yhdistellä useita mittauksia, joiden avulla järjestelmä laskee kehoon/päähän kohdistuneen yhdistetyn SAR-säteily määrään. Standardointiorganisaatiot ja viranomaistahot ovat kuitenkin jo alkaneet pohtia iSAR-tyyppisten laitteistojen hyväksymistä osaan virallista testausta. [27]



Kuva 12. iSAR-mittapöytä [28].

## 6 MITTAUKSET JA VERTAILUT

Ennen kuin viralliset tyyppihyväksyntämittaukset voidaan aloittaa, järjestelmällä pitää olla voimassa mitattavan taajuuden ns. system validointi. Validointia ennen pitää varmistaa, että kaikilla järjestelmän laitteilla on voimassa olevat kalibrointisertifikaatit. System validoinnissa mitataan useita mittauksia, esim. mittaussysteemin lineaarisuus ja modulaatiovaste, ja system validointi on aina taajuuskohtainen. Validoinnilla varmistetaan, että epävarmuustekijät ovat spesifikaatioiden sisällä ja täten mittatulokset ovat luotettavia. Kun validoinnit on suoritettu ajallaan, järjestelmällä voidaan tehdä ns. system check. Validointi suoritetaan yleensä vuosittain.

Ennen mittauksen aloittamista pitää kuitenkin myös huolehtia, että mitattavalle konfiguraatiolle (robotti, taajuus, neste, probe, DAE) on tehty voimassa oleva system check, joka on päivittäinen tarkastusmittaus. System check on voimassa vain 24h ja jokaisella mittauksella pitää olla voimassa oleva taajuuskohtainen system check. Mikäli system check on tekemättä tai vanhentunut, mittauksia ei voi ottaa huomioon virallisissa mittauksissa. Näissä tapauksissa tulee kaikki kyseiset mittaukset tehdä uudestaan voimassa olevalla system checkillä.

Ennen tähän työhön liittyvien vertailujen aloittamista selvitetään käytettävän matkapuhelimen stabiilisuus. Näitä tuloksia käytetään referensseinä probe- ja DAE-vertailussa sekä iSAR-vertailussa. Tässä opinnäytetyössä kartoitetaan laitteiden aiheuttamia eroja, ja niiden selvittämiseksi suoritetaan seuraavia vertailutestejä: mittaussysteemin (DASY vs. iSAR) tulosten eriäväisyys ja käytettävän probe ja DAE parin vaikutus.

## 6.1 Stabiilisuustestit sekä proben ja DAE:n vaikutus

Ensimmäisessä vertailussa tutkitaan proben ja DAE:n vaikutusta mittatuloksiin. Aluksi kuitenkin testataan testiyksilöiden stabiilisuudet. Stabiilisuus testataan tekemällä sama mittaus 23 kertaa toistaen. Mittausten määrä on valittu laitteen akunkestävyyden perusteella. Nämä mittaukset tehdään kahdella eri testiyksilöllä. Jokainen valmistettu matkapuhelin on yksilö johtuen komponenttien laadusta ja niiden toleransseista. Tästä johtuen mitatut SAR-arvot vaihtelevat aina hieman yksilöstä mitattavasta yksilöstä riippuen. Mittauskonfiguraationa ovat body, back facing phantom, 0 mm spacer, 3-slot GPRS 848,8 MHz, Channel 251 (Liitteet 1 ja 2).

Huomioitavaa on, että vertailumittauksen tuloksista tulee suuria. Tämä johtuu siitä, ettei puhelimen ja altaan välissä ole lainkaan välikappaletta (eng. spacer), eli laite on kiinni phantomia vasten. Virallisissa mittauksissa vastaavassa mittauksessa käytetään ohjeistuksen mukaisesti 15 mm spaceria. Tähän opinnäytetyöhön liittyvissä mittauksissa spacer on jätetty pois, koska asettelun vaikutus halutaan minimoida. Matkapuhelimen asettelu ilman spaceria on huomattavasti helpompaa kuin niin, että käyttää sitä.

Taajuus ja asettelu on valittu matkapuhelimen aikaisemman mittadatan perusteella. Käytettävä konfiguraatio on ns. worst case, eli asettelulla on saatu matkapuhelimesta kaikkein suurin SAR-arvo. Tavoitteena onkin saada suuria arvoja, jolloin toisistaan poikkeavissa tuloksista saadaan eroavaisuudet paremmin näkyviin. Laitteiden välillä on aina hieman eroa, mutta tämä on otettu virallisissa mittauksissa huomioon lasketulla laboratorion epävarmuustekijällä.

Ensimmäisten stabiilisuustestien tulosten perusteella valitaan testiyksilöistä stabiilein ja tehdään sillä probe- ja DAE-vertailut (Liite 3).

### **Stabiilisuustesti**

Stabiilisuustestin konfiguraatiot ja tulokset löytyvät liitteistä 1 ja 2. Molempien matkapuhelinten testaus tehtiin niin, että akut olivat täynnä ja DAE:ssa uudet paristot. Mittatulosten mukaan testiyksilö 2 on stabiilimpi kuin testiyksilö 1. Täs-

tä syystä probe ja DAE sekä iSAR-testit tehdään testiyksilö 2:lla. Mittaustulosten eroavaisuudet ovat melko pieniä, vaikka kyseessä on 0 mm spacerilla tehty testi. Virallisissa mittauksissa eroavaisuus olisi siis vieläkin pienempi.

### **Probe ja DAE -vertailumittaukset**

Kun matkapuhelinten stabiilisuus on selvitetty ja stabiilimpi matkapuhelin valittu, testataan, mikä vaikutus tuloksiin saadaan vaihtamalla laitteiston probe ja DAE. Molemmat tutkittavat probe- ja DAE-laiteparit ovat kalibroituja ja DASY-ohjelmistoon valitaan laiteparia vastaava asetustiedosto. Ennen mittausta testiyksilön akku on ladattu täyteen ja DAE:n paristot vaihdettu uusiin. Näin testaamalla mahdolliset erot minimoidaan.

### **Päätelmä**

Toisella probe ja DAE laiteparilla tehdyt mittatulokset löytyvät liitteestä 3. Vertailtaessa näitä tuloksia liitteessä 2 oleviin tuloksiin voidaan todeta, että tulokset ovat todella lähellä toisiaan. Etenkin 10g-SAR on lähes identtinen. 1g-SAR tulokset ovat hieman pienemmät kuin kyseisellä testiyksilöllä aikaisemmin mitatut arvot. vaihtamalla probe ja DAE saadut arvot sijoittuvat kahden aikaisemman testin välimaastoon, ja keskiarvoa vertaamalla stabiilisuustestin tulokset 1 g arvoilla olivat pyöristettynä vain 0,06 W/kg (n. 1,7 %) suuremmat. Todellisuudessa luku on todella pieni, ja mikäli mittaukset olisi suoritettu 15 mm:n spaceria käyttäen eroa olisi ollut vaikea saada selville. Loppupäätelmä tästä vertailutestistä on, ettei proben ja DAE:n vaihtaminen vaikuta huomionarvoisesti mitattuihin arvoihin.

## **6.2 iSAR-vertailu**

Kuten luvussa 5.8 kerrotaan, iSAR-mittaaminen poikkeaa paljon perinteisestä robotilla tehtävästä mittaamisesta. Tässä vertailussa on tarkoitus kartoittaa iSAR-laitteiston tarkkuus verrattuna perinteiseen mittaustapaan. iSAR-mittauksissa referenssinä käytetään stabiilisuustesteissä saatuja mittatuloksia. On huomioitava, että kyseistä järjestelmää käytetään vain tuotekehityksessä

eikä lopullisissa tyyppihyväksyntämittauksissa, joten mahdollisen poikkeaman havaitseminen ei ole tuoteturvallisuuden osalta olennaista.

### **iSAR-mittaaminen**

Koska iSAR-laitteistolla mittaaminen on perinteiseen roboottimittamiseen verrattuna huomattavasti nopeampaa, päätettiin mittaukset suorittaa molemmilla testiyksilöillä. Matkapuhelimia mitattiin lähes yhtä kauan, kuin perinteisellä SAR-järjestelmällä suoritettujen stabiilisuustestit kestivät. Mittausdataa saatiin samassa ajassa kuitenkin kerättyä huomattavasti enemmän. iSAR-mittaukset suoritettiin käyttäen samaa matkapuhelinverkon luontilaitteistoa, antennia ja asetuksia kuin stabiilisuustesteissä. Lisäksi testiyksilöiden akut olivat ladatut täyteen. Näillä toimilla pyrittiin minimoimaan laitteiston ja testiyksilöiden akunvarauksen vaihtuvuuden tuoma mahdollinen poikkeama tuloksissa. iSAR-mittauksissa molempia testiyksilöitä mitattiin 100 min ja tulos tallennettiin 60 s:n välein. Liitteisiin 4 ja 5 tulokset on tiivistetty 21 mittaukseen. Näillä mittauksilla päästään samoihin keskiarvoihin kuin 101 mittaus tuloksella. Huomioitavaa on, että iSAR-laitteiston kalibrointi oli mennyt vanhaksi 2 kuukautta sitten, joten myös tällä asialla saattaa olla vaikutusta saatuihin tuloksiin.

### **Päätelmä**

Stabiilisuustestit löytyvät liitteistä 1 ja 2. iSAR-mittatulokset ovat liitteissä 4 ja 5. Vertailtaessa näitä tuloksia voidaan todeta, että iSAR-mittatulokset poikkeavat (testiyksilössä 2) perinteisellä mittatavalla mitatuista arvoista 1 g osalta noin -0,67 W/kg (n. 16 %) ja 10 g osalta noin -0,34 W/kg (n. 15 %). Testiyksilö 1:llä eroavaisuudet olivat 1 g osalta noin -0,74 W/kg (n. 22 %) ja 10g osalta -0,41 W/kg (n. 19 %). SAR-laboratorioiden mittatulosten epävarmuusprosentti on laboratoriokohtainen ja yleisesti noin 25 %:n tasolla.

Epävarmuusprosentti huomioon ottaen tulokset siis ovat vielä vaatimusten tasolla. Huomioon pitää kuitenkin ottaa myös se, että testit suoritettiin ilman spaceria ja tästä syystä tulokset ovat erittäin suuria. Vaikka lukuarvoina erot vaikuttavat suurilta, tyyppihyväksyntätesteissä luvut olisivat paljon pienempiä. Prosentuaalisesti kyseessä olisi silti sama virhemarginaali.



Loppupäätelmä tästä vertailutestistä on, että iSAR-mittatulokset kalibroimatta jääneellä laitteistolla ovat poikkeuksetta perinteistä mittaustapaa pienempiä, ja tämä tulisi ottaa huomioon tuotekehitysmittauksia tehtäessä. iSAR-ohjelmistossa on mahdollisuus asettaa skaalauskerroin, joten oikeaa kerrointa käyttämällä myös iSAR-laitteistosta saadaan luotettavia mittatuloksia. Mittaustestit tehtiin vain 850 MHz:n taajuusalueella eikä saaduista tuloksista tehdyt päätelmät välttämättä päde muilla taajuusalueella.

## 7 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin matkapuhelinten mittaamiseen käytettäviin SAR-laitteistoihin, standardeihin, matkapuhelimen saataviin terveystaittoihin, valvoviin viranomaisiin ja laitteiston muutoksista SAR-mittatuloksiin.

Työosuudessa tehtiin aluksi toistuvasti useita SAR-mittauksia kahdella samantlaisella matkapuhelimella. Testiyksilöistä valittiin stabiilimpi, ja sitä käytettiin seuraavissa SAR-vertailumittauksissa referenssinä. SAR-vertailuissa vertailtiin aluksi laitteiston vaikutusta saatuihin SAR-arvoihin. Järjestelmästä vaihdettiin DAE ja probe sekä todistettiin, että niiden vaihtamisella ei ole merkittävää eroavaisuutta referenssistä saatuihin SAR-arvoihin. Työosuutta vastaavia aikaisempia julkaisuja ei ole saatavilla, joten niihin vertaaminen on mahdotonta.

Työosuuden toisessa vaiheessa verrattiin perinteisellä SAR-mittaamisella saatuja stabiilisuustestin tuloksia iSAR-järjestelmällä mitattuihin SAR-mittatuloksiin. Tuloksia analysoimalla voi selvästi huomata, että kyseisellä konfiguraatiolla iSAR-arvot olivat järjestelmällisesti pienempiä. Yksi selitys arvojen eroon oli iSAR-järjestelmän vaaditussa määräajassa suorittamatta jäänyt kalibrointi. Saatujen tulosten perusteella iSAR-järjestelmällä mitattaessa tulee jatkossa ottaa huomioon mittatulosten poikkeama. Kyseiset testit tehtiin vain 850 MHz:n taajuusalueella eivätkä johtopäätökset välttämättä päde muilla taajuuksilla.

Opinnäytetyön tuloksia voi soveltaa muissa SAR-laboratorioissa. Samoilla testiyksilöillä suoritetuissa vastaavissa testeissä saadaan laboratorioden väliset mittatulospoikkeamat selvästi esille. Mittauksia jatketaan muilla taajuusalueilla, mutta ne rajattiin aikataulusyistä tämän opinnäytetyön ulkopuolelle. Työn jatkaminen on mahdollista myös vaihtaen muita järjestelmän laitteita.

## LÄHTEET

- [1] Mobile Manufacturers Forum, *SAR Information*. [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://mmfai.org/public/sar.cfm?lang=eng> (Luettu: 6.3.2014).
- [2] STUK, *Matkapuhelimet - merkittävin radiotaajuisten säteilyn lähde*. [www-dokumentti]. Saatavilla: [http://www.stuk.fi/sateilyn-hyodyntaminen/matkapuhelimet-ja-tukiasemat/fi\\_FI/matkapuhelimet/](http://www.stuk.fi/sateilyn-hyodyntaminen/matkapuhelimet-ja-tukiasemat/fi_FI/matkapuhelimet/) (Luettu: 6.3.2014).
- [3] STUK, *Matkapuhelimet ja tukiasemat*. [www-dokumentti]. Saatavilla: [http://www.stuk.fi/julkaisut/katsaukset/pdf/katsaus\\_matkapuhelimet\\_ja\\_tukiasemat.pdf](http://www.stuk.fi/julkaisut/katsaukset/pdf/katsaus_matkapuhelimet_ja_tukiasemat.pdf) (Luettu: 6.3.2014).
- [4] COSMOS, *UK COSMOS Participants newsletter february 2014*. [www-dokumentti]. Saatavilla: [https://www.ukcosmos.org/Files/ukcosmosnewsletter\\_feb\\_2014.pdf](https://www.ukcosmos.org/Files/ukcosmosnewsletter_feb_2014.pdf) (Luettu: 6.3.2014).
- [5] STUK, *Säteilyn käyttökohteita*. [www-dokumentti]. Saatavilla: [http://www.stuk.fi/sateilyn-hyodyntaminen/fi\\_FI/kayttokohteita/#](http://www.stuk.fi/sateilyn-hyodyntaminen/fi_FI/kayttokohteita/#) (Luettu: 6.3.2014).
- [6] Lehto, Heikki ja Luoma, Tapani., *Fysiikka 1*. Helsinki: Tammi Oppimateriaalit 2009, 215 s.
- [7] Työturvallisuuskeskus TTK, *Säteilyt*. [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.tyoturva.fi/tyosuojelu/sateilyt> (Luettu: 6.3.2014).
- [8] STUK, *Sähkömagneettiset kentät*. [www-dokumentti]. Saatavilla: [http://www.stuk.fi/julkaisut/maaraykset/kirjasarja/fi\\_FI/kirjasarja6\\_files/12222632510021200/default/6\\_1.pdf](http://www.stuk.fi/julkaisut/maaraykset/kirjasarja/fi_FI/kirjasarja6_files/12222632510021200/default/6_1.pdf) (Luettu: 7.3.2014).
- [9] STUK, *Radon*. [www-dokumentti]. Saatavilla: [http://www.stuk.fi/sateily-ymparistossa/radon/fi\\_FI/radon/](http://www.stuk.fi/sateily-ymparistossa/radon/fi_FI/radon/) (Luettu: 7.3.2014).
- [10] STUK, *Säteilyturvakeskuksen kannanotto matkapuhelimista ja terveydestä 7.1.2009*. [www-dokumentti]. Saatavilla: [http://www.stuk.fi/ihminen-ja-sateily/sateilyn\\_terveysvaikutukset/matkapuhelin\\_terveysvaikutus/fi\\_FI/stukin\\_matkapuhelinkannanotto](http://www.stuk.fi/ihminen-ja-sateily/sateilyn_terveysvaikutukset/matkapuhelin_terveysvaikutus/fi_FI/stukin_matkapuhelinkannanotto) (Luettu: 7.3.2014).
- [11] The Mobile Telecommunications and Health Research (MTHR), *MTHR report 2012*. [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.mthr.org.uk/documents/MTHRreport2012.pdf> (Luettu: 7.3.2014).
- [12] STUK, *Matkapuhelinten valvonta ja SAR-arvot*. [www-dokumentti]. Saatavilla: [http://www.stuk.fi/sateilyn-hyodyntaminen/matkapuhelimet-ja-tukiasemat/fi\\_FI/valvonta-ja-sar/](http://www.stuk.fi/sateilyn-hyodyntaminen/matkapuhelimet-ja-tukiasemat/fi_FI/valvonta-ja-sar/) (Luettu: 7.3.2014).
- [13] STUK, *Altistusta voi vähentää yksinkertaisin keinoin*. [www-dokumentti]. Saatavilla: [http://www.stuk.fi/sateilyn-hyodyntaminen/matkapuhelimet-ja-tukiasemat/fi\\_FI/altistusta-voi-vahentaa/](http://www.stuk.fi/sateilyn-hyodyntaminen/matkapuhelimet-ja-tukiasemat/fi_FI/altistusta-voi-vahentaa/) (Luettu: 7.3.2014).
- [14] COSMOS-tutkimus, *COSMOS-tutkimus toteutetaan kansainvälisenä yhteistyönä*. [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.cosmostutkimus.fi/6> (Luettu: 7.3.2014).
- [15] Nyberg, Jokela., *Sähkömagneettiset kentät, Säteily- ja ydinturvallisuus 6*. Hämeenlinna: Säteilyturvakeskus 2006, 549 s.
- [16] Suomen Standardisoimisliitto SFS, *SFS-KÄSIKIRJA 1, STANDARDIT JA STANDARDISOINTI 2013*. [www-dokumentti]. Saatavilla: [http://www.sfs.fi/files/83/KK\\_1\\_2013\\_korjattu.pdf](http://www.sfs.fi/files/83/KK_1_2013_korjattu.pdf) (Luettu: 10.3.2014).

[17] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, *ICNIRP - An Independent Voice In NIR Protection*. [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.icnirp.de/what.htm> (Luettu: 10.3.2014).

[18] The Federal Communications Commission, *What We Do*. [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.fcc.gov/what-we-do> (Luettu: 11.3.2014).

[19] Wikipedia, *Federal Communications Commission*. [www-dokumentti]. Saatavilla: [http://en.wikipedia.org/wiki/Federal\\_Communications\\_Commission](http://en.wikipedia.org/wiki/Federal_Communications_Commission) (Luettu: 12.3.2014).

[20] Federal Communications Commission, *Fiscal Year 2012 Budget Estimates Submitted to Congress February 2011*. [www-dokumentti]. Saatavilla: [http://hraunfoss.fcc.gov/edocs\\_public/attachmatch/DOC-304636A1.pdf](http://hraunfoss.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/DOC-304636A1.pdf) (Luettu: 12.3.2014).

[21] Speag, *DASY5 Robots*. [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.speag.com/products/dasy/dasy52-components/robots/> (Luettu: 13.3.2014).

[22] Speag, *READOUT UNIT (DAE)*. [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.speag.com/services/cal-lab/calibration-services/readout-unit-dae/> (Luettu: 13.3.2014).

[23] Speag, *EX3DV4 Smallest Isotropic E-Field Probe for Dosimetric Measurements*. [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.speag.com/products/dasy/probes/ex3dv4-isotropic-dos-probe/> (Luettu: 13.3.2014).

[24] Speag. [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.speag.com/products/dasy/sar-phantoms/> (Luettu 14.3.2014)

[25] Speag, *WHAT IS SEMCAD X?*. [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.speag.com/products/semcad/overview/> (Luettu 17.3.2014)

[26] Rohde&Schwarz, *R&S@CMW500 - Production Test*. [www-dokumentti]. Saatavilla: [http://www.rohde-schwarz.com/en/product/cmw500-productstartpage\\_63493-10341.html](http://www.rohde-schwarz.com/en/product/cmw500-productstartpage_63493-10341.html) (Luettu 17.3.2014)

[27] Speag, *iSAR Fast & Reliable SAR Scanning Systems for Production Line, QA & Prototype Testing*. [www-dokumentti]. Saatavilla <http://www.speag.com/assets/downloads/speagflyers/speag-iSAR-flyer.pdf> (Luettu 1.4.2014)

[28] Speag, *WHAT IS iSAR?* [www-dokumentti]. Saatavilla <http://www.speag.com/products/isar2/isar2-systems/> (Luettu 2.4.2014)

## Testiyksilö 1 stabiilisuustesti (kehomittaus)

Sample 1	IMEI: XXXXXXXXXXXX849
Spacer	0 mm
Location	Salo, SAR-5
DAE	SN1316
Probe	EX3DV4 3835
Liquid	BSL800-900 MHz
Liquid temperature	22.8 °C
Frequency	848,8 MHz
Channel	251
Device orientation	Back Facing Phantom
Mode	3-slot GPRS850
Dasy version	52.8.6.1115
Filename	Sample 1 Body 3-slot GPRS850 2014 03 20 ML
Date	20.03.2014

Test number	Power reference [V/m]	Measured 1g SAR [W/kg]	Measured 10g SAR [W/kg]
1		4,10	2,56
2	66,81	4,12	2,57
3	66,32	4,12	2,57
4	66,55	4,10	2,56
5	66,60	4,12	2,57
6	66,70	4,11	2,56
7	66,61	4,10	2,56
8	66,64	4,10	2,56
9	66,43	4,11	2,56
10	66,23	4,11	2,56
11	66,68	4,10	2,56
12	66,31	4,10	2,55
13	66,17	4,09	2,55
14	66,50	4,09	2,55
15	66,31	4,09	2,55
16	66,48	4,07	2,54
17	66,52	4,07	2,55
18	66,46	4,06	2,54
19	66,16	4,07	2,54
20	66,08	4,06	2,54
21	66,32	4,05	2,53
22	66,27	4,06	2,53
23	66,17	4,00	2,49

(jatkuu)

Average	66,42	4,09	2,55
Lowest	66,08	4,00	2,49
Highest	66,81	4,12	2,57
Margin	66,45 ±0,37	4,06 ±0,06	2,53 ±0,04
Standard deviation		0,029	0,018

## Testiyksilö 2 stabiilisuustesti (kehomittaus)

Sample 2	IMEI: XXXXXXXXXXXXX831
Spacer	0 mm
Location	Salo, SAR-5
DAE	SN1316
Probe	EX3DV4 3835
Liquid	BSL800-900 MHz
Liquid temperature	22.8 °C
Frequency	848,8 MHz
Channel	251
Device orientation	Back Facing Phantom
Mode	3-slot GPRS850
Dasy version	52.8.6.1115
Filename	Sample 2 Body 3-slot GPRS850 2014 03 20 ML
Date	20.03.2014

Test number	Power reference [V/m]	Measured 1g SAR [W/kg]	Measured 10g SAR [W/kg]
1		4,26	2,63
2	67,54	4,22	2,60
3	66,88	4,27	2,63
4	67,57	4,24	2,62
5	67,30	4,24	2,62
6	67,37	4,22	2,61
7	67,09	4,23	2,61
8	67,27	4,21	2,61
9	67,17	4,22	2,61
10	67,16	4,22	2,61
11	66,90	4,22	2,61
12	67,36	4,22	2,61
13	67,29	4,22	2,61
14	67,01	4,22	2,61
15	67,41	4,22	2,61
16	67,28	4,23	2,61
17	66,96	4,22	2,61
18	67,18	4,22	2,60
19	67,16	4,22	2,61
20	67,31	4,22	2,61
21	66,99	4,22	2,60
22	66,94	4,22	2,61

(jatkuu)

23	67,21	4,22	2,60
Average	67,20	4,23	2,61
Lowest	66,88	4,21	2,60
Highest	67,57	4,27	2,63
Margin	67,23 $\pm$ 0,35	4,24 $\pm$ 0,03	2,62 $\pm$ 0,02
Standard deviation		0,014	0,008



## Mittatulokset eri DAE:lla ja probella (testiyksilö 2)

Sample 2                   IMEI: XXXXXXXXXXXXX831  
 Spacer                    0 mm  
 Location                  Salo, SAR-5  
 DAE                        SN728  
 Probe                     EX3DV4 3892  
 Liquid                    BSL800-900 MHz  
 Liquid temperature      22.8 °C  
 Frequency                848,8 MHz  
 Channel                  251  
 Device orientation      Back Facing Phantom  
 Mode                     3-slot GPRS850  
 Dasy version            52.8.6.1115  
 Filename                 Sample 1 Body 3-slot GPRS850 2014 03 20 ML Probe&DAE changed  
 Date                      21.3.2014

Test number	Power reference [V/m]	Measured 1g SAR [W/kg]	Measured 10g SAR [W/kg]
1		4,22	2,63
2	65,69	4,13	2,60
3	65,84	4,19	2,62
4	65,82	4,18	2,61
5	65,69	4,17	2,61
6	65,94	4,17	2,61
7	65,84	4,16	2,60
8	65,72	4,16	2,61
9	65,87	4,16	2,61
10	65,77	4,15	2,60
11	65,87	4,15	2,60
12	65,82	4,15	2,60
13	65,57	4,16	2,60
14	65,53	4,18	2,61
15	65,96	4,16	2,61
16	65,91	4,16	2,61
17	65,58	4,16	2,61
18	65,93	4,16	2,61
19	65,77	4,17	2,61
20	65,82	4,16	2,61

(jatkuu)

21	65,61	4,17	2,61
22	65,53	4,16	2,61
23	65,86	4,15	2,61
Average			
Average	65,77	4,16	2,61
Lowest			
Lowest	65,53	4,13	2,60
Highest			
Highest	65,96	4,22	2,63
Margin			
Margin	65,75 ±0,22	4,18 ±0,05	2,62 ±0,02
Standard deviation			
Standard deviation		0,017	0,007

## Vertailu stabiilisuustestin tuloksiin

Average			
Average	67,20	4,23	2,61
Lowest			
Lowest	66,88	4,21	2,60
Highest			
Highest	67,57	4,27	2,63
Margin			
Margin	67,23 ±0,35	4,24 ±0,03	2,62 ±0,02
Standard deviation			
Standard deviation		0,014	0,008

## iSAR-mittatulokset (testiyksilö 1)

Sample 1	IMEI: XXXXXXXXXXXXX849
Frequency	848,8 MHz
DAE	251
Device orientation	Back Facing Phantom
Mode	3-slot GPRS850
iSAR version	2.6, Build 2.0
Delay between measurements	60 s
Modulation	GPRS-FDD (TDMA GMSK TN 0-1-2) GSM 850
Date	03.04.2014
Initials	ML

Test number	Time	Measured 1g SAR [W/kg]	Measured 10g SAR [W/kg]
1	15:06:34	3,556	2,271
5	15:10:34	3,521	2,249
10	15:15:34	3,471	2,216
15	15:20:34	3,416	2,180
20	15:25:34	3,383	2,159
25	15:30:35	3,365	2,148
30	15:35:34	3,345	2,135
35	15:40:34	3,327	2,123
40	15:45:34	3,337	2,130
45	15:50:34	3,321	2,120
50	15:55:34	3,323	2,121
55	16:00:35	3,307	2,111
60	16:05:34	3,304	2,109
65	16:10:35	3,315	2,116
70	16:15:35	3,316	2,116
75	16:20:35	3,370	2,151
80	16:25:34	3,295	2,103
85	16:30:36	3,307	2,111
90	16:35:36	3,301	2,107
95	16:40:36	3,305	2,110
101	16:46:36	3,302	2,108
Average		<b>3,35</b>	<b>2,14</b>

(jatkuu)

Lowest	3,29	2,10
Highest	3,56	2,27
Margin	3,42 ± 0,13	2,19 ± 0,09
Standard deviation	0,054	0,034

## Vertailu stabiilisuustestin tuloksiin

Average	4,09	2,55
Lowest	4,00	2,49
Highest	4,12	2,57
Margin	4,06 ± 0,06	2,53 ± 0,04
Standard deviation	0,029	0,018

## iSAR-mittatulokset (testiyksilö 2)

Sample 2	IMEI: XXXXXXXXXXXXX831
Frequency	848,8 MHz
Channel	251
Device orientation	Back Facing Phantom
Mode	3-slot GPRS850
iSAR version	2.6, Build 2.0
Delay between measurements	60 s
Modulation	GPRS-FDD (TDMA GMSK TN 0-1-2) GSM 850
Date	03.04.2014
Initials	ML

Test number	Time	Measured 1g SAR [W/kg]	Measured 10g SAR [W/kg]
1	11:20:09	3,688	2,351
5	11:24:09	3,653	2,328
10	11:29:09	3,630	2,314
15	11:34:10	3,595	2,292
20	11:39:09	3,581	2,282
25	11:44:10	3,569	2,275
30	11:49:09	3,569	2,275
35	11:54:09	3,554	2,266
40	11:59:08	3,551	2,263
45	12:04:09	3,537	2,254
50	12:09:09	3,517	2,242
55	12:14:09	3,515	2,241
60	12:19:09	3,505	2,234
65	12:24:09	3,497	2,229
70	12:29:09	3,573	2,277
75	12:34:09	3,494	2,227
80	12:39:09	3,562	2,270
85	12:44:09	3,546	2,260
90	12:49:08	3,548	2,262
95	12:54:09	3,536	2,254
101	13:00:08	3,535	2,253
Average		3,56	2,27

(jatkuu)

Lowest	3,48	2,22
Highest	3,69	2,35
Margin	3,59 ± 0,11	2,29 ± 0,07
Standard deviation	0,045	0,029

## Vertailu stabiilisuustestin tuloksiin

Average	4,23	2,61
Lowest	4,21	2,60
Highest	4,27	2,63
Margin	4,24 ± 0,03	2,62 ± 0,03
Standard deviation	0,014	0,008