

RADIOTAAJUISEN SÄHKÖMAGNEETTISEN SÄTEILYN RISKIENHALLINNAN PERUSTEET

Radio- ja tutkajärjestelmien radiotaajuisen säteilyn (1,5 MHz – 300 GHz) aiheuttamat riskit

Mikko Nieminen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2011

Automaatioteknologia
Tekniikka ja Liikenne





Tekijä(t) NIEMINEN, Mikko	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 21.4.2011
	Sivumäärä 168	Julkaisun kieli Suomi
	Luottamuksellisuus () saakka	Verkkojulkaisulupa myönnetty (X)
Työn nimi RADIOTAAJUISEN SÄHKÖMAGNEETTISEN SÄTEILYN RISKIENHALLINNAN PERUSTEET		
Koulutusohjelma Automaatioteknologia Ylempi AMK		
Työn ohjaaja(t) RANTAPUSKA, Seppo, Yliopettaja JAMK SELOSMAA, Seppo, Koulutusvastaava JAMK		
Toimeksiantaja(t) LENSU, Timo, TKL Maavoimien Materiaalilaitoksen Esikunta		
Tiivistelmä <p>Maavoimien Materiaalilaitoksen Esikunnan Järjestelmäosasto toteuttaa maavoimien sekä muiden puolustushaarojen yhteisten sotavarusteiden hankinnat ja niihin liittyvät tutkimus- ja kehittämistehtävät. Työssä määritellään maavoimien taktisiin johtamisjärjestelmiin kuuluvien radio- ja tutkajärjestelmien radiotaajuisen säteilyn (1,5 MHz–300 GHz) riskienhallinnan perusteet.</p> <p>Pääesikunnan Teknisen Tarkastusosaston laatima normi PVHSM Säteily 001(HE673) määrittelee radio- ja tutkalaitteiden ionisoimattoman säteilyn valvontavelvoitteen toteuttamisen puolustusvoimissa. Normissa veloitetaan toiminnan harjoittajia laatimaan riskien arviointeja ja tekemään niiden pohjalta toimenpiteitä työpaikoissa, jossa työntekijät saattavat altistua toiminta-arvot ylittävälle sähkömagneettisille kentille.</p> <p>Työssä käsitellään aluksi säteilykäsitteet, säteilyn osa-alueet sekä esitetään tarpeellinen määrä sähkömagneettisen säteilyn fysiikan teoriaa. Niiden jälkeen kuvataan altistumisista kuvaavat suu-reet, sähkömagneettisen säteilyn biologiset vaikutukset, altistumista rajaavat normit sekä voimassa oleva lainsäädäntö ja puolustusvoimien normisto. Työn keskivaiheilla esitellään riskienhallinnan yleisiä periaatteita ja määritellään järjestelmäkohtaisia turvaetäisyyksiä. Tämän jälkeen esitetään järjestelmäkohtaisia riskienhallinnan menetelmiä sekä pohditaan säteilyn epäsuoria vaikutuksia ja niiden vastuualuekysymyksiä.</p> <p>Opinnäytetyössä käsitellään lisäksi lakien asettamat veloitteet ja nykyinen ohjeistus sekä pohditaan miten ilmeiset puutteet tulisi korjata. Lopputarkastelussa pohditaan ja luodaan yleiskuvaa siitä millaisen terveysriskin maavoimien radio- ja tutkajärjestelmien aiheuttama ionisoimaton säteily loppujen lopuksi käyttäjilleen aiheuttaa.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Sähkömagneettinen säteily, sähkömagneettiset kentät, radiotaajuinen säteily, ionisoimaton säteily, säteilyturvallisuus, riskianalyysi, riskien hallinta, puolustusvoimat.		
Muut tiedot		



Author(s) NIEMINEN, Mikko	Type of publication Master's Thesis	Date 21.4.2011
	Pages 168	Language Finnish
	Confidential () Until	Permission for web publication (X)
Title RISK MANAGEMENT OF RADIO FREQUENCY ELECTROMAGNETIC RADIATION		
Degree Programme Master's Degree Programme in Automation Technology		
Tutor(s) RANTAPUSKA, Seppo, Principal Lecturer JAMK SELOSMAA, Seppo, Program Coordinator JAMK		
Assigned by LENSU, Timo, Lic.Sc. Army Materiel Command Headquarters		
Abstract <p>The Army Materiel Command Systems Department implements common military equipment procurements and related research and development tasks of the Army and other branches of the Finnish Defense Forces. In this thesis the criteria for the risk management of Army tactical radio and radar systems radio-frequency radiation is defined.</p> <p>The Defense Staff norm PVHSM Säteily 001 (HE673) defines the duty of supervision for non-ionizing radiation of radio and radar equipment in the FDF. The norm requires the operators to draw up risk assessments and take action based on these assessments in workplaces where employees may be exposed to an amount of electromagnetic radiation greater than the threshold.</p> <p>Initially in this thesis terms and sections of radiation are handled and necessary amount of electromagnetic radiation physics theory is introduced. Next the exposure variables, biological effects of electromagnetic radiation, standards for limit the radiation exposure, legislative and the FDF norms are introduced. In the middle of the thesis the general principles of risk management and system-defined safety distances are presented. This is followed by handling platform-specific risk management methods. Then, the indirect effects of radiation and their area of responsibility issues are discussed.</p> <p>The thesis also discusses law and obligations of the current guidelines and how the manifest shortcomings should be corrected. The final analysis provides a general picture of what kind of health risk the tactical radios and radar systems ultimately cause for their users due to non-ionizing radiation.</p>		
Keywords Electromagnetic radiation, electromagnetic fields, radio-frequency radiation, non-ionizing radiation, radiation safety, risk analysis, risk management.		
Miscellaneous		

LYHENTEET

AC	Alternating current
ALARP	As low as reasonably practicable
ATEX	Atmosphères explosibles, räjähdysvaarallinen tila
CW	Continuous wave
COTS	Commercial off-the-shelf
DNA	Deoxyribonucleic acid, Nukleiinihappo
EHF	Extremely-High Frequency
EIRP	Effectively Isotropically Radiated Power
ECM	Electronic countermeasure
EKG, ECG	Electrocardiograph, Elektrokardiografia
ELF	Extremely Low Frequency
ELSO	Elektroninen sodankäynti
EMC	Electro-Magnetic Compatibility
EMP	Electro-Magnetic Pulse
ESD	Electrostatic discharge
EU	Euroopan Unioni
EW	Electronic Warfare
FDF	Finnish Defence Forces
FDTD	Finite-Difference Time Domain
FIR	Far Infra-Red
GP	Ground Plane
HAZOP	Hazard and operability study, Poikkeamatarkastelu
HAZSCAN	Turvallisuusanalyysimenetelmä
HF	High Frequency
HPM	High-Power Microwave
ICD 10	International Classification of Diseases
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
IEC	International Electrotechnical Commission
IFF	Identification, friend or foe
IR	Infrared tai Ionization Radiation
ITU	International Telecommunication Union
LEO	Low Earth Orbiting
LF	Low Frequency
LOPA	Layer of Protection Analysis
LSHR	Länsi-Suomen Huoltorykmentti
LV	Lähetinvastaanotin, radiolaite
MAAVMATLE	Maavoimien Materiaalilaitoksen Esikunta
MF	Medium Frequency
MIR	Middle Infra-Red
MRI	Magnetic resonance imaging
NATO	North Atlantic Treaty Organization
NIR	Non Ionization Radiation, Ionisoimaton säteily
NVIS	Near Vertical Incidence Sky wave
PAK	Pysyväisasiakirja (puolustusvoimat)
PETEKNTARKOS	Pääesikunnan Teknillinen Tarkastusosasto
PRA	Probabilistic risk assessment, Todennäköisyyspohjainen riskianalyysi
POA	Potentiaalisten ongelmien analyysi
PRR	Personal Role Radio

PVAH	Puolustusvoiminen asianhallintajärjestelmä
PVSAP	Puolustusvoimien logistiikkatietojärjestelmä
RADAR	Radio Detecting And Ranging, tutka
RF	Radio Frequency, radiotaajuinen
SAR	Specific Absorption Rate, Ominaisabsorptionopeus
SARwba	Whole-body-average, SAR
SAS	Seisovan aallon suhde
SFS	Suomen Standardisoimisliitto
SHF	Super-High Frequency
SM	Sähkömagneettinen
SSK	Syys-seurauskaavio
ST	Säteilyturva
STM	Sosiaali- ja terveysministeriö
STUK	Säteilyturvakeskus
TEM	Transverse Electric and Magnetic field
TET	Turvallisuuden eheystaso
TETRA	Trans-European Trunked Radio tai TERrestrial Trunked Radio
TLJ	Turvallisuuteen liittyvä järjestelmä
TOK	Tekninen ohjekokoelma (puolustusvoimat)
TOTTI	Työpaikkaonnettomuuksien tutkintajärjestelmä
TPA	Tapahtumapuuanalyysi
TX/RX	Transmit / Receive, Lähetin vastaanotin, Lähetys-vastaanotto
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
UV	Ultra Violet
UWB	Ultra-Wide Band
VHF	Very High Frequency
VIRVE	Finland's Public Authority Network, emergency services network.
VLF	Very Low Frequency
VVA	Vaikutusanalyysi
WLAN	Wireless local area network

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	9
1.1	TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY	11
2	SÄTEILY JA SÄTEILYLAJIT	11
2.1	IONISOIMATON SÄTEILY NIR.....	13
2.2	IONISOIVA SÄTEILY IR.....	13
3	SÄHKÖMAGNEETTISET KENTÄT JA -SÄTEILY	14
3.1	SÄHKÖ- JA MAGNEETTIKENTÄT.....	14
3.2	SÄHKÖMAGNEETTINEN SÄTEILY	15
3.2.1	<i>Säteilyn eteneminen ja vaimeneminen vapaassa tilassa.....</i>	<i>17</i>
3.2.2	<i>Aallon vaimeneminen väliaineessa.....</i>	<i>17</i>
3.2.3	<i>Aallon tunkeutumissyvyys</i>	<i>18</i>
3.2.4	<i>Lähi- ja kaukokenttä</i>	<i>19</i>
3.2.5	<i>Sähkömagneettinen spektri.....</i>	<i>22</i>
3.3	ALTISTUMISTA KUVAAVAT SUUREET	24
3.3.1	<i>Tehotiheys.....</i>	<i>25</i>
3.3.2	<i>Ominaisabsorptionopeus, SAR-arvo</i>	<i>26</i>
3.3.3	<i>Virrantiheys</i>	<i>28</i>
3.3.4	<i>Laitteen altistuminen säteilylle (EMC).....</i>	<i>29</i>
4	SM- KENTTIEN BIOLOGISET JA FYSIOLOGISET VAIKUTUKSET	30
4.1	DOSIMETRIA	31
4.2	MATALATAAJUISET SÄHKÖ- JA MAGNEETTIKENTÄT (0 Hz – 30 KHz)	31
4.2.1	<i>Kvasistaattinen alue</i>	<i>33</i>
4.3	RADIOTAAJUISEN SÄTEILYN TERVEYSVAIKUTUKSET.....	33
4.4	RADIOTAAJUISEN KENTÄN MEKANISMIT JA VAIKUTUKSET	34
4.4.1	<i>Kudoksen paikallinen lämpeneminen alle 10 GHz:n kentässä.....</i>	<i>35</i>
4.4.2	<i>10 – 300 GHz alue.....</i>	<i>36</i>
4.4.3	<i>Säteilyn tunkeutumissyvyys.....</i>	<i>37</i>
4.4.4	<i>Mikroaaltokuuluminen</i>	<i>37</i>
4.4.5	<i>Raajoihin indisoituva virta</i>	<i>38</i>
4.4.6	<i>Kosketusvirta eli kapasitiivinen purkausvirta</i>	<i>38</i>
4.4.7	<i>Resonanssialue (30 – 3000 MHz).....</i>	<i>38</i>
4.4.8	<i>Monitaajuiset kentät</i>	<i>40</i>
4.4.9	<i>Modulaatiot ja aaltomuodot.....</i>	<i>41</i>
4.5	SÄHKÖHERKKYYS.....	41
4.6	EPÄSUORAT VAIKUTUKSET.....	42
4.7	TUTKIMUKSET.....	44
4.8	RADIOAALTOJEN ERIKOISKÄYTTÖ JA VOIMAKKAAN SÄTEILYN RAJOITTAMINEN.....	45
5	ALTISTUMISTEN RAJOITTAMINEN	46
5.1	TURVALLISUUSNORMIT JA STANDARDIT.....	46
5.2	ALTISTUMISEN OHJEARVOT (PERUSARVOT, VIITEARVOT).....	47
5.2.1	<i>Ohjearvot työntekijöille ja väestölle</i>	<i>47</i>
5.2.2	<i>Altistuksen enimmäisarvot</i>	<i>48</i>
5.2.3	<i>Altistuksen raja-arvot ja toiminta-arvot.....</i>	<i>52</i>
5.3	TERMINOLOGIA	52
5.4	MUITA RAJA-ARVOMÄÄRITTELYJÄ.....	52
6	SÄHKÖMAGNEETTISTEN KENTTIEN LASKENTA, MITTAUSTEKNIikka JA MALLINTAMINEN	53
6.1	ALTISTUSTEN ARVIOIMINEN MITTAAMALLA.....	53
6.1.1	<i>Mittapäät</i>	<i>54</i>
6.1.2	<i>Mittaukset yli 300 MHz:n taajuuksilla</i>	<i>55</i>
6.1.3	<i>Kapeakaistainen kenttä</i>	<i>55</i>
6.1.4	<i>Monitaajuiset kentät</i>	<i>55</i>

6.1.5	<i>Pulssimainen mikroaaltosäteily</i>	56
6.1.6	<i>Kehon sisäisten virtojen mittaaminen</i>	56
6.1.7	<i>Mittaukset käytännössä</i>	57
6.1.8	<i>SAR mittaukset</i>	58
6.1.9	<i>Mittausten virhetarkastelu</i>	59
6.2	ALTISTUSTEN ARVIOIMINEN LASKENNALLISESTI	59
6.3	ALTISTUSTEN ARVIOIMINEN NUMEERISEN MALLINTAMISEN MENETELMILLÄ	60
6.4	YHTEENVETO.....	63
7	LAINSÄÄDÄNTÖ, VALVONTA JA MÄÄRÄYKSET	64
7.1	SÄTEILYTURVALLISUUS PUOLUSTUSVOIMOISSA, IONISOIMATON SÄTEILY	65
8	PVHSM SÄTEILY 001-PETEKNTARKOS RADIO- JA TUTKALAITTEIDEN IONISOIMATTOMAN SÄTEILYN TARKASTUS JA VALVONTA	67
8.1	PVHSM SÄTEILY 001. YLEISTÄ [NORMIN KOHTA 1].....	67
8.2	PVHSM SÄTEILY 001.PERUSTEET [NORMIN KOHTA 1.3].....	67
8.3	PVHSM SÄTEILY 001. SOVELTAMISALUE [NORMIN KOHTA 1.4]	71
8.4	PVHSM SÄTEILY 001. VALVONTAVIRANOMAINEN JA VALVONTA PUOLUSTUSVOIMOISSA [NORMIN KOHDAT 2 JA 3]	72
8.5	PVHSM SÄTEILY 001. TOIMINNAN HARJOITTAJAN YLEISET VELVOLLISUUDET [NORMIN KOHTA 3.3]	72
8.6	PVHSM SÄTEILY 001. TARKASTUKSET PUOLUSTUSVOIMOISSA [NORMIN KOHTA 3.4].....	73
8.7	PVHSM SÄTEILY 001. MITTAUKSET JA RISKIEN ARVIOINNIT [NORMIN KOHTA 4]	74
8.8	PVHSM SÄTEILY 001. RAJA-ARVOT [NORMIN KOHTA 4.2]	75
8.8.1	<i>PVHSM Säteily 001. Turvaetäisyyden laskenta [Normin kohta 4.3]</i>	75
8.9	PVHSM SÄTEILY 001. RISKIARVIOINNIN SISÄLTÖ [NORMIN KOHTA 4.4]	75
8.10	PVHSM SÄTEILY 001 MITTAUSOHJE [NORMIN KOHTA 4.5]	77
8.11	PVHSM SÄTEILY 001. KORJAUS JA HUOLTO SEKÄ TARKASTUSMITTAUKSET [NORMIN KOHTA 4.6].....	77
8.12	PVHSM SÄTEILY 001. KOULUTUS (KOHTA 5)	78
8.12.1	<i>PVHSM SÄTEILY 001. Yleiskoulutusmateriaali [Normin kohta 5.2]</i>	78
8.12.2	<i>PVHSM Säteily 001. Laitekoulutusmateriaali [Normin kohta 5.3]</i>	78
8.13	PVHSM SÄTEILY 001. TOIMINTA SÄTEILYONNETTOMUUDESSA [NORMIN KOHTA 6].....	79
8.13.1	<i>PVHSM Säteily 001. Säteilyonnettomuuden tutkinta [Normin kohta 6.3]</i>	80
8.13.2	<i>PVHSM Säteily 001. Vakava säteilyonnettomuus [Normin kohta 6.4]</i>	80
8.13.3	<i>Yhteenveto</i>	81
9	RISKIEN ARVIOINTI JA TURVALLISUUSRISKIEN HALLINTA	81
9.1	RISKIARVIOINNIN JA RISKIENHALLINNAN PERUSTEET.....	83
9.2	RISKIKÄSITTEEN MÄÄRITTELYÄ.....	85
9.2.1	<i>Riskin hahmottaminen</i>	86
9.3	RISKIENHALLINNAN KÄSITTEET	87
9.4	SFS-IEC 60300-3-9 STANDARDIN MUKAINEN RISKIENHALLINTA JA SEN KÄSITTEET	87
9.4.1	<i>Riskienhallinta</i>	88
9.4.2	<i>Riskin arviointi</i>	88
9.4.3	<i>Riskianalyysi</i>	89
9.4.4	<i>Riskin merkityksen arviointi</i>	93
9.4.5	<i>Riskin pienentämisen valvonta</i>	93
9.4.6	<i>Riskigraafi-menetelmä</i>	96
9.4.7	<i>LOPA-menetelmä</i>	98
9.5	VAROVAISUUSPERIAATTEEN SOVELTAMINEN	101
9.6	RISKIKOMMUNIKAATIO.....	102
9.7	IONISOIMATTOMAN SÄTEILYN TUNNISTAMIEN RISKINÄ JA SEN AIHEUTTAMAT TYÖTAPATURMAT	104
10	MAAVOIMIEN RADIO, RADIOLINKKI- JA TUTKAJÄRJESTELMÄT SÄTEILYTURVALLISUUDEN KANNALTA	106
10.1	SÄTEILYLAITEKARTOITUS	107
10.1.1	<i>Kenttäradiot</i>	108
10.1.2	<i>Muut radiojärjestelmät</i>	110
10.1.3	<i>Radioantennit</i>	111
10.1.4	<i>Linkit ja linkkimastot</i>	112

10.1.5	Tutkajärjestelmät.....	113
10.2	TURVAETÄISYYKSIEN MÄÄRITTELY	114
10.2.1	Yhteenveto turvaetäisyyksien määrittelyperiaatteista.....	117
10.2.2	Radiojärjestelmien turvaetäisyydet	118
10.2.3	Radioantennien turvaetäisyydet.....	123
10.2.4	Radiolinkkien turvaetäisyyksien arviointi ja määrittely.....	125
10.2.5	Johtamis- ja komentopaikat	125
10.3	RADIO- JA RADIOLINKKI JÄRJESTELMIEN AIHEUTTAMAT TERVEYSRISKIT YHTEENVETO.....	127
10.3.1	Tutkajärjestelmien turvaetäisyyksien arviointi ja määrittely.....	128
10.4	IFF-TUTKAT	132
10.5	VAROITUS- JA TURVAETÄISYYSMERKINNÄT.....	132
10.6	SÄHKÖMAGNEETTISEN SÄTEILYN RAJOITTAMINEN TAISTELUKENTÄLLÄ	134
11	MAAVOIMIEN JOHTAMISJÄRJESTELMIEN SÄTEILYTURVALLISUUDEN RISKIENARVIOINTI JA -HALLINTA	139
11.1	RISKIENARVIOINNIN VASTUUKYSYMYKSIÄ	143
11.2	EPÄSUORAT, VÄLILLISET VAIKUTUKSET	143
11.2.1	Soveltamisohjeluonnos	144
12	YHTEENVETO MAAVOIMIEN JOHTAMISJÄRJESTELMIÄ KOSKEVASTA SÄTEILYTURVALLISUUDESTA JA RISKIENARVIOINNISTA.....	147
12.1	MAAVOIMIEN JOHTAMISJÄRJESTELMÄT JA SÄTEILYTURVALLISUUS	147
12.2	RISKIEN ARVIOINTI JA -HALLINTA.....	148
12.3	TYÖN TARKOITUS JA KONKREETTISET TUOTOKSET	149
12.4	TYÖN ARVIOINTI.....	150
	LÄHTEET	152
	LIITTEET	158
	HAKEMISTO.....	167

Kuvaluettelo

KUVIO 1.	Säteilyn jaottelu ja osa-alueet.....	12
KUVIO 2.	Virtasilmukan synnyttämät sähkömagneettiset kentät	16
KUVIO 3.	Sähkömagneettisen tasoallon komponentit	17
KUVIO 4.	Sähkömagneettisen aallon vaimeneminen väliaineessa matkan funktiona.....	18
KUVIO 5.	Sähkömagneettiset kenttäkäsitteet	19
KUVIO 6.	Tehotiheyden suhteellinen vaihtelu etäisyyden funktiona	21
KUVIO 7.	Aallonpituuteen nähden suurikokoinen antenni	21
KUVIO 8.	Sähkömagneettinen spektri (ITU)	23
KUVIO 9.	Säteilyaltistumisen mekanismi	24
KUVIO 10.	Matkapuhelimen SAR-arvon mittaustilanne	27
KUVIO 11.	Matalataajuisien 0 Hz – 30 kHz kenttien fysikaalisia ja biologisia vaikutuksia	33
KUVIO 12.	Radiotaajuisen säteilyn 30 kHz-300 GHz vaikutuksia	34
KUVIO 13.	Aivokudoksen lämpeneminen ajan funktiona paikallisesti eri SAR- arvoilla.....	36
KUVIO 14.	Säteilyn kudostyyppikohtaisia tunkeutumissyvyyksiä taajuuden funktiona	37
KUVIO 15.	Resonanssin vaikutus absorptioon ja SAR-arvoon	39
KUVIO 16.	Ensihoitotilanne	43
KUVIO 17.	Sähkö- ja magneetikenttien viitearvot (ICNIRP 1998, 512).....	51
KUVIO 18.	Isotrooppiset sähkö- ja magneetikenttien antennien pariaatekuvat	55
KUVIO 19.	Sähkö- ja magneetikenttien mittalaite (Narda NBM-550).....	57
KUVIO 20.	Henkilökohtainen hälytin ja altistumismittari (Narda ESM-30, XT).....	57
KUVIO 21.	Radiojärjestelmän säteilyturvallisuuden mittaustapahtuma	58
KUVIO 22.	VHF-alueen piiska-antennista tehty FDTD- simulaatio (© Cojot Oy)	62
KUVIO 23.	XFDTD-mallinnusohjelman näkymä.....	63
KUVIO 24.	Puolustusvoimien ionisoimattoman säteilyn käyttöä koskevat normit, säädökset ja pysyväisasiakirjat sekä niiden riippuvuudet	66
KUVIO 25.	Modarres'n 2006, 5 esitys riskianalyysin osatekijöistä	83
KUVIO 26.	Vahingon syntymiseen vaikuttavat syyt	85
KUVIO 27.	SFS-IEC 60300-3-9 mukaiset riskienhallinnan käsitteet ja riskitoimintojen riippuvuudet	88
KUVIO 28.	Riskimatriisi.....	92
KUVIO 29.	Riskin pienentäminen (IEC- IEC 61511-3).....	95

KUVIO 30. ALARP-periaate.....	96
KUVIO 31. Riskigraafi.....	98
KUVIO 32. LOPA–suojaustasojen toimivuus useita eri uhkakuvia vastaan	99
KUVIO 33. LOPA–menetelmä omasuojan määrittelyssä	100
KUVIO 34. Riskikommunikaatiota edeltävä tilanne.....	103
KUVIO 35. Onnistunutta riskikommunikaatiota kuvaava balanssitila	104
KUVIO 36. Maavoimien kalustokartoitus (metatiedot).....	108
KUVIO 37. PRR-radio	110
KUVIO 38. HF-radioita, joita ei ole luokiteltu kenttäradioiksi	111
KUVIO 39. YVI 2- järjestelmä (Kosola & Solante 2003, 165).....	113
KUVIO 40. Laskentataulukko radio- ja linkkijärjestelmien kentänvoimakkuuksien arvioimiseen	115
KUVIO 41. Laskentataulukko tutkan kentänvoimakkuuksien arvioimiseen	117
KUVIO 42. Maavoimien taktisessa käytössä olevia käsiradioita	120
KUVIO 43. Selässä kannettavia kenttäradioita	121
KUVIO 44. Ajoneuvoasennettavia kenttäradioita	122
KUVIO 45. Laajakaistaisen VHF-antennin vahvistus taajuuden funktiona	123
KUVIO 46. Sivuteltalla varustettu johtamisajoneuvo	126
KUVIO 47. MOSTKA 87 tutkan turvarajat	130
KUVIO 48. Varoitus- ja turvaetäisyysmerkityjä antennieja.....	133
KUVIO 49. Tadiran HF-alueen ajoneuvoantenni.....	134
KUVIO 50. Sähkömagneettisen spektrin hallinnan osa-alueet.....	135
KUVIO 51. Rikienhallinnan prosessin ongelmakuvaus	136
KUVIO 52. Panssaroituja partioajoneuvoja antennineen	137
KUVIO 53. Partiovene antennineen	137
KUVIO 54. Säteilytehon merkitys radiojärjestelmän suorituskykyyn	138
KUVIO 55. Häirintäjärjestelmä valmiustilassa	139
KUVIO 56. Säteilylaitteen luokittelu riskin mukaan	140
KUVIO 57. Radiotaajuuden säteilyn riskienhallintaprosessi	141

Taulukkoluetelo

Taulukko 1. Maxwellin yhtälöt.....	16
Taulukko 2. Säteilyn kynnystasovaikutuksia	40
Taulukko 3. Sähkö- ja magneettikenttien aiheuttaman virrantiheyden perusarvot (ICNIRP 1998,511)....	49
Taulukko 4. Sähkö- ja magneettikenttien sekä ekvivalenttisen tehotiheyden viitearvot (ICNIRP 1998, 511)	50
Taulukko 5. Raajoihin indusoituvan virran viitearvot (ICNIRP 1998, 513).....	51
Taulukko 6. Kosketusvirran viitearvot (ICNIRP 1998, 513).....	52
Taulukko 7. Riskimatriisitaulukko	93
Taulukko 8. Puolustusvoiminen kenttäradionimijärjestelmä	109
Taulukko 9. Kenttäradionimijärjestelmän luokitteluperusteet	109
Taulukko 10. Tutkien turvaetäisyyksiä	129

1 JOHDANTO

Työssä määritellään maavoimien taktisiin johtamisjärjestelmiin kuuluvien radio- ja tutkajärjestelmien radiotaajuisen säteilyn (1,5 MHz-300 GHz) riskienhallinnan perusteet. Johtamisjärjestelmä mahdollistaa operatiivis-taktisen tilannekuvan luomisen, oman valmiuden kohottamisen ja joukkojen oikea-aikaisen johtamisen. Johtamisjärjestelmällä kyetään joukkojen johtamiseen sekä sodan että rauhan aikana häirityissä oloissa, yhteistoimintaan eri viranomaisten kanssa sekä kansainväliseen yhteistoimintaan.

Taktisten johtamisjärjestelmien keskeisinä järjestelminä ovat radio- ja tutkajärjestelmät, jotka lähettävät signaaleja ympärilleen ja säteilevät sähkömagneettista säteilyä. Järjestelmän käyttäjät, mukaan lukien varusmiehet ja huoltohenkilöstö, saattavat tehtävissä toimiessaan altistua lainsäädännön asettamia enimmäisarvoja suuremmille radiotaajuisille sähkömagneettisille säteilyille.

Työ perustuu lähtökohtaisesti Pääesikunnan Teknillisen Tarkastusosaston normiin PVHSM SÄTEILY 001-PETEKNTARKOS Radio ja tutkalaitteiden ionisoimattoman säteilyn tarkastus ja valvonta. Siinä toiminnan harjoittajaa veloitetaan selvittämään työntekijöiden mahdollinen altistuminen sähkömagneettisille kentille sekä arvioitava ja tarvittaessa mitattava ja/tai laskettava smkenttien tasot, joille työntekijät altistuvat. Toiminnan harjoittaja veloitetaan tekemään riskien arviointeja ja tekemään niiden pohjalta toimenpiteitä työpaikoissa, jossa työntekijät saattavat altistua toiminta-arvot ylittäville sähkömagneettisille kentille. Riskien arvioinneissa on erityisesti otettava huomioon altistumisen taso, altistumisen raja-arvo, säteilyn vaikutukset erityisesti riskialttiiden työntekijöiden terveyteen ja turvallisuuteen, säteilyn epäsuorat vaikutukset sydämentahdistimiin ja metalli-implantteihin, indusoinnin synnyttämän kipinöinnin aiheuttamat aineiden tulipalot ja räjähdykset sekä altistuminen useille lähteille ja taajuuksille.

Riskinarvioinnin tärkeys määritellään EU:n puitedirektiiviin pohjautuvassa työturvallisuuslaissa. Riskinarvioinnin perusteella työnantajat voivat toteuttaa tarvittavat toimenpiteet työntekijöidensä turvallisuuden ja terveyden suojelemiseksi. Tällaisia toimenpiteitä ovat esimerkiksi työssä esiintyvien riskien ehkäi-

sy, riskeistä tiedottaminen ja työntekijöiden koulutus, järjestelyt ja keinot toimenpiteiden toteuttamiseksi. Puitedirektiivi on saatettu osaksi kansallista lainsäädäntöä. Jäsenvaltioilla on kuitenkin oikeus panna täytäntöön tiukempia määräyksiä työntekijöiden suojelemiseksi.

Radiotaajuinen sähkömagneettinen säteily kuuluu ionisoimattoman säteilyn ryhmään, jonka mahdollisista terveysvaikutuksista ja riskeistä ei ole olemassa tutkijoiden ja asiantuntijoiden keskuudessa selvää yksimielisyyttä. Esimerkiksi mikroaaltouunin tai vastaavan sähkömagneettisen säteilyn lämpövaikutukset ovat tunnettu, mutta muiden vaikutusten kuten pitkäaikaisvaikutusten osalta esitetään ristiriitaisia näkemyksiä. Yleinen käsitys lienee kuitenkin se, ettei sähkömagneettisen säteilyn kaikkia vaikutuksia ihmiseen vielä tunneta.

Ionisoimaton säteily kuuluu Suomessa säteilylain 592/1991 piiriin. Laki määrittelee, miten estetään ja rajoitetaan säteilystä aiheutuvia terveydellisiä ja muita haittavaikutuksia. Ionisoimattoman säteilyn enimmäisarvot työntekijöille ja väestölle on esitetty Sosiaali- ja terveysministeriön päätöksessä 1474/1991. Sähkömagneettisten kenttien osalta määritellyt enimmäisarvot perustuvat lähinnä säteilyn lämpövaikutuksiin tai kenttien aiheuttamiin kehonsisäisiin virtoihin. Enimmäisarvot eivät perustu pitkän aikavälin vaikutuksiin, kuten mahdollisesti syöpää aiheuttaviin vaikutuksiin, sillä niiden osalta syy-yhteydestä ei ole ratkaisevaa tieteellistä näyttöä.

Työssä käsitellään aluksi säteilykäsitteet, säteilyn osa-alueet sekä esitetään tarpeellinen määrä sähkömagneettisen säteilyn fysiikan teoriaa. Niiden jälkeen kuvataan altistumissuureet, sähkömagneettisen säteilyn biologiset vaikutukset, altistumista rajaavat normit sekä voimassa oleva lainsäädäntö ja puolustusvoimien normisto. Työn keskivaiheilla esitellään riskienhallinnan yleisiä periaatteita ja määritellään järjestelmäkohtaisia turvaetäisyyksiä. Tämän jälkeen esitetään järjestelmäkohtaisia riskienhallinnan tapauksia sekä pohditaan säteilyn epäsuoria vaikutuksia ja niiden vastuualuekysymyksiä. Lopputarkastelussa pohditaan ja luodaan yleiskuvaa siitä millaisen terveysriskin maavoimien radio- ja tutkajärjestelmien aiheuttama ionisoimaton säteily loppujen lopuksi käyttäjilleen aiheuttaa.

Työssä tarkastellaan pääasiassa taktisia radio- ja tutkajärjestelmiä ja niiden aiheuttamaa radiotaajuisen säteilyn riskienhallintaa, mutta työn tuloksia ja työssä esitettyjä periaatteita voidaan soveltaa myös muissa vastaavanlaisissa riskienhallinnan selvityksissä.

1.1 Toimeksiantajan esittely

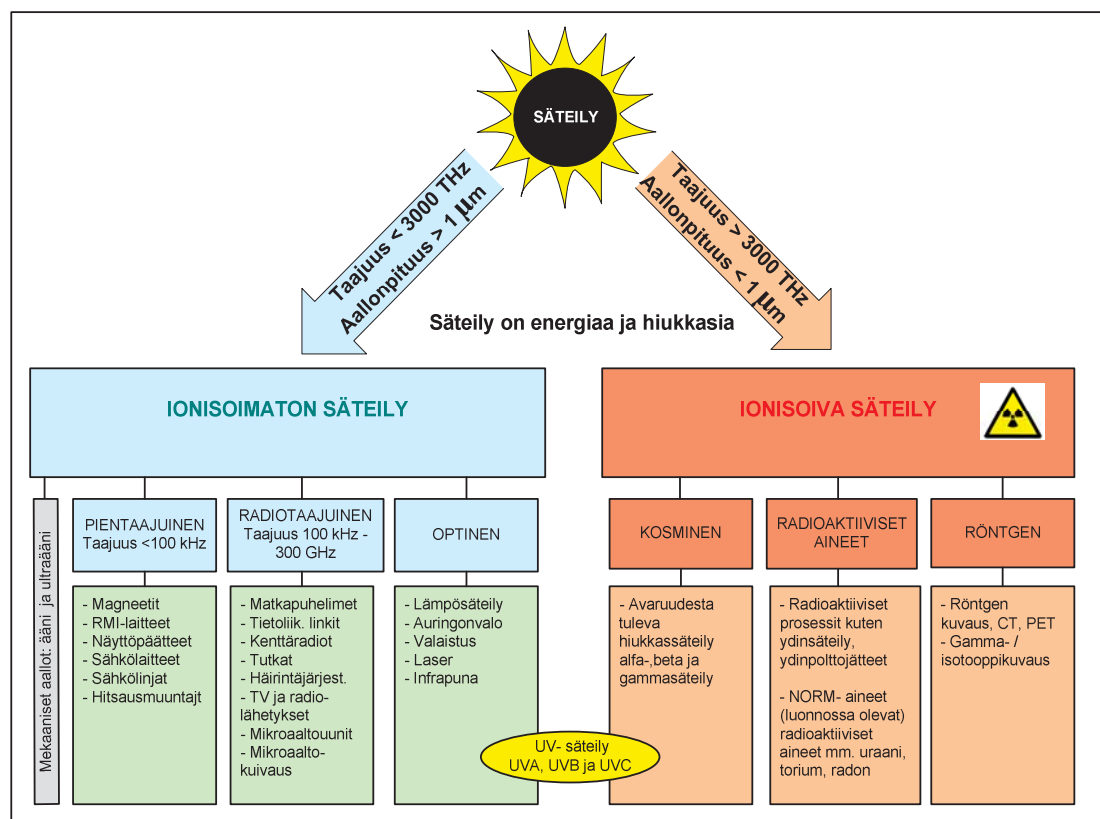
Työn toimeksiantaja on Maavoimien Materiaalilaitoksen Esikunnan Järjestelmäosasto. Esikunta toteuttaa maavoimien sekä muiden puolustushaarojen yhteisten sotavarusteiden hankinnat ja niihin liittyvät tutkimus- ja kehittämiss tehtävät. Hankintojen valmistelussa merkittävässä roolissa ovat järjestelmäosastoon kuuluvat teknisen koulutuksen saaneet erikoisupseerit ja siviilityöntekijät. Lisäksi esikunta johtaa maavoimien huollon valtakunnallisia järjestelyjä ja se ohjeistaa ja valvoo materiaalin käyttöä, huoltoa, varastointia, kierrätystä ja käytöstä poistamista. (Puolustusvoimat, 2011.)

Maavoimat vastaa valtakunnan maa-alueen puolustamisesta. Lisäksi maavoimat antaa virka-apua ja tukee muita viranomaisia yhteiskunnan elintärkeiden toimintojen turvaamisessa. Puolustusvoimien lakisäätteisten tehtävien mukaisesti maavoimat vastaa myös kansainvälisten kriisinhallintaoperaatioiden toteuttamisesta sekä tukee muita puolustushaaroja suunnittelemalla sekä toteuttamalla asevelvollisten kutsunnat ja valvonnan sekä järjestämällä yleishuollon palvelut kaikille puolustushaaroille ja puolustusvoimien laitoksille. (Puolustusvoimat, 2011.)

2 SÄTEILY JA SÄTEILYLAJIT

Säteily on aineetonta ilmassa, kudoksissa tai tyhjiössä etenevää sähkömagneettista energiaa tai aaltoliikettä, poikkeuksena ionisoiva hiukkassäteily. Tässä se eroaa muista fysikaalisista tekijöistä, joita ovat akustinen, joka etenee ilmassa tai vedessä ja mekaaninen värähtely, joka etenee kiinteissä kappaleissa sekä lämpötekijät. Näistä lämpösäteily kuuluu sekä säteilyyn että lämpötekijöihin. (Pääkkönen & Kyttälä 2000, 6.)

Säteily jaetaan ionisoivaan ja ionisoimattomaan säteilyyn. Ionisoiva säteily on sähkömagneettista aaltoliikettä tai hiukkassäteilyä ja sen lähteitä ovat radioaktiiviset aineet ja erityiset laitteet kuten röntgenlaitteet ja hiukkaskiihdyttimet. Ionisoivan säteilyn hiukkasenergia on niin suuri, että se aiheuttaa elektronien irtoamista eli ionisaatiota kohteessa. (Nyberg ym. 2006,16) Ionisoivaa säteilyä voi esiintyä esimerkiksi ydinvoimalassa, röntgentutkimuksissa tai radioaktiivisia aineita käsiteltäessä. Ionisoimaton säteily sitä vastoin ei aiheuta ionisaatiota kohteessaan, esimerkiksi elävässä solussa. (Nyberg ym. 2006,16.) Ionisoimatonta säteilyä esiintyy kaikkialla työ- ja elinympäristössämme. Ionisoimatonta säteilyä esiintyy myös luonnossa, kuten esimerkiksi maan magneettikenttä. Ionisoimaton säteily koostuu useista hyvin erityyppisistä säteilyn osa-alueista, joita ovat staattiset sähkö- ja magneettikentät, pien- ja suurtaajuiset sähkömagneettiset kentät, radiotaajuinen mikroaaltosäteily, optinen säteily, johon kuuluvat infrapunasäteily (IR), valo sekä ultraviolettisäteily (UV). Kuviossa 1 on esitetty säteilyn jaottelu ja osa-alueet.



KUVIO 1. Säteilyn jaottelu ja osa-alueet

2.1 Ionisoimaton säteily NIR

Kvanttiteorian mukaan säteily on kvantittunut (Wikipedia, kvanttiteoria). Tämä tarkoittaa, että energian vaihtaminen on mahdollista ainoastaan diskreetteinä pulsseina, joita kutsutaan fotoneiksi. Ionisoimaton säteily muodostuu sähkö- ja magneettikentistä, jotka ovat taajuukseltaan alle 3000 THz. Tällöin fotonin energia on pienentynyt niin, ettei kemiallisen sidoksen ionisoituminen ei enää ole mahdollista. Yleisen määrittelyn mukaan ionisoimaton säteily alkaa siitä, kun fotonin energia jää alle 12 elektronivoltia (eV), jolloin ionisaatiota ei enää esiinny merkittävästi. Fotonin energia (E) voidaan laskea yhtälön 1 avulla, jossa h on Planckin vakio ($6,6256 \times 10^{-34}$ Js) ja f on taajuus (Räisänen & Lehto 2001, 9).

$$\text{Yhtälö 1. } E = hf$$

Yhtälöllä 1 laskettuna, säteilykvantin energia ylittyy edellä esitetyn 12 eV:n rajan ultraviolettialueella eli noin 100nm:n aallonpituudella, joka vastaa siis taajuutta 3000 THz. Sähkömagneettisen säteilyn taajuuden ja aallonpituuden välinen riippuvuus on esitetty yhtälössä 2, jossa f on taajuus, c on valon nopeus (3×10^8 m/s) ja λ on säteilyn aallonpituus. Ionisoimattomaksi säteilyksi luetaan joskus myös ultraääni, joka on mekaanista aaltoliikettä.

$$\text{Yhtälö 2. } f = \frac{c}{\lambda}$$

Radiotaajuiselle sähkömagneettiselle säteilykentälle on ominaista, että kun sitä kehittävä energia loppuu, päättyy myös säteily. Toisin sanoen, kun säteilylaitteesta katkaistaan sähköt, se ei enää sen jälkeen aiheuta säteilyä ympäristöönsä, eikä radiotaajuisesta säteilystä jää niin sanottuja radioaktiivisia jäämiä ympäristöön.

2.2 Ionisoiva säteily IR

Ionisoiva säteily on säteilyä, jolla on riittävästi energiaa aiheuttamaan ionisointumista säteilyn kohteeksi joutuneessa aineessa. Näistä lähtevän fotonin tai hiukkasen energia on niin suuri, että vuorovaikutus materian kanssa synnyttää ioneja väliaineessa. Atomien ionisoituminen aiheuttaa kemiallisten sidosten katkoksia molekyyleissä kuten esimerkiksi DNA:ssa. (Nyberg ym. 2006,16.)

Ionisoiva säteily voi esiintyä hiukkassäteilynä (α (alfa) säteily, β (beeta) - säteily, n-neutroni) säteily) tai sähkömagneettisena energiana (γ (gamma) säteily, röntgensäteily). Ionisoivan säteilyn taajuus on yli 3000 THz. Ionisoivaa säteilyä käyttävien työntekijöiden annosvalvonta on tarkasti säädelty (Pääkkönen & Kyttälä 2000, 7).

3 SÄHKÖMAGNEETTISET KENTÄT JA -SÄTEILY

3.1 Sähkö- ja magneettikentät

Sähkökenttä syntyy, kun kahden tilan pisteen välillä on jännite-ero. Sähkökentän voimakkuuden (E) yksikkö on voltteja metriä kohden (V/m). Esimerkiksi luonnossa esiintyy lähellä maanpintaa noin 13 V/m staattinen sähkökenttä. Ukkosmyrskyn aikana sähkökenttä kasvaa ja silloin voi esiintyä jopa 10kV/m sähkökenttiä. (Nyberg ym. 2006, 364.)

Liikkuvat varaukset synnyttävät magneettikentän. Magneettikentät kuvataan kahdella suureella: magneettikentän voimakkuudella (H), jonka yksikkö on ampeeri metriä kohden (A/m) ja magneettivuon tiheydellä (B), jonka yksikkö on tesla (T). Magneettikentän voimakkuuden ja vuontiheyden välillä on riippuvuus, joka on suhteessa väliaineen permeabiliteettiin (μ), yhtälön 3 mukaisesti.

$$\text{Yhtälö 3. } B = \mu H$$

Esimerkiksi maapallo on iso magneetti ja muun muassa Helsingissä vaikuttaa noin 50 μ T staattinen magneettikenttä jatkuvasti (Helsingin Yliopisto Luennot, Luku 5).

Virrantiheys (J) ilmaisee pinta-alkion läpi kulkevan virran jaettuna pinta-alkion alalla. Sen yksikkö on ampeeria neliometriä kohti (A/m^2) ja sen suhde sähkökentänvoimakkuuteen (E) on esitetty yhtälössä 4, jossa σ on väliaineen johtavuus. Johtavuuden (J) yksikkö on Siemens metriä kohti (S/m).

$$\text{Yhtälö 4. } J = \sigma E$$

Luonnossa olevat kentät ovat yleensä pieniä verrattuna ihmisen aikaansaamiin kenttiin. Luonnon kentät ovat yleensä laajakaistaisia kohinakenttiä, joille on ominaista voimakkaat ja satunnaiset vaihtelut (Nyberg ym. 2006, 363).

3.2 Sähkömagneettinen säteily

Kun sähkömagneettisen kentän voimakkuus pysyy vakiona tai sen muutosnopeus on pieni, puhutaan staattisista tai hitaasti ajan suhteen muuttuvista kentistä. Kun kentän muutosnopeus kasvaa, kentät alkavat edetä sähkömagneettisena aaltoliikkeenä. Tällöin voidaan kentistä käyttää termiä säteily.

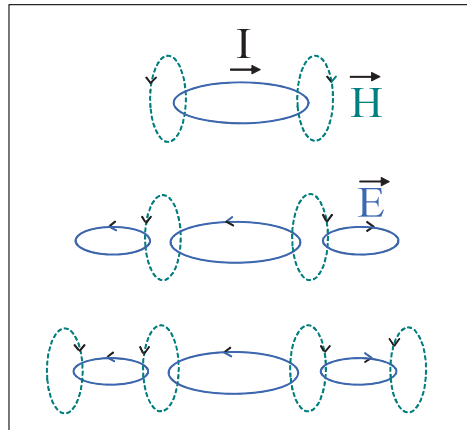
Sähkömagneettinen säteily on ajasta riippuvaa sähkö- ja magneettikentän aaltoliikettä, jota kuvaavat keskeiset suureet ovat amplitudi, taajuus, aallonpituus, vaihe, etenemisnopeus ja koherenttisuus.

Sähkömagneettinen säteily perustuu brittiläisen James Clerk Maxwellin (1831-1879) yhtälöiden (I-IV) mukaiseen ilmiöön, jonka mukaan muuttuva sähkökenttä synnyttää ajasta riippuvan magneettikentän ja tämä muuttuva magneettikenttä puolestaan ajasta riippuvan sähkökentän. Maxwellin yhdisti esittämälään yhtälöillään Amperen virtalain, Faradayn induktiolain ja Gaussin sähkövuolain sekä lisäsi Ampren virtalakiin siirrosvirtatermin. Yhtälöt ennustivat radioaaltojen olemassaolon. (Räisänen & Lehto. 2001, 13.) Yhtälöt I – IV on esitetty kvalitatiivisesti, sanallisessa muodossaan seuraavassa:

- I Sähköisten varausten jakauma määrää sähkökentän.
- II Magneettivuoviivat ovat suljettuja, eli sähkömagneettisia varauksia ei ole olemassa.
- III Muuttuva magneettivuo synnyttää sähkökentän. Toisin sanoen tietyn pinnan läpi kulkevan magneettivuon muutos aiheuttaa sähkömotorisen voiman.
- IV Sekä liikkuva varaus (virta) että muuttuva sähkövuo synnyttävät magneettikentän. (Räisänen & Lehto. 2001, 13.)

Kuviossa 2 on esitetty virtasilmukan synnyttämä sähkömagneettinen aalto, jonka virtasilmukassa virta muuttuu. Muuttuva virta luo magneettikentän (yhtälö IV), joka puolestaan luo muuttuvan sähkökentän (yhtälö III), ja muuttuva sähkökenttä luo muuttuvan magneettikentän (yhtälö IV). Tämä ketjureaktio jatkuu niin kauan kuin virta silmukassa I kulkee. On kuitenkin huomioitava, että

kaukokentässä (Ks. kohta 3.2.4) sähkö- ja magneettikentät ovat kuvion 3 mukaisesti kohtisuorasti toisiinsa nähden, eivätkä ne enää siten vuorottele.



KUVIO 2. Virtasilmukan synnyttämät sähkömagneettiset kentät

Sähkömagneettiset kentät voidaan laskea Maxwellin yhtälöillä, joiden avulla saadaan tarkka ratkaisu kaikkiin klassisen sähkömagneettisen kenttäteorian ongelmiin. Maxwellin yhtälöt on esitetty pareittain differentiaali- ja integraalimuodossa taulukossa 1.

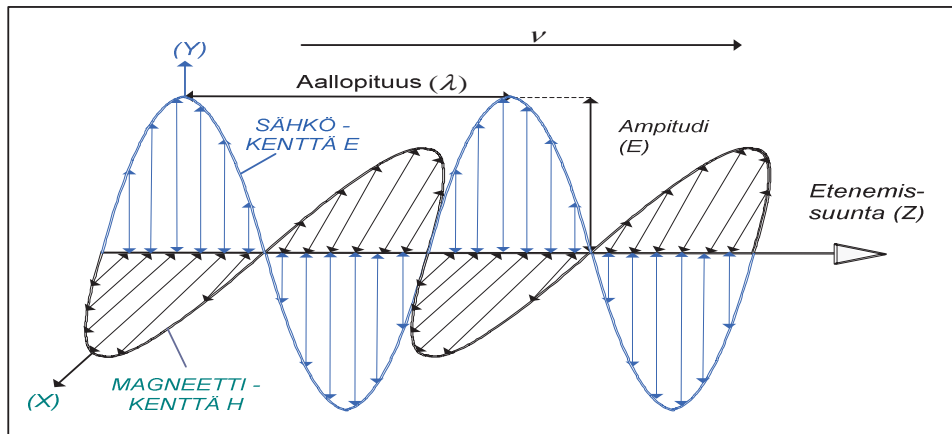
Taulukko 1. Maxwellin yhtälöt

Vektorimuoto	Integraalimuoto	Selite
$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial(\mu\mathbf{H})}{\partial t}$	$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{\partial}{\partial t} \oint \mu\mathbf{H} \cdot d\mathbf{s}$	Faradayn laki
$\nabla \times \mathbf{H} = \frac{\partial(\epsilon\mathbf{E})}{\partial t} + \mathbf{J}$	$\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \frac{\partial}{\partial t} \oint \epsilon\mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} + \oint \mathbf{J} \cdot d\mathbf{s}$	Ampèren laki ja Maxwellin lisäys
$\nabla \cdot \epsilon\mathbf{E} = \rho$	$\oint_s \epsilon\mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = \int_v \rho dv$	Gaussin laki
$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$	$\oint_s \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = 0$	Gaussin laki

Taulukon 1 yhtälöissä E on sähkökentän voimakkuus, H on magneettikentän voimakkuus, B on magneettivuontiheys ja J on virrantiheys vektorimuodossa ajan ja paikan funktiona. ρ on skalaarinen varaustiheys (Q/m^3). $d\mathbf{l}$ on reunakäyrän suuntainen vektorialkio viivaintegroinnissa, $d\mathbf{s}$ on pintaa vastaan kohtisuora pinta-alkiovektori pintaintegroinnissa ja dV on tilavuusalkio. Operaattori nabela (∇) on differentiaalioperaattori. (Räisänen & Lehto.2001, 17-20.)

Maxwellin yhtälöiden mukaan sähkömagneettinen säteily muodostuu kahdesta komponentista, sähkö- (E) ja magneettikentästä (H). Kaukokentässä kentät

ovat kuvion 3 mukaisesti toisiaan ja etenemissuuntaa vastaan kohtisuorassa. Kaukokentässä etenevää säteilyä kutsutaan TEM-tasoaalloksi.



KUVIO 3. Sähkömagneettisen tasoaallon komponentit

3.2.1 Säteilyn eteneminen ja vaimeneminen vapaassa tilassa

Tyhjössä sähkömagneettiset aallot kulkevat taajuudestaan riippumatta vakionopeudella, valonnopeudella noin 3×10^8 metriä sekunnissa. Säteily etenee tavallisesti suoraviivaisesti tyhjiössä ja niissä väliaineissa, joissa kantajakenttä tai -hiukkanen pystyvät etenemään. Vapaassa tilassa etenevä isotrooppisesta säteilijästä (säteilijä, joka säteilee joka suuntaan yhtä paljon) lähtevän sähkökentän taso laskee verrannollisena etäisyyteen, minkä vuoksi aallon sisältämä tehotiheys laskee verrannollisena etäisyyden neliöön (Kosola & Solante.2006, 51). yhtälön 5 mukaisesti, jossa P_0 on aallon teho määrättyllä etäisyydellä d_0 , P_d on aallon tehotiheys etäisyydellä d , ($d > d_0$).

$$\text{Yhtälö 5. Teho: } P_d = \frac{P_0}{4\pi d^2}$$

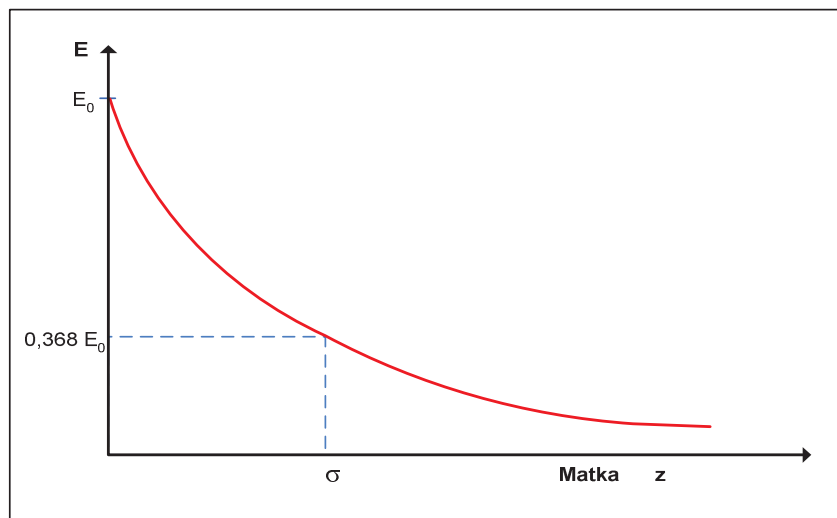
3.2.2 Aallon vaimeneminen väliaineessa

Kun tarkastellaan aallon etenemistä häviöllisessä väliaineessa (käytännön tapaus) sähkömagneettinen aalto vaimenee materiaalissa lähinnä sähköisten häviöiden, eli materiaalin johtavuuden vuoksi. Tällöin osa säteilyn energiasta muuttuu ohmisten ja dielektristen polarisaatiohäviöiden vuoksi lämmöksi ja sähkömagneettinen säteily vaimenee eksponentiaalisesti kertoimella $e^{-\alpha z}$, jossa α on vaimenemiskerroin ja z on matka. (Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto.) Jos kenttä on nopeasti värähtelevä, kuumentaminen muodostuu huomattavaksi ja sitä voidaan käyttää teknillisesti hyväksi suurten ainekappa-

leiden kuumentamiseksi tasaisesti samalla kertaa niiden sisäosia myöten. Tähän perustuu muun muassa mikroaaltouunin toiminta.

3.2.3 Aallon tunkeutumissyvyys

Aallon vaimenemisesta päästään käsitteeseen tunkeutumissyvyys, joka kertoo häviöllisellä väliaineella matkan, jossa aalto on vaimentunut $1/e$ osaan ($e =$ Neperin luku), eli noin 37 %:iin alkuperäisestä arvostaan (Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto). Vaimenemista on havainnollistettu kuviossa 4, jossa σ on väliaineen johtavuus.



KUVIO 4. Sähkömagneettisen aallon vaimeneminen väliaineessa matkan funktiona

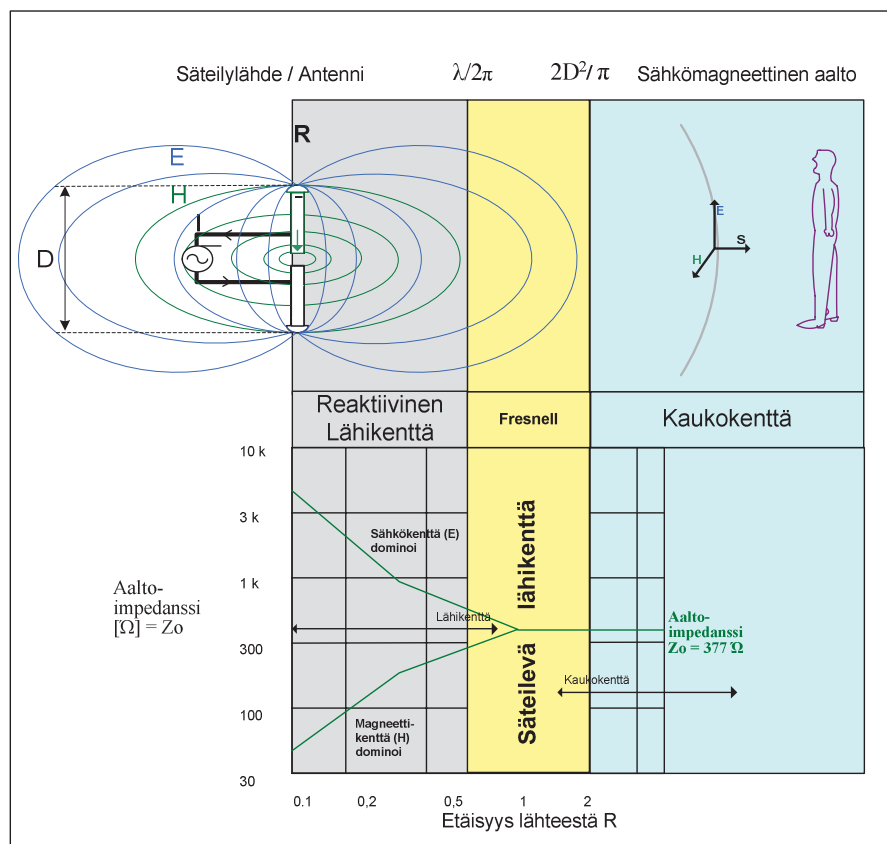
Tunkeutumissyvyys on keskeinen termi tarkasteltaessa säteilyn vaikutusta elävässä kudoksessa, jota käsitellään kohdassa 4.4.3. Sillä on merkitystä myös esimerkiksi suojaustason arvioimisessa, sillä tunkeutumissyvyys riippuu lähinnä taajuudesta ja kohteen materiaalin johtavuudesta. Lisäksi tunkeutumissyvyys on merkittävä esimerkiksi RF-häiriösuojauksen kannalta, suunniteltaessa esimerkiksi suojattua laitekoteloa ja arvioitaessa millaisen suojauksen se kullakin taajuudella pitää antaa. Tunkeutumissyvyyttä kuvaava yhtälö 6 on esitetty seuraavassa.

$$\text{Yhtälö 6. } \textit{Tunkeutumissyvyys} = \frac{1}{\alpha}$$

3.2.4 Lähi- ja kaukokenttä

Säteilyturvallisuusmittaukset joudutaan tekemään antenneista eri etäisyyksiltä. Siksi on hyvin olennaista ymmärtää seuraavassa esitettävät lähi- ja kaukokenttäkäsitteet. Antennista lähtevä säteilykenttä on erityyppinen tarkastellessa sitä eri etäisyyksillä antennista. Säteilykenttä jaetaan kuvion 5 mukaisesti kolmeen osaan: reaktiivinen lähikenttä, säteilevä lähikenttä (ns. Fresnellin alue) ja kaukokenttä. Lähi- ja kaukokentän raja-alueella reaktiivinen osa on yhtä voimakas kuin säteilevä osa. Hyvin lähellä antennia sähkö- ja magneettikenttien välillä ei ole selkeää yhteyttä, vaan kentät määräytyvät varausten ja niiden liikkeen aiheuttamista staattisista sähkö- ja magneettikentän komponenteista sekä niihin summautuvista induktiivisista kenttäkomponenteista. (Nyberg ym. 2006, 45.)

Säteilevässä lähikentässä sähkö- ja magneettikentät eivät ole vielä täysin kohtisuorassa toisiaan vastaan, niin kuin kaukokentässä, joten sähkökentän komponentista ei voi päätellä magneettikenttää ja toisinpäin. (Kosola & Solante 2003, 47.)



KUVIO 5. Sähkömagneettiset kenttäkäsitteet

Yleisesti esitetään kaksi tapaa määrittää, onko kyseessä lähi- vai kaukokenttä, Maxwellin kriteerin mukaan ja Rayleighin kriteerin mukaan (Hannu, J). Molemmat määrittelyistä perustuvat aaltoimpedanssiin, joka kertoo sähkömagneettisen kentän sähkökentän ja magneettikentän voiman suhteen (E/H). Aaltoimpedanssilla voidaan määrittää kytkeytymisen tehokkuus johtavaan materiaaliin sekä suojauksen tehokkuus, kun käytetään johtavia esteitä. Jos tarkastelukulma on pieni, kaukokentässä aaltorintamat etenevät tasoaaltona ja E- ja H-kentät vaimenevat etäisyyden mukaan samaa tahtia. Maxwellin yhtälöihin pohjautuvan kenttäteorian perusteella sähkö- ja magneettikenttien suhde määritellään intrinsiikkisenä aaltoimpedanssina (Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto). vapaasti etenevässä aallossa, kaukokentässä aaltoimpedanssi Z_0 , joka on yhtälön 7 mukaisesti vakio 377Ω (120π). Yhtälössä μ_0 on tyhjän permeabiliteetti ja ϵ_0 on permittiivisyys.

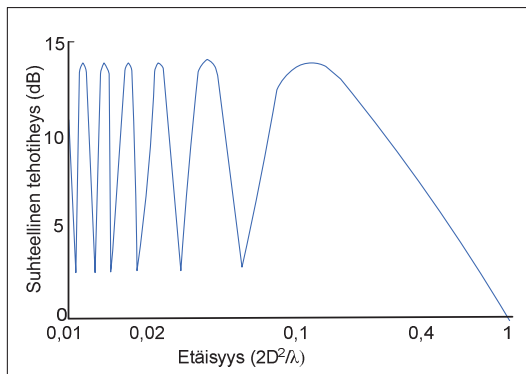
$$\text{Yhtälö 7. } Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = \frac{E}{H} = 120\pi = 377 \Omega$$

Lähikentässä aaltoimpedanssi määritetään lähteen ominaisuuksien mukaan, riippuen siitä kumpi kentistä dominoi. Pienivirtainen, korkeajännitteinen lähde generoi korkeaimpedanssisen sähkökentän ja vastaavasti korkeavirtainen, pienijännitteinen lähde generoi pieni-impedanssisen magneettikentän. Jos aaltoimpedanssi on jo lähikentässä 377Ω , tasoaalto voi generoitua jo lähikentässä.

Esimerkiksi lähikentän sähkö- ja magneettikenttien voimakkuuksien suhteen perusteella silmukka-antennia (magneettilooppi) voidaan kutsua matalaimpedanssiseksi antenniksi, koska sen E/H itseisarvon suhde on pieni. Vastaavasti suoran johtimen (piiska-antenni tai dipoli) muodostamassa antennissa ei kulje suuria virtoja, vaan kenttä saadaan aikaiseksi johtimien välisellä jännite-erolla. Nämä potentiaalierot muodostavat ympärilleen voimakkaan sähkökentän. Lähikentän ominaisuuksien perusteella tällaista suoraa piiska-antennia voidaan kutsua korkeaimpedanssiseksi antenniksi, koska sen E/H itseisarvon suhde on suuri.

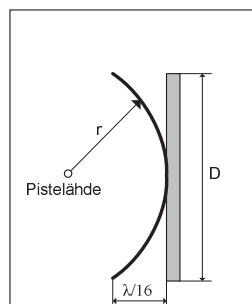
Maxwellin kriteerin mukaan lähi- ja kaukokentän raja on $\lambda/2\pi$ antennista. Säteilyn lähde oletetaan pistemäiseksi. Rayleighin kriteerin mukaan lähi- ja kau-

kokentän raja on $2D^2/\lambda$, jossa D on antennin säteilijän maksimikoko. Tällöin lähi- ja kaukokentän rajaa ei määritetä sähkömagneettisen kentän mukaan, vaan antennilta, joka on liian suuri pistelähteeksi tulevan säteilyn luonteen mukaan. (Hannu, J.) Säteilevä lähikenttä syntyy antennien eri pisteistä tulevien aaltojen välillä syntyvistä vaihe-eroista, jotka vaimentavat säteilyä ja pienentävät vahvistusta. Vaihe-eron vaikutus alkaa olla huomattava etäisyydellä $D^2/2\lambda$. Lähellä antennia voi suhteellisen tehottiheyden vaihtelu olla useita desibelejä ks. kuvio 6.



KUVIO 6. Tehottiheyden suhteellinen vaihtelu etäisyyden funktiona

Aallonpituuteen nähden suurikokoisten antennien tapauksessa säteilylähikenttä ulottuu paljon kauemmaksi kuin yksittäisten antennielementtien reaktiivinen lähikenttä ks. kuvio 7. Tällöin kaukokentän rajana pidetään etäisyyttä, jolla vaihevirhe antennin pinnalla on $\lambda/8$ (eli 22,5 astetta, vastaa matkaeroa $\lambda/16$). (Kosola & Solante. 2003, 47.)



KUVIO 7. Aallonpituuteen nähden suurikokoinen antenni

Kuten edellä todettiin säteilyn kaukokentässä tehottiheys (S) pienenee neliössä etäisyyden kasvaessa. Säteilyn tehottiheys ympärisäteilevällä, isotrooppisella lähteellä (antenni) lasketaan yhtälön 8 mukaisesti, jossa P on lähettimen teho ja r on etäisyys.

$$\text{Yhtälö 8. } S = \frac{P}{4\pi r^2}$$

Jos säteilylähde (antenni) suuntaa ja vahvistaa säteilyä, huomioidaan sen vaikutus säteilytehossa yhtälön 9 mukaisesti, jossa G on antennin vahvistus.

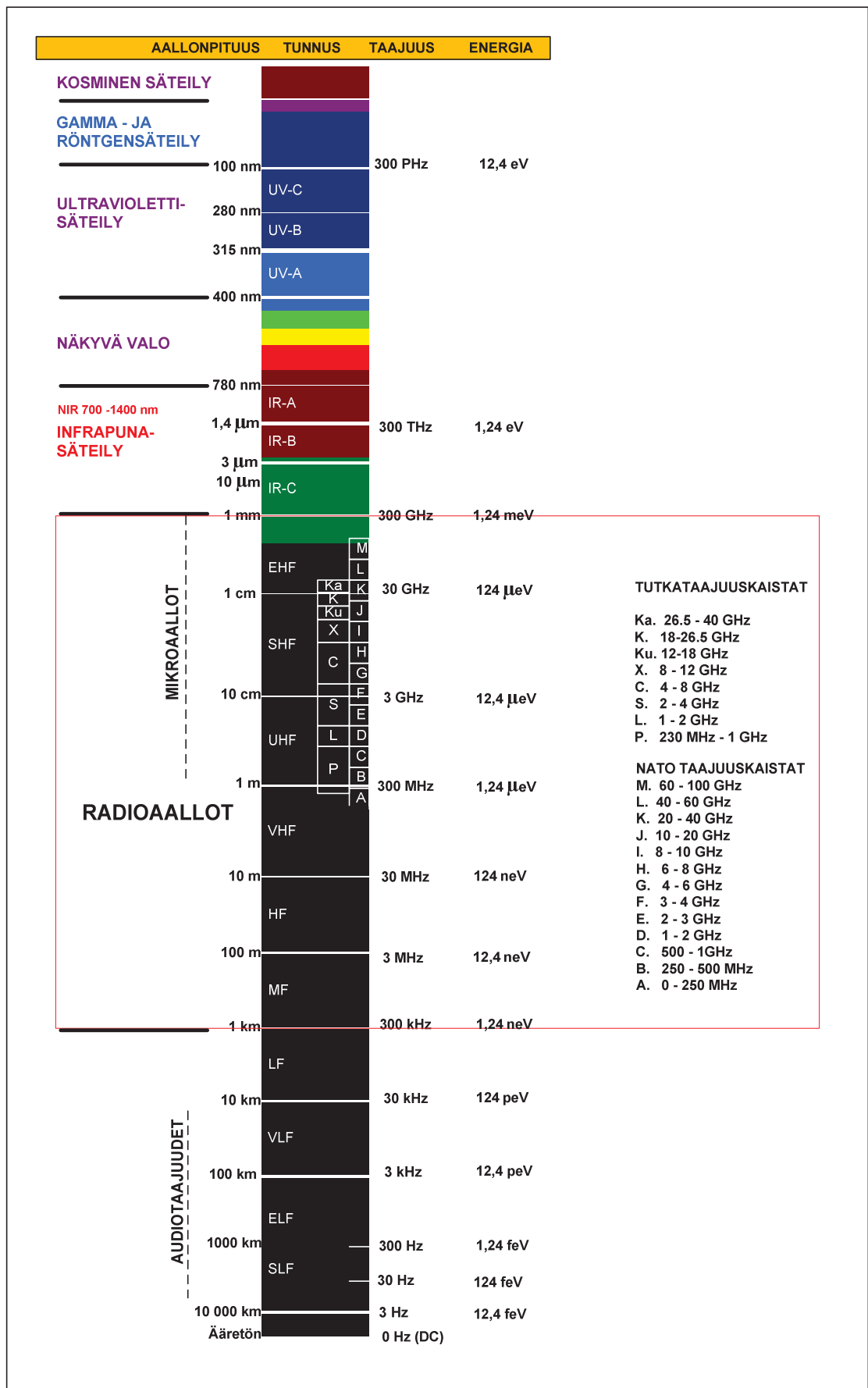
$$\text{Yhtälö 9. } S = \frac{PG}{4\pi r^2}$$

On huomioitava, että säteilyn pieneneminen neliössä etäisyyden kasvaessa on käsitteellisesti eri asia kuin kohdassa 3.2.2 esitetty säteilyn vaimeneminen väliaineessa.

3.2.5 Sähkömagneettinen spektri

Sähkömagneettinen säteily jaotellaan aallonpituuden mukaan seuraaviin osaluokkiin: radioaallot, IR-säteily, näkyvä valo, UV-säteily, röntgensäteily ja gammasäteily sekä kosminen säteily. Nämä eri säteilylajit muodostavat sähkömagneettisen spektrin. Taajuusalueita on luokiteltu monin eri tavoin, mutta yleisimmin käytössä oleva taajuuskaistajakoko perustuu ITU:n määrittelemään kaistajakokoon, joka käyttää taajuusalueiden leveytenä dekadia ja vastaavasti alueiden niminä VHF-alue, UHF-alue jne. Tämän työn kannalta merkittävin osa spektriä on radiotaajuinen alue, joka kattaa taajuusalueen 300 kHz–300 GHz. Niin sanotut mikroaallot kuuluvat siten radiotaajuusalueeseen ja ne käsittelevät taajuusalueet UHF (0,3–3 GHz), SHF (3–30 GHz) ja EHF (30–300 GHz). Mikroaallonimityksen alkuperä ei ole kaikkien tiedossa. Sen nimitys ei viittaa ainakaan kyseistä taajuutta vastaaviin aallonpituuksiin, jotka mikroaallotaajuuksilla on välillä 1 m–1 mm. Mikroaallotaajuuden tutkitaajuuksia on luokiteltu käyttötarkoituksen mukaan kirjaimilla, mikä on jäänyt yleiseen käyttöön toisen maailmansodan ajalta.

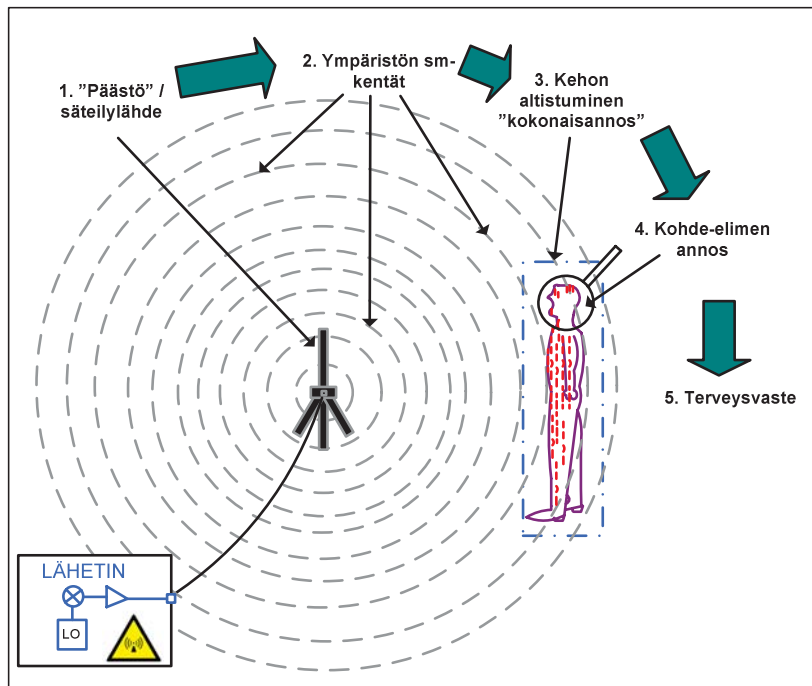
Kuviossa 8 on esitetty sähkömagneettinen spektri jaoteltuna ITU:n mukaisiin kaistaryhmiin ja taajuuksiin. Esitetty kuva on alun perin esitetty viitteessä (Kosola & Solante 2003, 41.), johon on lisätty muun muassa sotilaalliset taajuuskaistajakokot ja laskettu kunkin taajuuden tuottamia fotonin energialukuja (eV). Kaistojen allokointi perustuu kansainvälisiin sopimuksiin ja määräyksiin, joiden noudattamista Suomessa valvoo Viestintävirasto.



KUVIO 8. Sähkömagneettinen spektri (ITU)

3.3 Altistumista kuvaavat suureet

Altistumisella tarkoitetaan yleisesti kehon tai sen osan alttiina olemista haitta-tekijälle. Kyseessä on siis eräänlainen aineellinen tai aineeton kontakti altistavan tekijän ja ihmisen välillä. Kuviossa 9 esitetty säteilyn altistumismekanismi, jossa säteilylähteen sähkömagneettiset kentät altistavat kohdekehoa. Mahdollisista altistumisen haittavaikutuksista saadaan terveystavaste, joko välittömästi altistuksesta tai tietyn aikaviipeen, piilo- eli latenssiajan kuluttua. Todettakoon, että toistaiseksi ei ole todisteita, että radiotaajuisesta sähkömagneettisesta säteilystä aiheutuisi pitkän latenssiajan vaikutuksia.



KUVIO 9. Säteilyaltistumisen mekanismi

Sähkömagneettisten kenttien ja säteilyn luonne ja vaikutukset ovat niin moninaisia taajuudesta riippuen, että niiden luonnehtimiseen tarvitaan useita erilaisia suureita. Altistumista sähkömagneettisille kentille voidaan kuvata epäsuorasti ulkoisten kenttien avulla tai suoraan kudoksissa vaikuttavien sisäisten kenttäsuureiden avulla. (Nyberg ym. 2006, 28.) Ulkoisen kentän voimakkuutta kuvataan osin edellisessä kappaleessa kuvatuilla suureilla kuten sähkökentän voimakkuus E , magneettikentän voimakkuus H , magneettivuon tiheys B ja sähkömagneettisen aallon tehotiheys S . Kehon sisäistä altistumista mittaavia dosimetrisia (ks. kohta 4.1) altistumissuureita ovat kudoksessa vaikuttavan sähkökentän voimakkuus E , sähkökentän aiheuttama indusoitunut virrantiheys

J sekä tehohäviöihin eli lämpenemiseen liittyvä ominaisabsorptionopeus SAR (Nyberg ym. 2006, 28).

Lisäksi suuret kosketusvirta (I_C) sekä kosketusjännite (U_C) on syytä huomioida, kun asiaa tarkastellaan kokonaisuutena riskienarvioinnin kannalta. Esimerkiksi sähkökentässä sijaitseva sähköä johtava kappale voi varautua kentän vaikutuksesta. Koskettaessa kappaletta varaus purkautuu kosketusvirtana. Vastaavasti esimerkiksi metallisen antennin tai antennilangan pinnalla voi lähetyshetkellä olla kymmenientuhansien volttien AC-jännite.

Periaatteellinen ero sähkömagneettisten kenttien ja ionisoivan säteilyn välillä on altistumissuureiden määrittelyssä. Ionisoivan säteilyn biologinen vaikutus määräytyy karkeasti annosnopeuden ja-ajan tulosta eli säteilyannoksesta. Sähkömagneettisten kenttien kohdalla biologisten vaikutusten riippuvuus ajasta on huomattavasti monimutkaisempi. (Nyberg ym. 2006, 56.) Tunnetut vaikutukset, kuten kudosten lämpeneminen tai hermojen stimuloituminen, alkavat esiintyä vasta, kun kentän voimakkuus ylittää tietyn kynnyksen. Sähkömagneettisten kenttien osalta säteilyannoksella ei ole yhtä suurta merkitystä kuin annosnopeutta eli säteilyn voimakkuutta mittaavilla altistumissuureilla. Sähkömagneettisiin kenttiin liittyviä suureita ja yksiköitä on esitetty liitteissä 2 ja 3.

3.3.1 Tehotiheys

Sähkömagneettinen aalto kuljettaa mukanaan energiaa, jota kuvataan tehotiheydellä (S). Tehotiheys on yksi radiotaajuiselle säteilylle altistumista kuvaavista suureista, joiden voimakkuutta pyritään rajoittamaan erilaisin suosituksin ja määräyksin. Tehotiheys riippuu sekä magneettikentän (H) että sähkökentän (E) voimakkuudesta. Tehotiheyden yksikkö on wattia per neliometri (W/m^2). Yksinkertaisessa sinimuotoisen kentän tasoaaltoapauksessa (kaukokentässä) tehotiheys voidaan esittää yhtälön 10 skalaarimuodossa, jossa E ja H ovat sähkö- ja magneettikenttien voimakkuuksien tehollisarvoja. Esimerkiksi radion ja tutkan lähettimen teholla on suora vaikutus syntyvään tehotiheyteen.

$$\text{Yhtälö 10. } S = EH$$

Sijoittamalla yhtälö 5 $Z_0=E/H$ voidaan tehotiheys esittää joko sähkökentän tai magneettikentän avulla yhtälöiden 11 ja 12 mukaisesti.

$$\text{Yhtälö 11. } S_E = \frac{E^2}{Z_0}$$

$$\text{Yhtälö 12. } S_H = H^2 Z_0$$

Tehotiheys on varustettu alaindeksillä S_E tai H_E sen mukaan kumman kentän avulla se on määritelty. Tehotiheydet ovat ekvivalenttisia tehotiheyksiä, jotka ovat eri suuruisia lähikentässä.

Yli 3 GHz:n mikroaaltotaajuuksilla, joilla aallonpituus on paljon pienempi kuin kehon mitta, tehotiheys antaa karkean arvion kehoon absorboituneesta kokonaistehosta P . Se on esitetty yhtälössä 13, jossa A on kehon poikkipinta-ala aallon kulkusuuntaa vasten ja tehoheijastuskerroin $(1 - R^2)$ ottaa huomioon, että noin 50 % aallon tehosta heijastuu takaisin. (Nyberg ym. 2006, 47.) Absorboituneen tehon suhde ihmisen massaan (P/m) on koko kehon keskimääräinen ominaisabsorptioopeus.

$$\text{Yhtälö 13. } P = (1 - R^2)AS$$

3.3.2 Ominaisabsorptioopeus, SAR-arvo

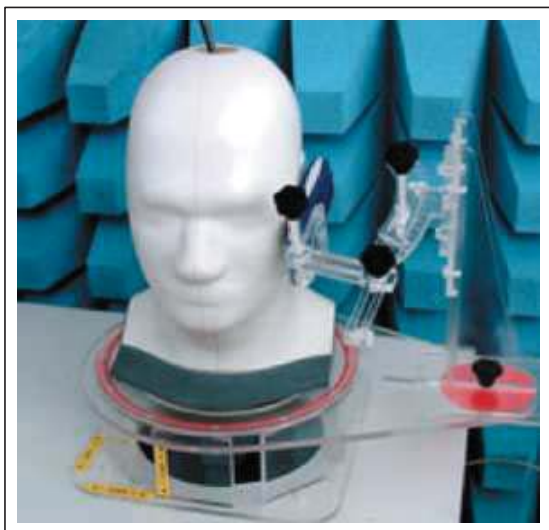
Keskeisin dosimetrinen altistumissuure 100 kHz–10 GHz:n taajuuksilla on Ominaisabsorptioopeus SAR, joka kuvaa radiotaajuisen tehon ohmista absorboitumista häviölliseen kudokseen siinä vaikuttavan sähkökentän ja -virtojen kautta. Tehohäviö johtuu siitä, että kudoksen dielektrinen polarisaatio ja vapaiden ionien liike kuluttavat energiaa. Paikallinen SAR määritellään äärettömän pieneen kudospalaan dm absorboituneen tehon dP ja sen kohdalla vaikuttavan sähkökentän E avulla yhtälön 14 mukaisesti, jossa ρ tiheys ja σ johtavuus kyseisessä pisteessä. (Nyberg ym. 2006, 47.)

$$\text{Yhtälö 14. } SAR = \frac{dP}{dm} = \frac{\sigma E^2}{\rho}$$

Ominaisabsorptioopeuden yksikkö on siten (W/kg). SAR on skalaarisuure päinvastoin kuin sähkökenttä. Sisäinen sähkökenttä voidaan esimerkiksi matkapuhelinsovelluksessa mitata kehoa simuloivan fantomin eli mallinukun avulla.

la käyttämällä sen sisäänrakennettua pientä isotrooppista sähkökentän anturia. Kuviossa 10 on esitetty matkapuhelimen SAR-arvon mittaustilanne. Tehon absorboituminen kudokseen ilmenee kudoksessa lämpötilan nousuna dT . 10–300 GHz:n taajuusalueella ominaisabsorptionopeus ei ole enää kovin käyttökelpoinen altistumissuure, koska säteilyn absorboituminen on varsin pinnallista, perusrajoitukset ja viitearvot esitetään tällä alueella tehotiheyksinä.

Ominaisabsorptionopeus riippuu voimakkaasti säteilyn taajuudesta ja kudostyyppistä. Lisäksi siihen vaikuttaa kentän polarisaatio, lähellä olevat suurikokoiset johtavat esineet, kehon vaikutus lähteen säteilyominaisuuksiin ja kentässä olevan kohteen koko ja muoto (Jokela 1985, 16). Koska kentänvoimakkuuksien mittaukset ovat käytännön tilanteissa yksinkertaisempia kuin SAR-arvojen laskeminen, annetaan lainsäädännöissä sallitut raja-arvot tehotiheyden, sähkö- ja magneettikentän voimakkuuden avulla.



KUVIO 10. Matkapuhelimen SAR-arvon mittaustilanne

3.3.2.1 Normalisointikertoimet

Tehotiheys voidaan tarvittaessa muuttaa paikalliseksi SAR-arvoksi käyttäen numeerisen mallintamisen menetelmiä kuten FDTD (ks. kohta 6.3). Tehotiheys voidaan tietyllä tarkkuudella muuttaa SAR-arvoiksi myös käyttäen normalisointikertoimia. Normalisointikertoimen yksikkö on m^2/kg , joka kerrottuna tehotiheyden yksiköllä W/m^2 antaa SAR-yksikön eli W/kg . Esimerkiksi koko kehon altistuksessa resonanssitaajuudella normalisointikerroin on $0,025 m^2/kg$ (Jokela 1985, 23). Paikalliset ominaisabsorptionopeuden arvot ovat huomattavasti

keskimääräisempiä suurempia. Ne ovat suurimmillaan pohkeen alueella (0,12 m²/kg) ja vatsan sisäosissa kaksinkertaisia (0,051 m²/kg) keskimääräiseen verrattuna (Jokela 1985, 23). Normalisointikertoimia käytettiin yleisesti vielä 1980-luvulla, jonka jälkeen numeerisen mallintamisen menetelmien yleistymisen on vähentänyt niiden käyttöä. Normalisointikertoimet voivat olla nykyäänkin käyttökelpoisia, esimerkiksi karkean tason approksimaatioissa. Normalisointikertoimia on käytetty muun muassa kohdassa 10.2 esitettyssä altistumisten arviointiin kehitetyssä laskentataulukossa.

3.3.3 Virrantiheys

Alle 100 MHz:n taajuuksilla SAR esitetään usein virrantiheyden J avulla. Paikallisen virrantiheyden ja sähkökentän välinen yhteys on $J = \sigma E_i$, yhtälön 15 mukaisesti.

$$\text{Yhtälö 15. } SAR = \frac{J_i^2}{\rho\sigma}$$

SAR jakautuu hyvin epähomogeenisesti kudoksissa. Virrantiheys voidaan arvioida kehossa ja raajoissa kulkevista virroista, jos tunnetaan niiden poikkeileikkauspinnan ala ja siinä olevien kudostyyppien osuudet. Johtavaan tai häviölliseen kappaleeseen muodostuva sisäinen sähkökenttä on jo lähtökohtaisesti epähomogeeninen, vaikka kappale olisikin säännöllisen muotoinen ja muodostuisi homogeenisesta materiaalista. Todellisissa biologisissa kappaleissa kentän epähomogeenisuutta lisäävät oleellisesti monimutkainen muoto ja kudoksen epähomogeenisuus. Virta voi esimerkiksi ahtautua nilkkoihin, joissa paikallinen SAR voi olla moninkertainen kehon keskiarvoon verrattuna.

Altistumistilanteesta riippuen kiinnostuksen kohteena on joko paikallinen tehon absorptio tai koko kehon absorboima säteily. Keskimääräinen koko kehon ominaisabsorptionopeus SAR_{wba} saadaan integroimalla paikallinen SAR koko kehon yli. Se on yksinkertaisesti kehoon absorboitunut kokonaisteho P jaettuna massalla yhtälön 16 mukaisesti, jossa P on kokonaisteho ja m on massa.

$$\text{Yhtälö 16. } SAR_{wba} = \frac{P}{m}$$

Käsitteen ymmärtämistä voi helpottaa esimerkki, jossa oletetaan 100 kg:n painoiseen ihmiseen absorboituvan tasaisesti 100 W:n teho. Tällöin koko kehon SAR on 1 W/kg yhtälön 16 mukaisesti. Kuten edellä esitettiin, SAR jakautuu kudoksissa käytännössä eri syistä hyvinkin epähomogeenisesti.

3.3.4 Laitteen altistuminen säteilylle (EMC)

Jos laitteen toiminta häiriintyy sähkömagneettisessa kentässä siten, että se voi aiheuttaa ihmisille vaaraa, puhutaan säteilyn tai kenttien aiheuttavista välillisistä tai epäsuorista vaikutuksista ks. kohta 4.6. Käsitteellisesti tuolloin tarkoitetaan laitteiden välistä sähkömagneettista yhteensopivuutta (EMC) ja mahdollisesti siinä olevia ongelmia. Laitteiden välinen sähkömagneettinen yhteensopivuus on säädelty EU-direktiivissä 2004/108/EY ja se on Suomessa sisällytetty sähkölainsäädäntöön. Lisäksi NATO on julkaissut varsin kattavat sotilasjärjestelmien julkaisusarjat AECTP 250 ja 500, jotka on tarkoitettu muun muassa sotilasjärjestelmien sähkömagneettisten ympäristötekijöiden määrittelyyn ja testaukseen.

EMC-häiriöitä selvitetään erityisillä mittalaitteilla kuten spektrianalysointilaitteilla, jonka avulla voidaan mitata signaalin taajuusjakauma ja suhteellinen teho. Spektrianalysointilaitteilla voidaan määrittää myös terveysvaikutteisia altistumissuureita, mutta antennista/mittapäistä johtuva mittausepätaarkkuus voi olla huomattava. Mainittakoon, että spektrianalysointilaitteissa signaalivoimakkuuden mittayksikkö on tavallisesti dBm eli desibeliä milliwattiin nähden. Terveysaltistumista kuvataan sellaisilla yksiköillä kuin kentänvoimakkuus (V/m, A/m), tehotiheys (W/m^2) ja SAR-arvo (W/kg).

Mainittakoon, että kohdassa 5 käsiteltävissä altistumista kuvaavissa suureissa ja turvallisuusnormeissa kuvataan sitä kuinka suuri ihmiseen kohdistuva altistuminen saa korkeintaan olla, jotta siitä ei aiheutuisi terveyshaittoja. Välillisiin vaikutuksiin kyseiset altistumissuureet eivät ota kantaa.

4 SM- KENTTIEN BIOLOGISET JA FYSIOLOGISET VAIKUTUKSET

Pohdintoja sähkö- ja magneettikenttien terveysvaikutuksista on viime vuosina esitetty mediassakin varsin runsaasti. Tähän on osittain vaikuttanut matkaviestimien ja langattoman tiedonsiirron valtava maailmanlaajuinen kasvu. Kuten kappaleessa 1. todettiin sähkömagneettisen säteilyn mahdollisista terveysvaikutuksista ja riskeistä ei ole olemassa tutkijoiden ja alan asiantuntijoiden keskuudessa selvää yksimielisyyttä. Tämä tietynlainen tieteen voimattomuus ja epävarmuus luo maukkaan pohjan erilaisille spekulatioille ja vastakkaisasettelulle, jossa eri intressitahot esittävät värikkäitäkin mielenilmaisuja. Toisinaan sähkömagneettinen säteily mielletään tai rinnastetaan erheellisesti jopa radioaktiiviseen säteilyyn, säteilystä kun on joka tapauksessa kyse. Se yhtäläisyys säteilylajeilla on, että niitä on hankala ihmisen aistia.

Ihminen on radioaalloille kuin suolavesipussi tai radioinsinöörin termein häviöllinen diaelektrinen kappale (Lehto 2006, 290). Fysiologian näkökannalta tilanne ei ole kuitenkaan näin yksinkertainen. Sähkökenttien vaikutuksesta kudoksessa olevat ionit ja molekyylit alkavat värähdellä kentän suunnassa. Jokelan (2006, 1) mukaan dielektristen häviöiden johdosta värähtelyenergiaa alkaa absorboitua kudoksiin, mistä voi olla seurauksena kudosten lämpeneminen hyvin voimakkaassa altistumisessa. Yli 1 MHz:n taajuuksilla säteilyn haittavaikutukset aiheutuvat pääasiassa tästä lämpenemisestä, mutta alle 1 MHz:n taajuuksilla indusoituneet virrat ja sähkökentät voivat myös suoraan stimuloida hermo- ja lihaskudosta ilman merkittävää lämpenemistä. Alle 100 kHz:n taajuuksilla sähköisten stimulaation kynnyks on alempana kuin lämpövaikutusten esiintymiskynnyks.

Tarkasteltaessa sähkömagneettisten kenttien vaikutusta esimerkiksi hermostoon on syytä huomioida, että ihmisen sähköjärjestelmä on luonteeltaan kemiallinen. Ihmisen sähköjärjestelmässä kudosten välisiä viestejä kuljettavat toiminto- eli aktiopotentiaalit (Wikipedia, Toimintopotentialit). Hermoissa etenevät aktiopotentiaalit tapahtuvat siten kemiallisina natrium- ja kaliumvirtoina. Tämä selittää, miksi ihmisen hermosto, aivot ja siten koko keho reagoi kemiallisiin aineisiin esimerkiksi alkoholiin verraten helposti. Sen sijaan sähkömag-

neettiset kentät ovat luonteeltaan elektronisia eivätkä siten kytkeydy helposti tai ainakaan suoraan aktiopotentiaaleihin.

4.1 Dosimetria

Kuten kappaleessa 3.3 esitettiin, kudoksissa vaikuttava sähkökenttä (Ei), virrantiheys (J) ja ominaisabsorptionopeus (SAR) ovat tärkeimmät kehon sisäiset altistumissuureet, joista sähkömagneettisten kenttien biologiset vaikutukset määräytyvät. Nyberg ym. (2006, 60) mukaan keskeinen ongelma on siinä, miten kehon sisäiset kentät määräytyvät ulkoisista kentistä. Täysin samanlaisissa ulkoisissa altistumisolosuhteissa voi syntyä täysin erilainen kehon sisäinen altistuminen on riippuen kehon muodosta, koosta, johtavuudesta ja kehon asennosta kenttään nähden. Tähän kehon sisäisen altistumisen arviointiin käytetään dosimetriaa.

Mikroskooppisessa dosimetriassa tavoitteena on saada tietoa kenttien hienojakaumasta, jotta päästäisiin pureutumaan kenttien biologisiin ja biofysikaalisiin vuorovaikutusmekanismeihin solu- ja molekyyalitasolla. Mikroskooppisen dosimetrian tutkimus auttaa myös ymmärtämään, miten erityyppisten kudosten ja solujen rakenne vaikuttaa kudosten keskimääräisiin sähköisiin ominaisuuksiin eri taajuuksilla. Makroskooppisessa dosimetriassa tutkitaan kenttien keskimääräistä jakaumaa äärellisessä tilavuudessa, joka tyypillisesti on muutamia kuutiomillimetrin kokoinen. Tässä tilavuudessa kudosten hienorakenteen vaikutus on pääosin tasoittunut. Miltei kaikki käytännön dosimetriset mittaukset ja laskut tehdään makroskooppisessa mittakaavassa. (Nyberg ym. 2006, 60.)

4.2 Matalataajuiset sähkö- ja magneettikentät (0 Hz – 30 KHz)

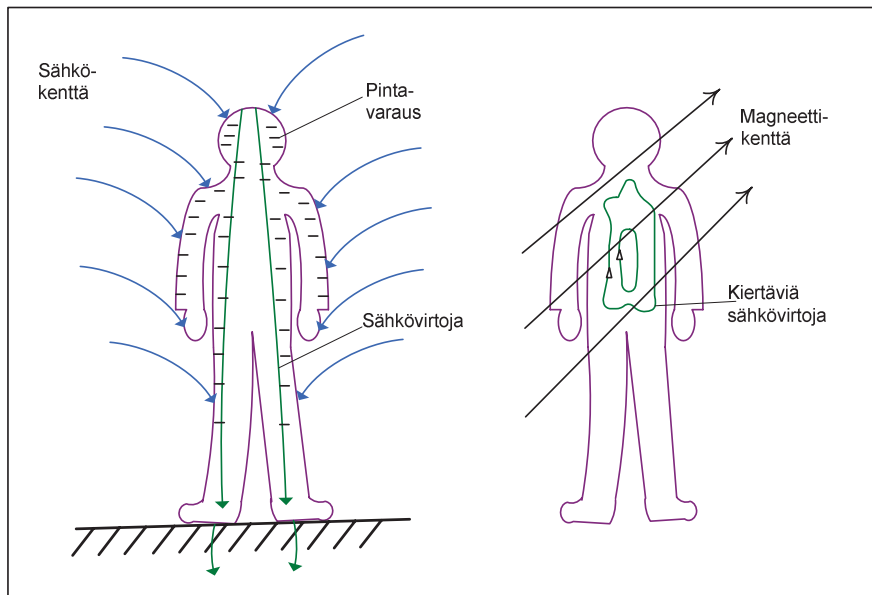
Kyseinen taajuusalue ei varsinaisesti kuulu radiotaajuusalueeseen, mutta sitä on kokonaisuutta ajatellen aiheellista käsitellä jonkun verran myös tässä yhteydessä.

Staattinen DC-magneettikenttä (0 Hz) pysyy vakiona tai muuttuu vain hyvin hitaasti ajan suhteen. Sähkömagneettisen teorian mukaan kentän muutos tai kappaleen liikkuminen kentässä synnyttää eli indusoi kentässä olevaan kappaleeseen (kehoon) sisäisen sähkökentän, joka saa aikaan sähkövirtoja hyvin

johtavissa kudoksissa. Voimakkaat staattiset magneettikentät voivat aiheuttaa pahoinvointia, päänsärkyä, huimausta ja magnetofosfeeneja. (Nyberg ym. 2006, 18.)

Pientaajuisten sähkö- ja magneettikenttien voidaan ajatella jakautuvan hyvin pientaajuisiin ja välitaajuisiin kenttiin. Hyvin pientaajuisissa sähkö- ja magneettikentissä (alle 300 Hz) kentän muutosnopeus on jo riittävän suuri indusoimaan paikallaan olevaan ihmiseen sähkökenttiä ja -virtoja. Ulkoinen magneettikenttä aiheuttaa kehossa induktiosähkökentän ja se puolestaan kiertäviä sähkövirtoja eli induktiovirtoja kuvion 11 mukaisesti. Sähkömagneettinen induktio riippuu kehon koosta ja asennosta sähkö- ja magneettikenttien suuntaan. Ulkoinen sähkökenttä synnyttää kehon pinnalle kentän tahdissa muuttuvan pintavarauksen, joka pyrkii kumoamaan ulkoisen kentän vaikutuksen. Kehon sisälle jää kuitenkin pieni virtoja aiheuttava jäännöskenttä. Riittävän voimakkaina induktiosähkökenttä ja -virrat voivat aiheuttaa sähköärsytystä hermo- ja lihassoluissa. Suuret sisäiset virrat voivat olla vaarallisia, koska ne voivat laukaista kammiovärinän tai johtaa hengityksen lamaantumiseen. Tämä voi olla mahdollista äärimmäisen voimakkaassa yli yhden teslan magneettikentässä 50 Hz:n taajuudella. Hermosolut muodostavat erityisesti keskushermostossa monimutkaisia verkostoja, joiden sähköisen toiminnan häiriintymistaso on matalampi kuin yksittäisten hermosolujen, koska pienet häiriöjännitteet voivat summutua hermoliitoksissa eli synapseissa. Häiriintyminen voi ilmetä magnetofosfeeneina, jotka ovat epämääräisiä valonvälähdyksiä näkökentän laidoilla. (Nyberg ym. 2006, 18.)

Kuviossa 11 on esitetty pientaajuisten sähkö- ja magneettikenttien fysikaalisia ja biologisia vaikutuksia, joita voivat olla lisäksi myös sydän- ja verisuonijärjestelmään sekä keskushermostoon kohdistuvat vaikutukset.



KUVIO 11. Matalataajuisien 0 Hz – 30 kHz kenttien fysikaalisia ja biologisia vaikutuksia

4.2.1 Kvasistaattinen alue

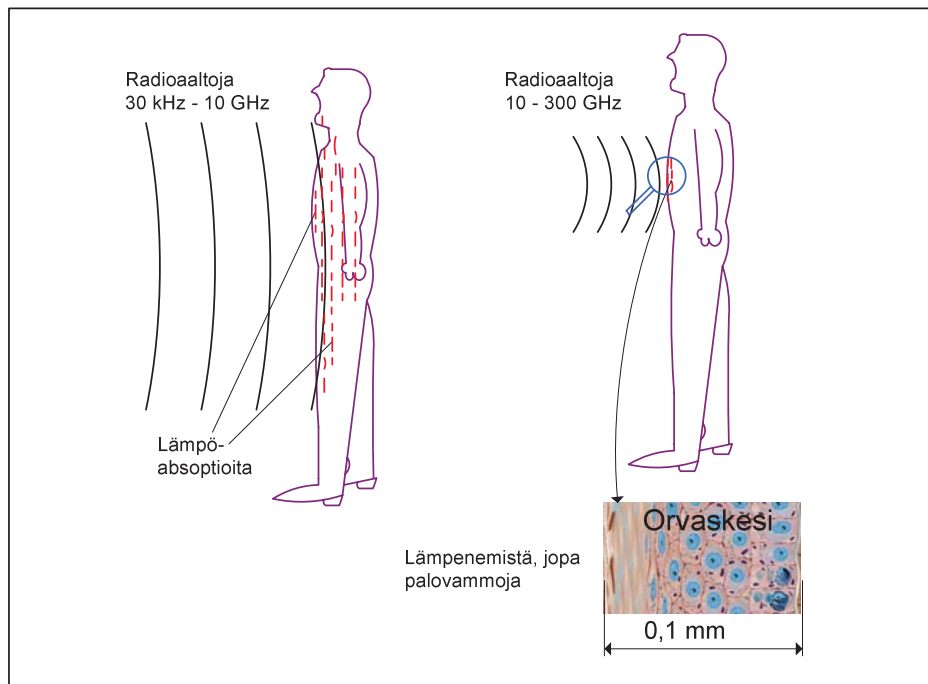
Nyberg ym. (2006, 81) mukaan kvasistaattisella alueella tarkoitetaan sähkömagneettisen spektrin alkupäätä, eli alle 30 MHz:n taajuuksia. Näillä taajuuksilla ulkoisen sähkömagneettisen kentän aallonpituus on yli 10 metriä, joten se on suuri verrattuna ihmisen pituuteen. Sähkökentän jakauma ei riipu merkittävästi taajuudesta, eikä sähkökentässä esiinny aaltojen äärellisestä kulkuajasta johtuvia vaihe-eroja. Kentät tunkeutuvat tehokkaasti myös kehon sisäosiin. Kvasistaattisella alueella pintasähkökenttä on tärkeä suure, koska se on itsessään merkittävä altistustekijä ja siitä voidaan laskea sisäinen sähkökenttä. Pintasähkökentän laskemista helpottaa oleellisesti se, että kvasistaattisella alueella ihmisen keho voidaan olettaa ulkoisen kentän kannalta äärettömän hyvin johtavaksi kappaleeksi. Kudosten sähköiset ominaisuudet ja taajuus eivät vaikuta merkittävästi pintakenttään, joka suuntautuu aina kohtisuoraan ihon pintaa vasten. Itse asiassa ihminen voitaisiin korvata hyvin johtavalla metallifoliolla eikä se muuttaisi mitenkään tilannetta.

4.3 Radiotaajuisen säteilyn terveysvaikutukset

Radiotaajuisen 30 kHz-0 GHz:n säteilyn tunnetut terveysvaikutukset johtuvat aaltojen energian imeytymisestä kehoon ja sen aiheuttamasta lämpötilan noususta kudoksissa. Terveyshaittoja syntyy, mikäli kehon lämmönsäätelyjärjes-

telmä ei pysty poistamaan tätä ylimääräistä lämpöä. Lämpötilan noususta johtuvat haitat ilmaantuvat altistumisen aikana tai välittömästi sen jälkeen (STUK 2009, 2). Altistusraja-arvojen tavoitteena kyseisellä taajuusalueella on estää koko kehoon kohdistuva lämpörasitus sekä liiallinen kudosten paikallinen kuumeneminen.

Radiotaajuinen 10 GHz-300 GHz:n säteily ei juuri imeydy kudokseen, jolloin sen lämpövaikutus jää ihon pinnalle tai pintakudoksiin. SAR-arvo ei ole enää kovin käyttökelpoinen altistumisen mittari, vaan altistuminen ilmoitetaan tehoitiheytenä. Altistumisen raja-arvojen tavoitteena kyseisellä taajuusalueella on estää kehon pinnalla tai lähellä pintaa olevien kudosten kuumeneminen. Kuviossa 12 on esitetty 30 kHz-300 GHz:n radiotaajuisten säteilyn aiheuttamia fysikaalisia ja biologisia vaikutuksia.



KUVIO 12. Radiotaajuisten säteilyn 30 kHz-300 GHz vaikutuksia

4.4 Radiotaajuisten kentän mekanismit ja vaikutukset

Monissa kokeissa on tutkittu mitä seurauksia, joita voivat olla lämpötilasta ja altistumisajasta riippuen solun toiminnan tilapäinen muutos, solukuolema, elimistön lämmönsäätelyjärjestelmän kuormittuminen tai jopa kudoksen pysyvä vaurioituminen laajamittaisen solutuhon seurauksena. Biologisten prosessien herkkyys lämpötilamuutoksille kuitenkin vaihtelee suuresti; pienin lämpöti-

lan muutos, jonka ihminen voi aistia on luokkaa $0,07\text{ }^{\circ}\text{C}$, kun taas solujen kuoleminen (nekroosi) alkaa lisääntyä vasta yli $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpötilannousun jälkeen, jolloin lämpötila on yli $42\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hetkellisesti kudokset voivat kestää huomattavan suuria lämpötilannousuja, jopa kymmeniä asteita, jos se kestää vain joitakin sekunteja. (Nyberg ym. Jokela, 2006, 150.)

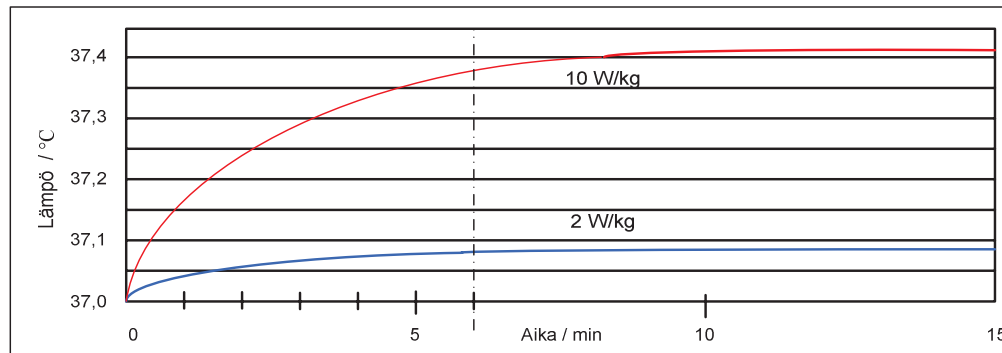
Arvioitaessa radiotaajuisten säteilyn aiheuttamaa lämpökuormitusta on oleellisen tärkeää huomioida kaikki lämpökuormitukseen vaikuttavat fysiologiset ja ympäristötekijät. Muita lämpökuormaa lisääviä tekijöitä ovat korkea ilman lämpötila, suuri ilman kosteus, vähäinen tuulen nopeus, voimakas optinen säteily esimerkiksi auringosta, liian lämmin pukeutuminen, liikunta ja kuumenesteen juominen. Esimerkiksi rasittavassa liikunnassa kuumalla ja kostealla ilmalla kehon sisäosien lämpötila voi nousta kaksikin astetta (Nyberg ym. 2006, 153.)

4.4.1 Kudoksen paikallinen lämpeneminen alle 10 GHz:n kentässä

SAR-arvon tulkitseminen lämpötilan muutokseksi kudoksessa ei ole aivan yksinkertaista. Kudokseen absorboituvan energian, sen jakauman ja altistumisajan lisäksi on tunnettava joukko lämpöfysiologisia muuttujia, kuten kudosten ominaislämpökapasiteetti ja lämmönjohtokyky sekä verenkierron jäähdyttävä vaikutus. Kuten kohdassa 4.4 todettiin, kehon lämpeneminen riippuu myös ympäristön lämpötilasta, ilman suhteellisesta kosteudesta ja ilmavirtauksen voimakkuudesta. Ihmiskeho pyrkii säätelemään lämpötilannousua hikoilulla ja pintaverenkierron muutoksilla. Elävän kudoksen (in vivo) termodynaamisessa mallinnuksessa on keskeistä tuntea verenkierron lämmönsiirtokyky; suhteellisen viileä veri jäähdyttää lämmennyttä kudosta siinä virratessaan. Perfuusio kuvaa sitä, kuinka tehokkaasti veri huuhtelee kudoksia. Mitä suurempi on lämmönjohtokyky ja mitä suurempi on perfuusio, sitä paremmin lämpö siirtyy kuumalta alueelta kylmemmälle. Esimerkiksi lihan lämmittämistä mikroaaltouunissa ei voi verrata suoraan elävän lihaskudoksen lämpiämiseen vastaavassa olosuhteessa.

Jokela ym. (1994, 7) mukaan teoreettiset ja kokeelliset tutkimukset viittaavat siihen, että tehon kohdistuessa pienelle alueelle on tyypillinen aikavakio 2,5–6 minuutin luokkaa, mikä perustuu siihen, että pienikokoisten elinten kuten sil-

män ja kivesten lämpöaikavakion oletetaan olevan noin 6 minuuttia. Koko keholla se on suuruusluokkaa 30 min. Kuviossa 13 on laskettu yksinkertaistetun eksponentiaalisen mallin avulla kuinka paljon aivokudos lämpenee paikallisesti ajan funktiona, kun maksimi SAR on 2 ja 10 W/kg. Kuudessa minuutissa lämpötilan nousu saavuttaa 90 % maksimiarvostaan. Kun SAR on 10 W/kg, lämpötilan nousu on pitkän ajan kuluessa noin 0,4 °C. Tässä tapauksessa lämpeneminen on sen verran vähäistä, että lämmön nousu on likimain lineaarinen. Jos lämmön nousu on yli kolme astetta, lämmönsiirto tehostuu verisuonien laajetessa eikä loppulämpötila kasva samassa suhteessa kuin teho. Toisaalta liika lämpö voi myös alkaa vaurioittaa verisuonia ja heikentää siten lämmönsiirtoa (STUK- A 161, 29).



KUVIO 13. Aivokudoksen lämpeneminen ajan funktiona paikallisesti eri SAR-arvoilla

Paikallisen lämpenemisen ohella radiotaajuinen kenttä voi lisätä myös koko kehoon kohdistuvaa lämpökuormaa. Se on fysiologisesti merkittävä silloin, kun lämmitys ylittää perusaineenvaihdunnan lämmitystehon. Käytännössä tällainen altistuminen on hyvin harvinaista, ja tulee kysymykseen lähinnä magneettikuvauksessa tai työskenneltäessä joidenkin suurtaajuuskuumentimien ja suurtehoisten yleisradioantennien läheisyydessä. (Nyberg ym. 2006, 153.)

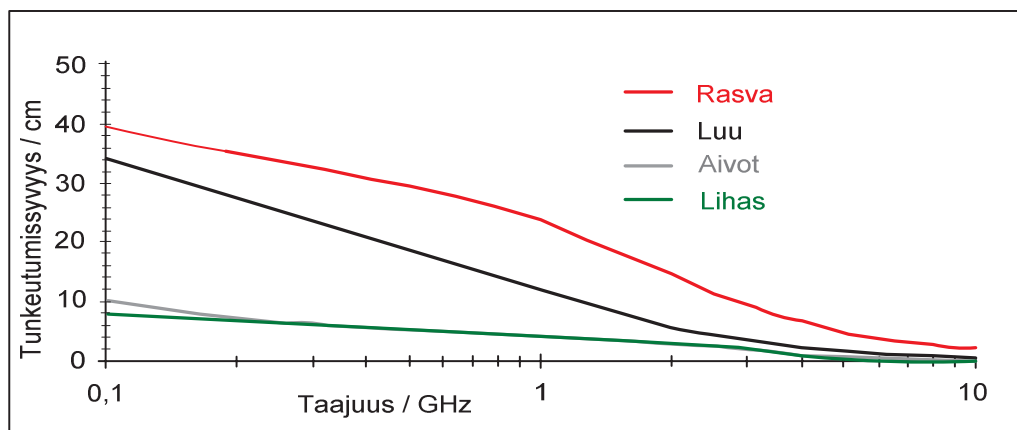
4.4.2 10 – 300 GHz alue

Myös taajuudella 10-300 GHz pyritään ehkäisemään kehon liiallista lämpenemistä. SAR-arvo ei ole kuitenkaan kovin käyttökelpoinen tällä taajuusalueella, koska säteilyn absorboituminen on kovin pinnallista. Perusrajoitukset määritetään tehottiheytenä $68/f^{1.05}$ minuutin aikana 20 cm^2 suuruiselle pinta-alkiolla laskettuna keskiarvona. Paikallinen 1 cm^2 alalle keskiarvona laskettu tehottihe-

ys ei saa ylittää taulukon 20-kertaisia arvoja. Taajuus f sijoitetaan edellä esitettyyn tehoitiheyden määrittelykaavaan gigahertseinä.

4.4.3 Säteilyn tunkeutumissyvyys

Selvin ihmisellä havaittu radiotaajuisten säteilyn haittavaikutus on silmän harmaakaihiriiki mikroaaltosäteilyssä, kun keskimääräinen tehoitiheys ylittää 1000 W/m^2 (STUK 2001, 3). Säteilyn tunkeutumissyvyyttä taajuuden funktiona ja erilaisissa kudoksissa havainnollistetaan kuviossa 14. Matkapuhelimien taajuuksilla 900-2400 MHz, säteilyn tunkeutumissyvyys on 5-30 cm, kun suurilla taajuuksilla ($>10 \text{ GHz}$) tunkeutumissyvyys on enää korkeintaan 1 cm.



KUVIO 14. Säteilyn kudostyyppikohtaisia tunkeutumissyvyyksiä taajuuden funktiona

4.4.4 Mikroaaltokuuluminen

Voimakas pulssimuotoinen mikroaaltosäteily aiheuttaa päähän osuessaan häiritsevän kuuloaistimuksen. Aistimus voi syntyä yksittäisestä pulssista ja aistimuskynnys riippuu pulssin energiatiheydestä. (STUK ST 9.2 ohje 2004, 3). Kuuloaistimus syntyy aivojen pienestä, mutta nopeasta lämpölaajenemisesta. Sen aiheuttama mekaaninen värähtely etenee sisäkorvaan tuottaen kuulohavainnon. Aistimus voi olla haitallinen, mutta sitä ei kuitenkaan pidetä terveydelle vaarallisena. Aistimus voi syntyä jo yhdestä pulssista ja kynnys siihen riippuu pulssin energiatiheydestä. (Nyberg ym. 2006, 163.) Aihetta on tutkittu runsaasti ja siitä on julkaistu useita tieteellisiä artikkeleita 1960-luvulta lähtien. Mikroaaltokuulemisen aiheuttavat tutkatyyppiset pulssit, joiden kesto on tyypillisesti alle mikrosekunnista kymmeneen mikrosekunteihin taajuusalueella 400 MHz-10 GHz ja pulssiteho tyypillisesti $1 - 100 \text{ kW/m}^2$. Kuuloaisti-

muksen estämiseksi työntekijään kohdistuvien, alle 30 μs kestävien, mikroaaltopulssien aiheuttama paikallinen pulssienergiatiheys ei saisi ylittää taajuuksilla 300 MHz-10 GHz arvoa 100 mJ/m^2 (STUK ST 9.2 ohje 2004, 4).

4.4.5 Raajoihin indisoituva virta

Tietyissä tilanteissa virrantiheys tai paikallinen SAR voi nousta liian suureksi virran ahtautuessa esimerkiksi nilkkoihin tai sormiin. Kehon sisällä alkaa edetä vaimenevia aaltoja, jotka sopivilla taajuuksilla resonoivat keskenään. Koko kehon resonanssi syntyy silloin, kun sähkökenttä on pituusakselin suuntainen ja ihmisen pituus on vapaassa tilassa likimain puolet aallonpituudesta ks. kohta 4.4.7.

4.4.6 Kosketusvirta eli kapasitiivinen purkausvirta

Kosketusvirroilla tarkoitetaan maasta eristettyihin metalliesineisiin kertyvän varausten purkautumista esinettä koskettaessa. Esinettä koskettaessa ihon lämpötila voi nousta nopeasti liian korkealle, koska paikallinen SAR on suuri virran ahtautuessa kosketuskohtaan. Mitä suurempi taajuus, sen suurempi SAR esiintyy ihon pinnalla. Radiotaajuuksilla kosketusvirran osalta sovelletaan yhden sekunnin integrointiaikaa. (Nyberg ym. 2006, 334.)

4.4.7 Resonanssialue (30 – 3000 MHz)

Yli 30 MHz:n taajuuksilla johtavuusvirta ja kapasitiivinen siirrosvirta aiheuttavat niin voimakkaan sekundaarisen magneettikentän, että sähkökenttä alkaa vaimentua kehon sisäosissa ja virta alkaa ahtautua kehon pintaosiin. Lisäksi aallonpituus kudoksessa on alle metrin, eivätkä kehon mitat ole enää pieniä tähän verrattuna. Kehon sisällä alkaa edetä vaimenevia aaltoja, jotka sopivilla taajuuksilla resonoivat keskenään. Koko kehon resonanssi syntyy silloin, kun sähkökenttä on pituusakselin suuntainen ja ihmisen pituus on vapaassa tilassa likimain puolet aallonpituudesta. (Nyberg ym. 2006, 104.) Tällöin keho absorboi tehokkaimmin energiaa sähkömagneettisesta aallosta, mitä havainnollistaa kuvio 15. Resonanssien ja virran ahtautumisen johdosta syntyy tehotihentymiä eli kuumia pisteitä kehon sisäosiin. Tarkimpien dosimetristen laskelmien mukaan tasoallon aiheuttama paikallinen SAR-arvo voi resonanssialueella olla

suurimmillaan 20-30 kertainen koko kehon keskimääräiseen SAR-arvoon verrattuna (Nyberg ym. 2006, 104).

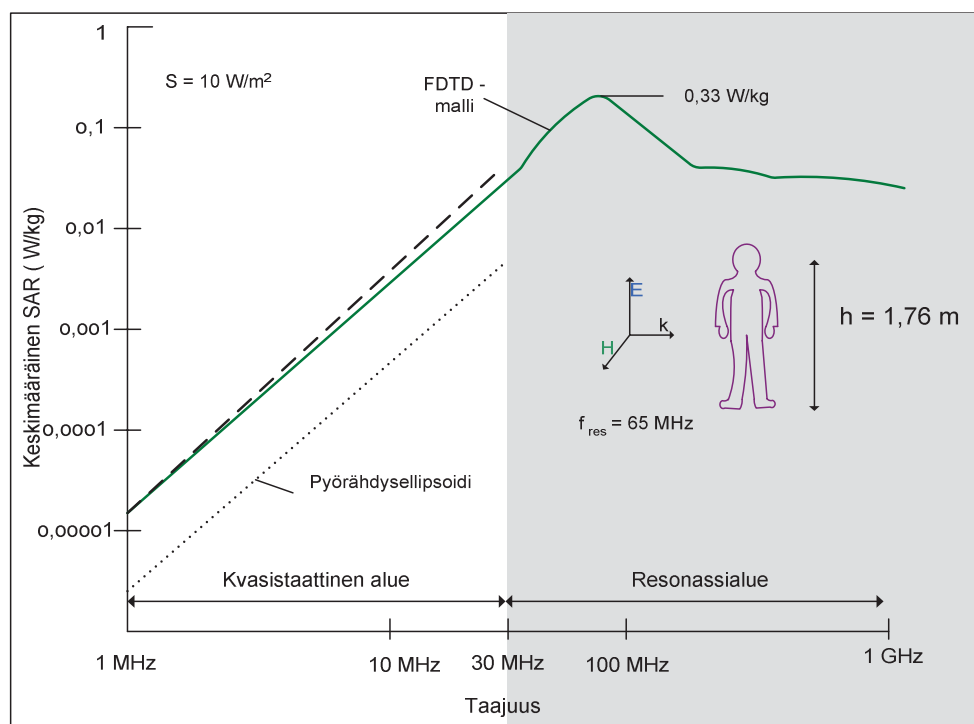
Paikallisten tehotihentymien syntyminen tai kokonaislämpöabsorption lisääntyminen on erityisen voimakasta tietyn elimen, koko kehon tai sen osan koon ollessa sopiva resonanssi-ilmion syntymiselle.

Tärkeimmät tehotihentymiä ja resonansseja synnyttävä taajuudet ovat:

0,9-3 GHz tehotihentymä silmän kohdalla

0,3-2 GHz pääresonanssi, tehotihentymä aivojen keskiosassa

30-3000 MHz koko kehon tai sen osan resonanssialue.



KUVIO 15. Resonanssin vaikutus absorptioon ja SAR-arvoon

Kuvion 15 mukaisesti alle 30 MHz:n taajuuksilla SAR nousee likimain suoraan verrannollisesti taajuuden neliöön, kuten vertailu neliöllisesti nousevaan katkoviivaan osoittaa. Kun ihmisen pituus on likimain puolet aallonpituudesta, syntyy voimakas resonanssiabsorptio. Maadoittamattoman 176 cm pitkän ihmisen koko kehon resonanssitaajuus on noin 65 MHz. Tällä resonanssitaajuudella tehotiheyden ollessa 10 W/m^2 koko kehon keskimääräinen SARwba on 0,33 W/kg. Resonanssitaajuudesta alkaa absorptiossa hidas lasku, jossa SAR laskee likimain kääntäen verrannollisesti taajuuteen. Vastaavasti pään resonanssitaajuus on luokkaa 400 MHz (Lehto 2006, 292). Yli 400 MHz:n taajuu-

della ominaisabsorptionopeus alkaa lähestyä vakiotasoa, joka on likimain viidesosa resonanssitaajuuden SAR-arvosta.

Kuviossa 15. esiintyvä pyörähdysellipsoidikäyrä perustuu erääseen dosimetriin laskentaan, jossa keho on korvattu homogeenisellä pyörähdysellipsoidilla, jonka sähköiset ominaisuudet vastaavat kehon keskimääräisiä sähköominaisuuksia. Taulukossa 2 on esitetty merkittävimmät radiotaajuuden säteilyn vaikutusten kynnykset verrattuna altistusrajoihin (Nyberg ym. 2006, 162.)

Taulukko 2. Säteilyn kynnykset

Vaikutus	Koko kehon SAR / (W/kg)	Paikallinen SAR ¹ / (W/kg)	Huom
Kipuaistimus iholla		120	3 GHz, 2 min, 10 kW/m ²
Harmaakaihi		100	
Lämpöaistimus		8	2,45 GHz, 10s, 630 W/m ²
Lämpöuupuminen ja -halvaus	>4		Muut lämpöolosuhteet
Lämmönsäätelyjärjestelmä alkaa kuormittua	4		Muut lämpöolosuhteet
Lämpökuormaa vähennetään tietoisesti	1,2		Havaitsemiskynnys
Perusaineen-vaihdunnan lämpö pienenee	0,5-1,5		
ICNIRP:n työntekijäraja ylittyy	0,4	10 ¹⁾	
ICNIRP:n väestöraja ylittyy	0,08	2 ¹⁾	

Taulukossa ¹ tarkoittaa 10g:n keskiarvoa pään ja vartalon alueella

4.4.8 Monitaajuiset kentät

Soveltaessa ICNIRP:n ohjeita laajakaistaisiin ja pulssimaisiin kenttiin ICNIRP suosittelee käytettäväksi yleisenä menettelyä monitaajuussäätöä (Nyberg ym. 2006, 337). Monitaajuussäätö voidaan esittää taajuuksilla 10 MHz – 300 GHz siten, että sähkömagneettisen aallon tehotiheyden on täytettävä yhtälön 17 ehto, jossa S_n on mitattu tehotiheys harmonisella taajuudella f_n ($n = 1, 2, 3 \dots$) ja $S_{L,n}$ on vastaava enimmäisarvo. (Nyberg ym. 2006, 338.)

$$\text{Yhtälö 17. } \sum_n \frac{S_n}{S_{L,n}} \leq 1$$

Yhtälössä 17 muodostetaan jokaisella taajuudella tehotiheyden ja altistumisrajan suhde ja lasketaan summat yhteen. Näin saatu altistumissuhde ei saa olla suurempi kuin yksi. Samanlaisella summakaavalla voidaan myös arvioida

ylittykö koko kehon SAR:n tai paikallisen SAR:n perusrajoitus (Nyberg ym. 2006, 338).

Lähikentässä on käytettävä ekvivalenttista tehotiheyttä tai vaihtoehtoisesti yhtälöiden 18 ja 19 mukaisia tehollisarvojen neliötä, jolloin altistumissuhteet sähkökentälle ja magneettivuontiheydelle ovat, missä E_n on sähkökentän voimakkuuden tehollisarvo taajuudella f_n ja $E_{L,n}$ on sähkökentän voimakkuuden enimmäisarvo. B_n ja $B_{L,n}$ ovat vastaavia magneettivuontiheyksiä (Nyberg ym. 2006, 338).

$$\text{Yhtälö 18. } \sum_n \frac{E_n^2}{E_{L,n}^2} \leq 1$$

$$\text{Yhtälö 19. } \sum_n \frac{B_n^2}{B_{L,n}^2} \leq 1$$

4.4.9 Modulaatiot ja aaltomuodot

Radiotaajuisia kenttiä ja säteilyjä synnyttävä tekniikka kehittyi uusien modulaatioiden ja uusien aaltomuotojen myötä huimaa vauhtia ja sen myötä kenttien ominaisuudet ovat muuttuvat. Tämä tulee asettamaan uusia haasteita altistumisten arvioinnille, sillä erilaisten lähteiden kuten tutkan ja kenttäradioiden synnyttämät kentät poikkeavat toisistaan ja vanhojen sukupolvien laitteista. Selvitettävää olisi muun muassa se, miten esimerkiksi hyppivätaajuisen kenttäradioiden aiheuttama säteily absorboituu kehoon verrattuna vanhan sukupolven kiinteätaajuisen radioon. Hyppivätaajuinen radio voi vaihtaa taajuutta jopa satoja kertoja minuutissa laajalla kymmenien megahertsien kaistalla tehon ollessa kymmeniä, jopa satoja watteja.

4.5 Sähköherkkyys

Muina mahdollisina sähkölähteiden haitallisina vaikutuksina on esitetty erilaisia vaihtelevia, allergiatyyppisiä oireita kuten huimausta, päänsärkyä, unettomuutta ja pahoinvointia. Tällöin oireet on usein liitetty termiin sähköyliherkkyys (Eletromagnetic hypersensitivity), joka on käsitteenä noin parinkymmenen vuoden ikäinen. Lääketiede ei sellaista tautia tai oireyhtymää kuitenkaan tunne (Terveyskirjasto). Yhtenäistä kriteeristöä kyseiselle oireyhtymälle ei myöskään ole ja oireet liittyvät moniin muihinkin syihin ollen ei-spesifejä sähköyliherkkyys-

delle. Sähköön ja radiolaitteisiin liittyvää oireyhtymää on virheellisesti kutsuttu sähköallergiaksi. Oireissa ei kuitenkaan ole kysymys lääketieteellisesti määritellystä allergiasta. Yliherkkyyскään ei ole suositeltava käsite, koska sillä tarkoitetaan niitä allergistyyppisiä reaktioita, joiden immunologista mekanismia ei vielä tunneta. (Nyberg ym. 2006, 237). Kuten edellä kerrottiin, lääketiede ei tunne kyseistä oireyhtymää, eikä sitä näin esiinny lääketieteellisessä ICD 10-luokituskoostossa (ICD 10 2006,17). Sähköherkkyys on oletettavasti monen samanaikaisesti vaikuttavan tekijän aiheuttama oireyhtymä, jonka syntyyn vaikuttavat yksilön ominaisuudet ja fysiologinen alttius, työn organisointiin liittyvät syyt sekä ympäristön fysikaaliset ja kemialliset tekijät. Sähköherkkyttä kokevien ihmisten oireet ovat todellisia, vaikka niiden perimmäiset syyt usein voivat jäädä epäselviksi (Hannuksela, 2010).

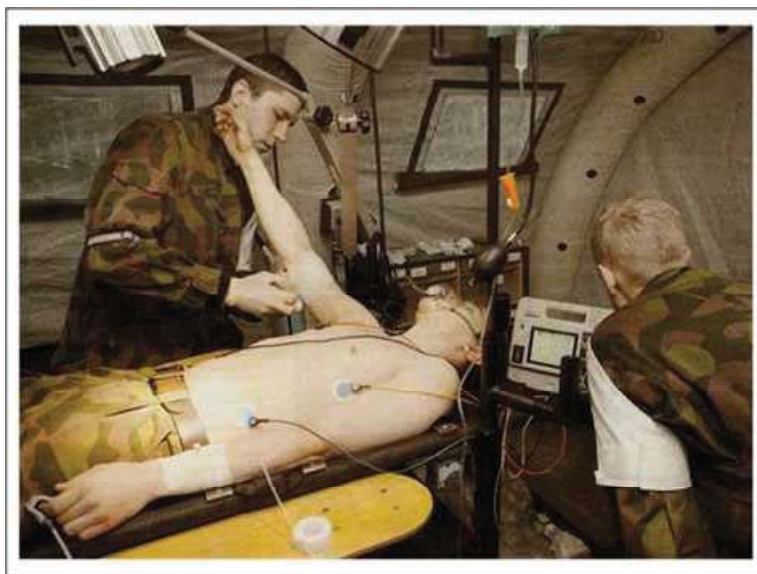
4.6 Epäsuorat vaikutukset

Epäsuora terveyshaitta tai vaaratilanne saattaa syntyä tilanteessa, jossa sähkömagneettiset kentät häiritsevät turvallisuuden kannalta tärkeiden laitteiden, kuten kehonsisäisten sydämentahdistimien, defibrillaattoreiden, hermostimulaattoreiden, lääkeannostelijoiden ja potilaaseen ulkoisesti kytkettyjen valvontalaitteiden tai kuulokojeen toimintaa. Häiriöitä voi aiheutua erityisesti matkapuhelimista, mutta myös kauppojen tuotesuojaportit, metallinpaljastimet ja radiotaajuiset tunnistuslaitteet ovat esimerkkejä uuden teknologian mukanaan tuomista häiriöongelmista. Joidenkin suhteellisen voimakkaasti säteilevien laitteiden käyttöä on varmuuden vuoksi rajoitettu tietyissä tilanteissa kuten lentokoneissa ja sairaaloissa (Nyberg ym. 2006, 22). Ongelma on syytä tiedostaa myös kenttäolosuhteissa, joissa joudutaan tekemään ensihoitoa sekä vaativiakin kirurgisia toimenpiteitä. Ensihoidon ja kirurgian apuvälineinä käytetään herkkiä elektronisia lääkintälaitteita, joita ovat potilasvalvontamonitorit ja infuusiopumput. Näiden toiminta voi häiriintyä voimakkaassa radiotaajuisessa kentässä. Kenttäsaaraalat ovat tyypillisesti telttarakenteisia, joissa ei ole sähkömagneettisen säteilyn estäviä rakenteita.

Lääkintälaitteen tai -tuotteen saaminen markkinoille edellyttää usein puolueettoman kolmannen osapuolen, esim. ilmoitetun laitoksen (Notified Body) palvelua pakollisena osana hyväksyntäprosessia. 1990 luvun alusta saakka kaikki

lääkintälaitteet (myös implantit) ovat jonkun standardin mukaan EMC-testattuja (esim. EN 60601). Tieto kulloisenkin laitteen EMC:n ominaisuuksista on sekä laitevalmistajalla että myös niitä hankkivilla ja käyttävillä organisaatioilla, kuten sairaaloilla ja niiden lääkintälaittehuolloilla. Ennen EU-aikakautta Suomessa myytävät lääkintälaitteet testattiin pääsääntöisesti VTT:n toimesta. 1980-luvulla hankittuja lääkintälaitteita on todennäköisesti vielä jonkun verran käytössä. Yleisesti ottaen lääkintälaitteiden EMC-immuniteetillistä parannusta tapahtuu teknisen kehityksen myötä jatkuvasti. Mainittakoon, että puolustusvoimissa taktisen ensihoidon järjestelmät hankkii pääsääntöisesti Sotilaslääketieteenlaitos.

Kuviossa 16 on meneillään kenttälääkinnän ensihoitoharjoitus, jossa potilaaseen on kytketty sähköisiä, potilaan vitalisuuksia mittavia potilasvalvontalaitteita, kuten EKG-valvontamonitori ja pulssioksimetri. Valvontalaitteiden anturit ja elektrodikaapelit voivat toimia vastaanottoantenneina, joita pitkin sähkömagneettiset häiriösignaalit kytkeytyvät itse hoitolaitteeseen häiriten sen toimintaa ks. kohta 3.3.4. Mainittakoon, että lääkintälaitteen tekemä mittaustulos ja tuloksen tulkinta saattaa häiriintyä muistakin kuin EMC-johdannaisista syistä. Tällöin puhutaan artefakteista, joilla tarkoitetaan esimerkiksi mittaustuloksen vääristymää, jonka on aiheuttanut esimerkiksi potilaan käyttämä lääkeaine, lihasvapina tai mittaasanturin huono kontakti. Tiettävästi markkinoilla ei ole saatavana nimenomaan kenttäolosuhteiden vaatimusten mukaan valmistettuja lääkintälaitteita.



KUVIO 16. Ensihoitotilanne

Epäsuorien vaikutusten riskiarvioinnit on implementoitu ionisoimattoman säteilyä käsittelevästä EU-direktiivistä 2004/40/EY Puolustusvoimien ionisoimattoman säteilyn valvontaa koskevaan normiin PVHSM SÄTEILY 001-PETEKNTARKOS. Normissa kohdassa 4.4 on esitetty, että työnantajan on riskien arvioinneissa erityisesti otettava huomioon:

- Epäsuorat vaikutukset, kuten sydämentahdistimet ja metalli-implantit
- Sähköisesti ohjattavien räjähtävien laitteiden laukeaminen (sytyttimet ja nallit)
- Indusoinnin synnyttämän kipinöinnin aiheuttamat aineiden tulipalot ja räjähdykset
- Altistuminen useille lähteille ja eritaajuisille kentille.
[EU-direktiivi 2004/40/EY]

4.7 Tutkimukset

Radiotaajuisten kenttien biologisia vaikutuksia on tutkittu useissa eläin- ja solukokeissa. Pitkäaikaisen matalatason (ks. kohta 5) altistumisen aiheuttamista terveyshaitoista ei ole tähän mennessä saatu pitävää tieteellistä näyttöä. On tosin väittämiä siitä, että koe-eläimillä tehdyissä tutkimuksissa olisi saatu viitteitä pitkäaikaisen matkapuhelimen sähkömagneettiselle säteilylle altistavan aivosyövän ja leukemian kehittymisestä. Tällaisia tuloksia esitetään muun muassa kirjoissa Sähköä ilmassa (Rekula, Juusela & Tamminen 2003) sekä Matkapuhelinteknologia mitkä ovat terveysriski (Hänninen, Kinnunen, Nilson, Kassinen, Tuormaa & Aztmon 2007). Toisaalta monet tutkimustahot ovat kiistäneet ainakin vakavat terveysvaikutukset.

Ionisoimaton, sähkömagneettinen säteily on parhaillaan tutkimuskohteena kymmenissä eri tutkimuksissa ympäri maailmaa. Muun muassa matkaviestinten käytön terveysvaikutusten selvittämiseksi on jo vuoden 2010 loppuun mennessä käytetty maailmanlaajuisesti arviolta yli 100 miljoonaa euroa. Yhdysvalloissa on seurattu systemaattisesti muun muassa radioamatöörien syöpäkuolleisuutta. Radioamatöörit saattavat altistua kokeiluluonteisen harrastustoiminnan kautta suurille ja pitkäaikaisille radiotaajuisille kentille. Lisäksi monet radioamatöörit toimivat työkseen radiotekniikan parissa. Tutkimusten mukaan radioamatöörien syöpäkuolleisuus on ollut jopa muuta väestöä alhaisempi. (Nyberg ym. 2006, 279). Radioamatöörejä on Suomessa noin 5000 ja maail-

massa arvioilta viisi miljoonaa. Säteilyturvakeskus on selvittänyt raportissa (STUK-B-TARO, 13) radioamatööriaseman aiheuttamaa radiotaajuista säteilyä.

Suomessa tehdään ionisoimattoman säteilyn terveysvaikutuksia selvittäviä tutkimuksia. Suomi on myös mukana ionisoimattoman säteilyn terveysvaikutuksia selvittävässä kansainvälisissä tutkimushankkeissa. Seuraavassa on esitetty niistä muutamia (STUK. Säteilyn terveyshaitat)

- Matkapuhelimen käyttäjien terveys-pilottitutkimus (COSMOS) 2006 – 2011. Tavoitteena on selvittää, miten matkapuhelimen käytön vaikutuksia terveyteen tulisi parhaiten tutkia. Tutkimus on osa Maailman terveysjärjestön aloitteesta käynnistettyä kansainvälistä hanketta, jossa Suomen ohella ovat olleet mukana Ruotsi, Tanska ja Iso-Britannia
- Matkapuhelimen käyttäjien seurantatutkimus (COSMOS). Tutkimus käynnistyy vuonna 2009 ja tutkimusväestö rekrytoidaan kolmen vuoden aikana. Ensimmäiset analyysit on tarkoitus tehdä viiden vuoden kuluttua tutkimuksen alusta. Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää matkapuhelimen käytön mahdollisia terveysvaikutuksia, erityisesti sähkömagneettikentän yhteyttä hermostollisiin sairauksiin (mm. MS-tauti, Alzheimerin tauti, Parkinsonin tauti) sekä pään alueen kasvaimiin ja oireisiin (päänsärky, unihäiriöt, mielialahäiriöt ja korvien soiminen). Yhteistyökumppanit Elisa Oyj, TeliaSonera Finland; Karolinska Institutet, Ruotsi; Imperial College, London, Iso-Britannia; Tanskan syöpäjärjestöjen tutkimuslaitos; Utrechtiin yliopisto, Hollanti
- Aivokasvainten syytekijät (INTERPHONE). 1999 – 2011. Kyseessä on kansainvälinen yhteistutkimus, joka mahdollistaa jopa 5 000 kasvaimen ja yhtä monen verrokin yhteisanalyysin ja siten huomattavasti tarkemman riskinarvion kuin missään yksittäisessä tutkimuksessa. Tutkimukseen osallistuu tutkimusryhmiä myös Iso-Britanniasta, Saksasta, Ranskasta, Italiasta, Israelista, Australiasta, Uudesta Seelannista, Kanadasta ja Yhdysvalloista
- Fysikaalisten häirttekijöiden direktiivin jäljitettävät kentänvoimakkuus- ja SAR-mittaukset (EMRP-NIR). 2008 – 2011. Tavoitteena on sähkömagneettisten kenttien kentänvoimakkuus- ja SAR-mittausten jäljitettävyyden parantaminen.

4.8 Radioaaltojen erikoiskäyttö ja voimakkaan säteilyn rajoittaminen

Radioaaltojen ja ihmiskehon vuorovaikutusta voidaan käyttää hyväksi sekä sairauksien havaitsemisessa että parantamisessa. Monia menetelmiä käytetään nykyisin päivittäin kliinisessä työssä, kuten MRI-laitteet ja uusia kehitetään jatkuvasti. Toisaalta suuritehoisia HPM- mikroaaltoaseita voitaisiin käyt-

tää myös ihmisten tilapäitseen lamauttamiseen, jos voimakkaan signaalin avulla kuumennettaisiin kohteen ihoa ja aiheutettaisiin näin voimakasta kipua.

Mikroaaltouunissa kypsytävää lihaa, poksahuttelevaa ja välillä uunin seinille räis-kyvää ruokaa katsellessa ymmärtää, että voimakas radiotaajuinen säteily voi olla terveydelle hyvinkin vaarallista. Haittojen välttämiseksi onkin tärkeää mää-ritellä säteilylle raja-arvot, joita ei tulisi ylittää. (Lehto 2006, 290.)

5 ALTISTUMISTEN RAJOITTAMINEN

Kuten edellä todettiin, voimakastehoinen radiotaajuinen säteily voi olla hyvin vaarallista. Turvallisuudesta huolehtimiseksi ja sen todentamisen mahdollis-tamiseksi, on useimmissa maissa sovittu sekä kansallisista että kansainvälisis-tä turvallisuusstandardeista ja normeista.

Turvallisuusnormituksen pääalueet ovat ihmisen altistuminen sähkömagneetti-sille kentille sekä laitteiden turvallisuusominaisuudet. Altistumisnormeissa esitetään, kuinka suuri ihmiseen kohdistuva altistuminen saa korkeintaan olla, jotta siitä ei aiheutuisi terveyshaittoja. Laitteita, rakenteita ja vastaavia koske-vat normit ovat teknisiä vaatimuksia, jotka täyttämällä altistumisen oletetaan pysyvän altistumisnormien mukaisena.

Silloin kun säteilyaltistus ei ole niin suuri, että pätevästi todettuja vaikutuksia voisi syntyä, puhutaan matalantason altistuksesta. Suhteellisen heikkojen sähkömagneettisten kenttien biologisista ja terveydellisistä vaikutuksista on olemassa erilaisia teorioita ja oletuksia, mutta ei kuitenkaan tieteellisesti va-kuuttavaa näyttöä. (Nyberg ym. 2006, 12.)

5.1 Turvallisuusnormit ja standardit

Turvallisuusnormit voivat olla ohjeellisia tai velvoittavia. Velvoittavat normit perustuvat aina lainsäädäntöön (Nyberg ym. 2006, 320). Lainsäädännön li-säksi erityyppisiä turvallisuusnormeja esitetään myös standardeina, ohjeina ja suosituksina. Tällaisia turvallisuusnormeja ovat erityisesti johtavien kansainvä-listen asiantuntijajärjestöjen suositukset ja ohjeet sekä vakiintuneesti sovel-

letut tekniset standardit. Esimerkiksi ionisoimattoman säteilyn turvallisuutta koskevia kansainvälisiä ohjearvoja ja kannanottoja laativan ICNIRP:n ohjearvot on otettu sähkömagneettisten kenttien turvallisuutta koskevan standardoinnin pohjaksi Euroopan unionin alueella (Nyberg ym. 2006, 321). Ionisoimattoman säteilyn lainsäädäntöä käsitellään laajemmin kohdassa 7.

5.2 Altistumisen ohjearvot (perusarvot, viitearvot)

Ajan funktiona muuttuvia kenttiä koskevat ICNIRP:n ohjearvot jakautuvat kahteen luokkaan: perusrajoituksiin ja viitearvoihin. Perusrajoitukset koskevat sellaisia fysikaalisia altistumissuureita, jotka ovat mahdollisimman lähellä biologisia vaikutuksia. Tällaisia altistumissuureita ovat alle 10 MHz:n taajuuksilla virrantiheys (J), taajuuksilla 100 kHz-10 GHz ominaisabsorptionopeus (SAR) sekä yli 10 GHz:n taajuuksilla tehottiheys (S). Taajuuksilla 10 kHz–10 MHz käytetään virran tiheyttä ja ominaisabsorptionopeutta altistumisen rajoittamiseen. Perusrajoitukset on asetettu sellaiselle tasolle, että ne suojaavat riittävän hyvin kaikilta hyvin todennetuilta haittavaikutuksilta. (Nyberg ym. 2006, 325.)

Altistumisen määrittäminen kehon sisällä on käytännössä kuitenkin hyvin hankalaa, usein jopa mahdotonta. Käytännön altistumismäärittämiä helpottamaan on perusrajoituksista johdettu viitearvot, joihin vertaamalla voidaan altistumista arvioida kehon ulkopuolelta suoritettavilla, suhteellisen yksinkertaisin mittauksin tai laskuin. Viitearvot on johdettu siten, että perusrajoitukset eivät missään olosuhteissa ylitä. (Nyberg ym. 2006, 326.) Viitearvot eivät kuitenkaan ole täysin velvoittavia, jos voidaan osoittaa, että perusrajoituksia ei ylitetä.

5.2.1 Ohjearvot työntekijöille ja väestölle

Ohjearvot on määritelty erikseen sähkömagneettisia kenttiä ja sähkömagneettista säteilyä synnyttäviä laitteita käyttäville työntekijöille ja muulle väestölle. Työntekijöiden ammatillisesta altistumisesta koskevat rajat on määritetty biologisia vaikutuksia ja terveyshaittoja koskevien tutkimusten perusteella siten, että haitalliseksi katsotut vaikutukset ehkäistään. Koko väestöä koskevat rajat ovat tiukempia kuin ammatilliselle altistumiselle määritellyt rajat. ICNIRP on perustellut väestörajojen ja työntekijärajojen erottamista toisistaan muun muassa

siitä syystä, että väestö voi esimerkiksi kodissaan altistua 24 tuntia vuorokaudessa sähkömagneettisille kentille, mutta työntekijät työssään yleensä vain 8 tuntia. Lisäksi väestö muodostuu työntekijöitä heterogeenisemmista yksilöistä, jotka ainakin teoriassa voivat olla herkempiä sähkömagneettisten kenttien vaikutuksille. Esimerkiksi lapset ja vanhukset sekä korkeasta kuumeesta kärsivät voivat olla herkempiä elimistön lämpökuormitukselle. Kenttiä synnyttäviä laitteita käyttävät työntekijät ovat oletettavasti myös paremmin tietoisia altistumisesta. Heidän altistumistaan voidaan valvoa ja tarvittaessa myös rajoittaa paremmin kuin muiden väestöryhmien altistumista. (Nyberg ym. 2006, 328.)

5.2.2 Altistuksen enimmäisarvot

Suomen lainsäädännössä on Sosiaali- ja Terveysministeriön asetus 294/2002 ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistumisen rajoittamisesta ja vastaavasti STM:n päätös ionisoimattoman säteilyn altistuksen enimmäisarvoista 1474/1991, jossa vahvistetaan enimmäisarvot ionisoimattoman säteilyn työntekijöille aiheuttaman altistuksen rajoittamiseksi. STM:n enimmäisarvot perustuvat ICNIRP 1998 määrittelemiin arvoihin.

Taulukossa 3 on esitetty perusrajoitukset sähkö- ja magneettikenttien aiheuttamalle virrantiheydelle (tehollisarvo) ja ominaisabsorptionopeudelle alle 10GHz:n taajuuksilla (ICNIRP 1998, 509). Taulukossa f on taajuus hertseinä (Hz).

Taulukko 3. Sähkö- ja magneettikenttien aiheuttaman virrantiheyden perusarvot (ICNIRP 1998,511)

	Virrantiheys (pää ja vartalo) (mA/m²)	Keskimääräinen SAR (W/kg)	Paikallinen SAR (pää ja vartalo) (W/kg)	Paikallinen SAR (raaja) (W/kg)
Taajuusalue Ammatillinen altistuminen				
- 1 Hz	40	-	-	-
1 Hz – 4 Hz	40/f	-	-	-
4 Hz – 1 kHz	10	-	-	-
1 kHz – 100 kHz	f/100	-	-	-
100 kHz – 10 MHz	f/100	0,4	10	20
10 MHz – 10 GHz	-	0,4	10	20
Taajuusalue Väestön altistuminen				
- 1 Hz	8	-	-	-
1 Hz – 4 Hz	8/f	-	-	-
4 Hz – 1 kHz	2	-	-	-
1 kHz – 100 kHz	f/500	-	-	-
100 kHz – 10 MHz	f/500	0,08	2	4
10 MHz – 10 GHz	-	0,08	2	4

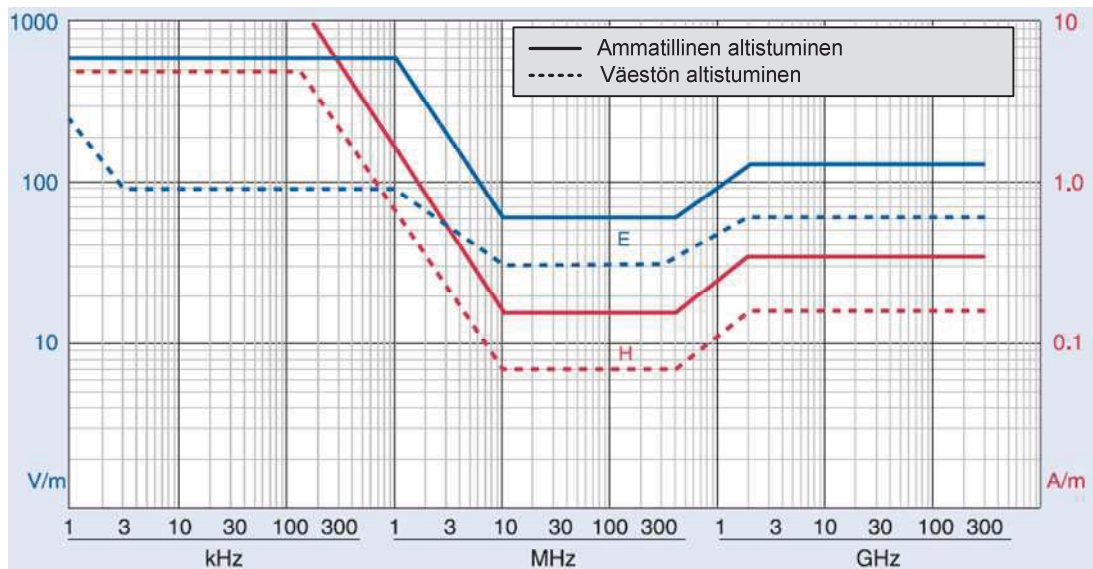
Virrantiheys tarkoittaa keskimääräistä virrantiheyden arvoa sellaisen ympyrän muotoisen pinta-alkion yli, jonka pinta-ala on 1 cm². Ominaisabsorptionopeudet tarkoittavat ominaisabsorptionopeuden keskiarvoa kuuden minuutin aikana määriteltynä 10 g kudossmassan keskiarvona. (Nyberg ym. 2006, 330.) Taajuuksilla 100 kHz–10 MHz rajoitetaan varmuuden vuoksi sekä virrantiheyttä että ominaisabsorptionopeutta. Käytännössä virrantiheysraja on rajoittavampi kuin SAR-raja (Nyberg ym. 2006, 329). Taajuuksilla 10 MHz–10 GHz pyritään ehkäisemään koko kehon ja sen ihonalaisten osien liiallista lämpenemistä. Vaatimuksena on, että radiotaajuuden säteilyn aiheuttama lämpeneminen on alle 1 °C. Työperäisessä altistumisessa koko kehon keskimääräinen SAR ei saisi ylittää arvoa 0,4 W/kg, eikä paikallinen SAR päässä ja vartalossa saisi ylittää arvoa 10 W/kg. Raajoille sallitaan suurempi arvo, kuitenkin korkeintaan 20 W/kg. Voidaan arvioida, että ammatillisten SAR-rajojen ylittäminen 5–10-kertaisesti voi aiheuttaa niin voimakasta lämpenemistä, että kudokset voivat vaurioitua ja elintoiminnot muuttua haitallisesti. (Nyberg ym. 2006, 329.)

10-300 GHz:n taajuusalueen perusrajoitukset esitetään tehottiheyksinä, joiden raja-arvot ovat 50 W/m² työntekijöille ja 10 W/m² väestölle. Kyseisen taajuusalueen perusrajoitukset ovat samat kuin taulukossa 4 esitetyt viitearvot. Taulukossa on esitetty viitearvot sähkö- ja magneettikentän voimakkuudelle (tehoarvo) ja sitä vastaavalle ekvivalenttiselle tehottiheydelle taajuusalueella 0

Hz – 300 GHz (ICNIRP 1998, 511). Taajuus f on ilmaistu taulukossa herzeinä. Kuviossa 17 on esitetty vastaavien sähkö- ja magneettikenttien viitearvot graafisesti.

Taulukko 4. Sähkö- ja magneettikenttien sekä ekvivalenttisen tehotiheyden viitearvot (ICNIRP 1998, 511)

	Sähkökentän voimakkuus (V/m)	Magneettikentän voimakkuus (A/m)	Magneettivuon tiheys (μT)	Ekvivalenttinen tehotiheys (W/m^2)
Taajuusalue Ammatillinen altistuminen				
– 1 Hz	–	$1,63 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^5$	–
1 – 8 Hz	20 000	$1,63 \cdot 10^5/f^2$	$2,0 \cdot 10^5/f^2$	–
8 – 25 Hz	20 000	$2 \cdot 10^4/f$	$2,5 \cdot 10^4/f$	–
50 Hz	10 000	400	500	–
0,025 – 0,82 kHz	$500 \cdot 10^3/f$	$2 \cdot 10^4/f$	$2,5 \cdot 10^4/f$	–
0,82 – 65 kHz	610	24,4	30,7	–
0,065 – 1 MHz	610	$1,6 \cdot 10^6/f$	$2,0 \cdot 10^6/f$	–
1 – 10 MHz	$610 \cdot 10^6/f$	$1,6 \cdot 10^6/f$	$2,0 \cdot 10^6/f$	–
10 – 400 MHz	61	0,16	0,2	10
400 – 2 000 MHz	$3 \cdot 10^{-3}f^{1/2}$	$8,0 \cdot 10^{-6}f^{1/2}$	$10,0 \cdot 10^{-6}f^{1/2}$	$2,5 \cdot 10^{-8}f$
2 – 300 GHz	137	0,36	0,45	50
Taajuusalue Väestön altistuminen				
	Sähkökentän voimakkuus (V/m)	Magneettikentän voimakkuus (A/m)	Magneettivuon tiheys (μT)	Ekvivalenttinen tehotiheys (W/m^2)
– 1 Hz	–	$3,2 \cdot 10^4$	$4,0 \cdot 10^4$	–
1 – 8 Hz	10 000	$3,2 \cdot 10^4/f^2$	$4,0 \cdot 10^4/f^2$	–
8 – 25 Hz	10 000	$4000/f$	$5000/f$	–
50 Hz	5 000	80	100	–
0,025 – 0,8 kHz	$250 \cdot 10^3/f$	$4000/f$	$5000/f$	–
0,8 – 3 kHz	$250 \cdot 10^3/f$	5	6,25	–
3 – 150 kHz	87	5	6,25	–
0,15 – 1 MHz	87	$0,73 \cdot 10^6/f$	$0,92 \cdot 10^6/f$	–
1 – 10 MHz	$87 \cdot 10^3/f^{1/2}$	$0,73 \cdot 10^6/f$	$0,92 \cdot 10^6/f$	–
10 – 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 – 2 000 MHz	$1,38 \cdot 10^{-3}f^{1/2}$	$3,7 \cdot 10^{-6}f^{1/2}$	$4,6 \cdot 10^{-6}f^{1/2}$	$0,5 \cdot 10^{-8}f$
2 – 300 GHz	61	0,16	0,20	10



KUVIO 17. Sähkö- ja magneettikenttien viitearvot (ICNIRP 1998, 512)

Käytännössä viitearvoja joudutaan soveltamaan sellaisissa tilanteissa, joissa kenttä jakaantuu epätasaisesti keholle tai vain pieni osa kehosta altistuu. Esimerkiksi kädessä pidettävien lähiradioiden tai matkapuhelinten kenttä kohdistuu merkittävästi vain pääalueelle. Jos altistumisarvio perustuu keskimääräiseen spatiaaliseen tehotiheyteen tai kentänvoimakkuuteen, on tärkeä varmistaa, etteivät paikallisen SAR:n tai virrantiheyden rajat ylitä (Nyberg ym. 2006, 334).

Taulukossa 5 on esitetty raajoihin indusoituvan virran viitearvot taajuuksilla 10–110 MHz. Kosketusvirran viitearvot on esitetty taulukossa 6. Molemmat taulukot perustuvat (ICNIRP 1998, 513) arvoihin.

Taulukko 5. Raajoihin indusoituvan virran viitearvot (ICNIRP 1998, 513)

Altistuminen	Virta (mA)
Ammatillinen	100
Väestö	45

Taulukko 6. Kosketusvirran viitearvot (ICNIRP 1998, 513).

Altistuminen	Taajuusalue	Taajuusalue
Ammatillinen	– 2,5 kHz	1,0
	2,5 kHz – 100 kHz	0,4 <i>f</i>
	100 kHz – 110 MHz	40
Väestö	– 2,5 kHz	0,5
	2,5 kHz – 100 kHz	0,2 <i>f</i>
	100 kHz – 110 MHz	20

5.2.3 Altistuksen raja-arvot ja toiminta-arvot

Euroopan Unioni on julkaissut direktiivin 2004/40/EY terveyttä ja turvallisuutta koskevista vähimmäisvaatimuksista työntekijöiden suojelemiseksi altistumiselta fyysikaalisista tekijöistä (sähkömagneettiset kentät) altistuville riskeille. Direktiiviä ei ole toistaiseksi implementoitu Suomessa kansalliseen lainsäädäntöön. Direktiivissä esitetään altistumisen raja-arvot ja toiminta-arvot, jotka perustuvat ICNIRP:in määrittelemiін arvoihin.

5.3 Terminologia

STM:n asetus 294/2002 sekä STM:n päätös 1474/1991 määrittelee altistumisen enimmäisarvot. Terminä enimmäisarvot vastaavat edellä esitettyjä viitearvoja. Direktiivi 2004/40/EU määrittelee altistumisen raja-arvon, joka terminä vastaa edellä esitettyä perusrajoitusta ja toiminta-arvot, joka terminä vastaa ICNIRPin 1998 määrittelyssä viitearvoa.

5.4 Muita raja-arvomäärittelyjä

Edellä esitettyjen ohjearvojen lisäksi STUK on julkaissut pulssitutkien säteilyturvallisuus ohjeen ST 9.2, jossa kuvataan muun muassa mikroaaltoaltistumisen rajoittaminen. Puolustusvoimissa on voimassa normi PVHSM SÄTEILY 001-PETEKNTARKOS RADIO JA TUTKALAITTEIDEN IONISOIMATTOMAN SÄTEILYN TARKASTUS JA VALVONTA, jossa määritellään [Normin kohta 4.2] että työntekijän enimmäisaltistuksen arvot määrittää STM:n päätös 1474/1991 ja ST-ohje 9.2. Väestön enimmäisaltistuksen arvot määrittää sosi-aali- ja terveysministeriön asetus 294/2002. [Normin kohdassa 4.3] määritel-

lään, että lasketaan kaksi eri turvaetäisyyttä. Väestön turvaetäisyys lasketaan asetuksen 294/2002 arvoilla. Työntekijöille turvaetäisyys lasketaan ST-ohjeen 9.2 tai EU-direktiivin 2004/40/EY antamilla arvoilla. Vertailulaskelmana voidaan laskea turvaetäisyys myös NATO Stanag 2345 arvoilla.

Raja-arvojen asettaminen on laaja ja jatkuva prosessi, jonka aikana pääkomitea ja pysyvät asiantuntijakomiteat käyvät läpi suuren määrän sähkömagneettisten kenttien vaikutuksia koskevia tieteellisiä julkaisuja. Niiden keskeisin sisältö tiivistetään ajoittain kirjallisuuskatsauksiksi, jotka julkaistaan yhteistyössä WHO:n kanssa.

6 SÄHKÖMAGNEETTISTEN KENTTIEN LASKENTA, MITTAUSTEKNIikka JA MALLINTAMINEN

Sähkömagneettiset säteilykentät ja tehotiheydet voidaan todentaa mittaamalla. Monissa tapauksissa voidaan säteilyä lähettävän laitteen (antennin) ympärille syntyvät kentänvoimakkuudet tai tehotiheydet arvioida laskennallisesti, kun tunnetaan säteilylähteen tekniset tiedot. Laskennallisen menetelmän käyttö on riittävä esimerkiksi tilanteessa, jossa tiedetään säteilylaitteen olevan niin pientehoinen, ettei se kykene aiheuttamaan todellisia terveyshaittoja tai riskejä. Jos sitä vastoin arvioidaan, että säteilylaite voi toimintaympäristössään aiheuttaa terveydellistä haittaa tai suoranaista vaaraa, on asia syytä varmistaa mittaamalla. Monimutkaisten kenttäteoriaan perustuvien laskentamallien ja simuloitien käyttö voi olla esimerkiksi asian havainnollistamisen kannalta perusteltua. Kyseisiin menetelmiin liittyy kuitenkin huomattava määrä epävarmuustekijöitä.

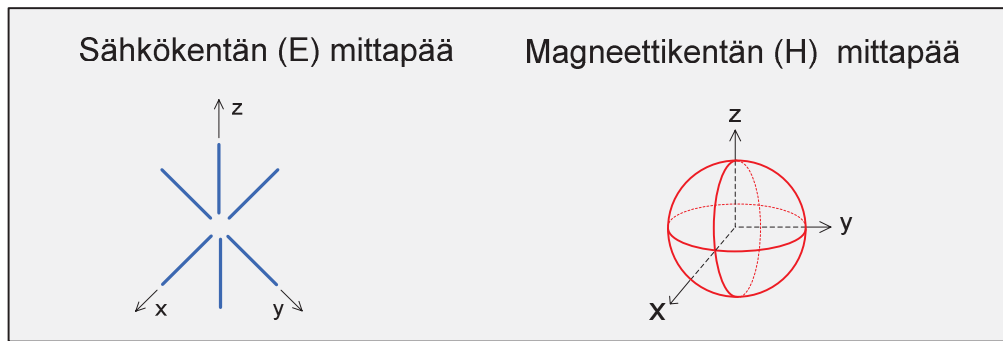
6.1 Altistusten arviointi mittaamalla

Haluttaessa tarkkaa tietoa altistumisesta pitää mitata taajuusalueesta riippuen joko virrantiheys tai SAR-arvo altistuvassa kehon osassa. Viimeksi mainittujen mittausten tekeminen on käytännössä kuitenkin hankala toteuttaa. Siksi suurin osa käytännön säteilyturvallisuusmittauksista tehdään vapaassa tilassa kehon ulkopuolella mittaamalla säteilylähteen lähettyviltä sähkö- ja magneettikentän voimakkuuksia.

Sähkö- ja magneettikenttien voimakkuuden määrittämiseen joudutaan käyttämään hyvinkin erilaisia mittaus- ja laskentamenetelmiä altistumistilanteesta riippuen. Tärkeä vaatimus on, että sähkö- ja magneettikenttää mitataan mahdollisimman pienikokoisella mittapäällä. Tällöin mittaus ei vaikuta liikaa mitattavaan kenttään. Sähkö- ja magneettikentän täydellinen määrittäminen mitaamalla olisi haastava tehtävä. Se edellyttäisi sekä sähkö- että magneettikentän osalta amplitudien ja vaiheiden samanaikaista mittauksia kolmessa ortogonaalisessa suunnassa, eli jokaisella taajuudella olisi määritettävä 12 mittausarvoa. Lisäksi altistumismittaukset tapahtuvat yleensä monimutkaisesti jakautuneessa lähikentässä (ks. kohta 3.2), jolloin määrittämiä on lisäksi tehtävä kymmenissä eri pisteissä. Kentän spektri ja amplitudi voivat myös vaihdella epäsäännöllisesti eri pisteissä. Lisäksi laajakaistaisessa kentässä voi olla tuhansia merkittäviä spektrikomponentteja. Siksi on välttämätöntä rajata mittausdataa altistumisen kannalta tärkeisiin suureisiin ja käyttää kuhunkin altistumistilanteeseen sopivaa mittalaitetta ja –menetelmiä seuraavassa esitettyjen alakohtien mukaisesti.

6.1.1 Mittapäät

Mittapää muodostuu kolmesta toisiinsa nähden kohtisuorasta antennielementistä, jotka mittaavat kentästä samanaikaisesti jokaisen kolmen ortogonaalisen kenttäkomponentin amplitudit, jotka lasketaan neliöllisesti yhteen (Nyberg ym. 2006, 457). Tällaisen isotrooppisen eli asennosta riippumattoman mittapään summasignaali kuvaa altistumisen kannalta riittävän hyvin kokonaiskenttää, vaikka komponenttien vaiheita ei otetakaan huomioon. Mittapäässä on eri antennit sähkökentille (E) ja magneettikentille, kuvion 18 mukaisesti. Sähkökentät mitataan yleensä dipoleilla ja magneettikentät niin sanotuilla silmukka-antenneilla eli loopeilla. Mallista riippuen mittapäähän voi olla sijoitettuna ilmaisimet ja esivahvistimet.



KUVIO 18. Isotrooppiset sähkö- ja magneettikenttien antennien pariaatekuvat

6.1.2 Mittaukset yli 300 MHz:n taajuuksilla

Yli 300 MHz:n taajuuksilla kokokehon altistumistilanne on niin lähellä kaukokenttä-olosuhteita (ks. kohta 3.2.4), että altistumisen arviointiin riittää vain sähkökentän mittaaminen. Tämä on myös helpompaa kuin magneettikentän mittaaminen kyseisillä taajuuksilla. Kaukokentässä sähkö- ja magneettikentän suhde on vakio 377Ω (vapaan tilan aaltoimpedanssi), jolloin sähkökentästä voidaan johtaa sekä magneettikentän voimakkuus että kentän tehottiheys. (Nyberg ym. 2006, 457.)

6.1.3 Kapeakaistainen kenttä

Radiotaajuusalueella käytettävät laajakaistaiset mittarit näyttävät yleensä kentän voimakkuuden tehollisarvon tai vastaavan ekvivalenttisen tehottiheyden. Kentän taajuudet ovat useimmiten niin lähellä toisiaan, että mittaustulosta voidaan verrata suoraan tämän taajuusalueen viitearvoihin. (Nyberg ym. 2006, 457.)

6.1.4 Monitaajuiset kentät

Mittausdataa käsittelemällä saadaan määriteltyä sähkö- ja magneettikentän voimakkuuden tehollisarvo ja hetkellinen huippuarvo kullekin eri taajuudelle. Koska altistumisrajat (ks. kohta 5) muuttuvat taajuuden funktiona, kokonaistulosta ei voi suoraan verrata mihinkään viitearvoon. Tällöin täytyy laskea altistumissuhde, jossa kullakin taajuudella määritetään mittaustuloksen ja viitearvojen osamäärä ja lasketaan ne yhteen kohdan 4.4.8 mukaisesti.

6.1.5 Pulssimainen mikroaaltosäteily

Mikroaaltolaitteista, kuten mikroaaltouunista tai pulssitutkan aaltoputkesta vuotavan mikroaaltosäteilyn hetkellinen tehotiheys voi olla satojatuhansia kertoja suurempi kuin keskimääräinen tehotiheys, ja siten altistumisen arviointia varten on usein mitattava sekä hetkellinen pulssitehotiheys että keskimääräinen tehotiheys. Signaalin pulssimaisuus on otettava huomioon valittaessa mittauksiin sopiva mittapää (Nyberg ym. 2006, 458).

6.1.5.1 Vuotosäteily

Vuotosäteilyn tehotiheys pienenee nopeasti etäisyyden funktiona aaltoputkesta tai laitteesta mitattuna. Vuotosäteily on mitattava hyvin lähellä kohdetta, jolloin on käytettävä erityisiä vuotosäteilyn mittauksiin tarkoitettuja mittareita (Nyberg ym. 2006, 458). Tutkien vuotosäteilymittauksia on käsitelty kohdassa 10.3.1.1.

6.1.5.2 Ilmaisu

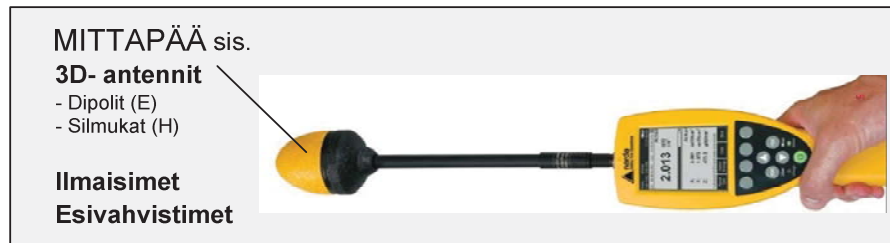
Ilmaisimina voivat olla esim. termoparielementit. Diodi-ilmaisimin varustettuja mittapäitä ei tule käyttää pulssimuotoisen säteilyn mittauksiin (STUK ST 9.2 ohje 2003, 6).

6.1.6 Kehon sisäisten virtojen mittaaminen

Ulkoisen sähkö- ja magneettikentän mittaukset riittävät useimmiten altistumisen määrittämiseen. Kuitenkin on erikoisia altistumistilanteita, joissa säteilylähteen läheisyyden vuoksi kehoon kytkeytyy kapasitiivisesti RF-virtoja tai laitetta koskettaessa purkautuu kosketusvirtoja. Tällaisia altistumismittauksia varten on kehitetty erityismittalaitteita. Radiotaajuisten virtojen mittalaitteet voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin: levytyyppiseen jalkavirtamittariin (levymittari), virtamuuntajamittariin sekä kosketusvirtamittariin. Kehon sisäisten virtojen mittaaminen on selkeästi monimutkaisempaa kuin ulkoisten kenttien mittaaminen (Nyberg ym. 2006, 479).

6.1.7 Mittaukset käytännössä

Käytännön kenttäolosuhteissa sähkö- ja magneettikenttien mittaukset tehdään kaupallisilla, esimerkiksi kuvion 19 mukaisilla erikoismittareilla, jossa käytetään kyseiseen taajuuteen ja mittausalueeseen soveltuvia mittapäitä.



KUVIO 19. Sähkö- ja magneettikenttien mittalaite (Narda NBM-550)

Lisäksi markkinoilla on henkilökohtaista altistumista keräviä laitteita, niin sanottuja dataloggereita (ks. kuvio 20), joissa voi olla erilaisia lisätoiminnallisuksia kuten mitta-asteikko, raja-arvon ylityksen ilmaisu ja hälytintoiminto. Loggerin keräämät tiedot voidaan siirtää PC:lle analysoitavaksi. Laitteen valinnassa tulee kiinnittää huomioita siihen, että se soveltuu tarkoitetulle taajuusalueelle ja aaltomuudolle.



KUVIO 20. Henkilökohtainen hälytin ja altistumismittari (Narda ESM-30, XT)

Kuviossa 21 on meneillään erään johtamisajoneuvon radiojärjestelmän säteilyturvallisuusmittaukset, jossa mitataan sähkö- ja magneettikenttien ekvivalenttiset tehotiheydet eri taajuuksilla ja eri etäisyyksistä antennista.



KUVIO 21. Radiojärjestelmän säteilyturvallisuuden mittaustapahtuma

6.1.7.1 Säteilyturvallisuusmittausjärjestelyt puolustusvoimissa

Puolustusvoimissa säteilyturvallisuuteen liittyviä mittauspalveluita tuottavat LSHR:n järjestelmäkeskus ja Millog oy. Lisäsi esimerkiksi tutkien säteilyturvallisuusmittauksissa on käytetty STUK:n tarjoamia mittauspalveluja.

6.1.8 SAR mittaukset

Koska SAR-mittaukset eivät ole mahdollisia elävän ihmisen sisältä, mittaukset on tehtävä ihmisen kehoa mahdollisimman hyvin jäljittelevän fantomin sisältä. Fantomien tarkoituksena on jäljitellä ihmiskehon anatomisia ja sähköisiä ominaisuuksia niin hyvin kuin mahdollista. Altistumiskohteen mukaan tarvitaan joko osakeho- tai kokokehofantomi. (Malmberg 2009.) SAR mittaukset tehdään käytännössä erikoismittalaitteiden avulla laboratorio-olosuhteissa ks. kuvio 10. Siitä on saatavana lisätietoa edellä esitetystä viitteestä.

6.1.9 Mittausten virhetarkastelu

Sähkö- ja magneettikentän mittausten epävarmuus on luokkaa ± 3 dB, josta kalibroinnin epävarmuus ± 1 dB. Kehoon indusoituvan RF-virran mittausten epävarmuus on ± 2 dB, josta kalibroinnin epävarmuus ± 1 dB. SAR-mittausten epävarmuus on pienempi kuin $\pm 30\%$. (Nyberg ym. 2006, 496.) Lisäksi mittaustulosten käytettävyyttä voi haitata sähkömagneettisiin kenttiin vaikuttavat muuttujat, joita ei kyetä ottamaan huomioon itse mittaustilanteessa. Kuvitel- laanpa esimerkiksi kuvion 21 mukaista tilannetta, jossa katolle antennin läheisyyteen laitetaan esimerkiksi häivetekninen naamioverkko, joka sisältää met- lialia tai mitä tahansa johtavaa materiaalia. Riippuen muun muassa katolle lait- tavan materiaalin johtavuudesta, koosta ja muodosta, antennin säteilykentissä tapahtuu niiden mukaan suurempia tai pienempiä muutoksia. Säteilyturvalli- suusmittaukset voidaan mieltää tässä mielessä vähän samantapaisiksi kuin vuosittain tehtävät autojen pakokaasupäästömittaukset. Ne kertovat kohteesta mittaushetkellä olevan tilanteen tietyllä tarkkuudella, mutta mikä on tilanne sen jälkeen, ei täsmällisesti tiedetä. Radiotaajuusalueen säteilyturvallisuusmittauk- sissa ei näin ollen ole mitään syytä ryhtyä hifistelyyn, vaan kyseessä on aina enemmän tai vähemmän suuruusluokan tavoittelu.

6.2 Altistusten arvioiminen laskennallisesti

Altistumista kuvaavien sähkömagneettisten säteilykenttien karkea arviointi voidaan tehdä laskennallisesti kohdassa 3 esitettyjä yhtälöitä käyttäen, kun tunnetaan riittävä määrä säteilylähteen teknisiä tietoja. Tarvittavia tietoja ovat lähetysteho, antennikaapeloinnin vaimennukset, antennin rakenne, sen hyö- tysuhde ja vahvistus sekä lähetteen aaltomuoto tai modulaatio. Perusongelma tällaisissa yksinkertaistetuissa laskelmissa on niiden suuri virhemarginaali, joka johtuu osittain samoista tekijöistä, jotka edellä kuvattiin heikentävän mit- taustulosten käytettävyyttä. Antennien läheisyydessä olevat esteet ja metalli- rakenteet vaikuttavat kenttiin käytännössä. Sen lisäksi laskennallisesti voi olla vaikea arvioida säteilyyn vaikuttavia muita tekijöitä, joita ovat maan ja maata- son vaikutus, antennin sovitus taajuusalueella sekä antennin säteilykuvion taajuusriippuvuus.

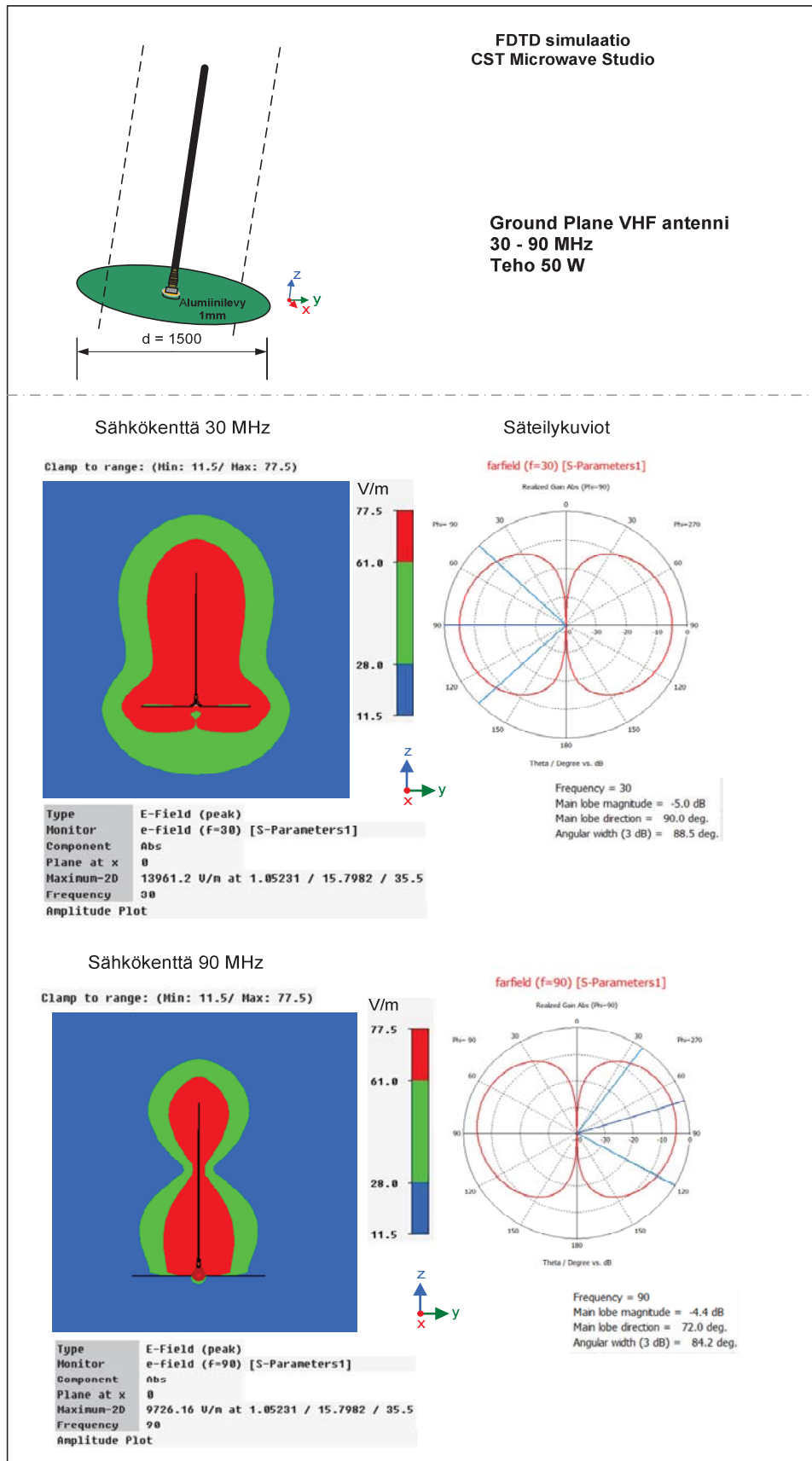
Laskennalliset menetelmät ovat kuitenkin varsin käyttökelpoisia esimerkiksi säteilylaitteiden turvaetäisyyksien arvioinneissa ja määrittelyissä. Yleensä laskennallisesti saavutetaan riittävän luotettavia tuloksia. Laskelmia tehtäessä havaitaan muun muassa kenttien voimakkuuksiin vaikuttavien tekijöiden merkitykset sekä säteilyn nopea vaimeneminen etäisyyden kasvaessa. Turvaetäisyyttä määriteltäessä voidaan tarvittaessa käyttää varmuuskerrointa, jolla varmistetaan, etteivät enimmäisarvot ylitä missään tapauksessa. Tarvittaessa laskennalliset tulokset voidaan varmistaa mittaamalla pistokoeluonteisesti. Yleisesti voitaneen todeta, että jos säteilylähteen ominaisuudet tiedetään, laskennallisesti arvioidut altistumissuureet tai määritellyt turvaetäisyydet ovat pääsääntöisesti lähes yhtä käyttökelpoisia kuin mittausten avulla saadut tulokset. Esimerkiksi kohdassa 10 toteutettavat turvaetäisyyksien arvioinnit perustuvat hyvin pitkälle laskennallisiin menetelmiin.

6.3 Altistusten arvioiminen numeerisen mallintamisen menetelmillä

Laskennallisia menetelmiä edistyneemmät menetelmät perustuvat numeeriseen mallintamiseen perustuviin simulaatioihin. Esimerkiksi radiotaajuusalueen biosähkömagneettisiin määrittelyihin käytetään enenevästi aika-alueen differenssimenetelmää FDTD. Siinä kentät ratkaistaan suoralla laskulla muuntamalla Maxwellin-yhtälöt (ks. kohta 3.2) differenssimuotoon sekä ajan että paikan suhteen. Vaadittavien aritmeettisten operaatioiden määrä on kuitenkin hyvin suuri, joten kyseinen menetelmä edellyttää käytännössä erityisten mallinnusohjelmistojen käyttöä. FDTD-menetelmä sopii parhaiten taajuusalueelle 1 MHz–10 GHz. (Nyberg ym. 2006, 55). FDTD-ohjelmistot ovat tavallisesti kaupallisia tuotteita, joiden käyttö edellyttää hyvää sähkömagneettisten ilmiöiden asiantuntumusta ja syvällistä perehtyneisyyttä ohjelmistoon. Nykyisissä FDTD-perusteisissa ohjelmistoissa on tavallisesti graafinen käyttöliittymä, joka helpottaa ohjelman käyttöä ja mahdollistaa mallinnettavan kohteen havainnollistamisen 3D-kuvana. 3D-mallinnuksen avulla saadaan laskettua sähkömagneettiset kentät vyöhykkeittäin eri etäisyyksillä. Lisäksi mallinnuksen avulla voidaan simuloida eri tilanteita, kun parametrien arvoja muutetaan. Vaikka mallinnettava kohde, esimerkiksi antenni, sen rakenne ja siihen liittyvä teoria tunnettaisiin melko hyvinkin, on mallin kehittäminen usein kuitenkin työlästä. Mallinnuksen avulla saatavat tulokset ovat usein nekin vain suuntaa antavia.

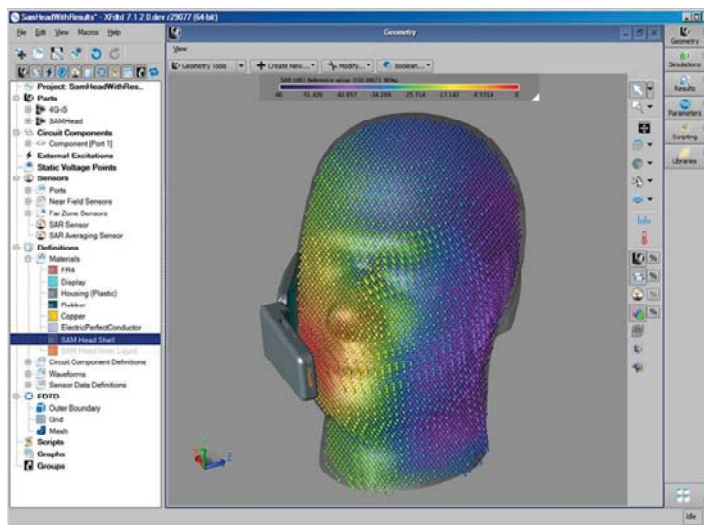
Mallin toimivuuden todentaminen vaatii tavallisesti varmennusmittauksia. Jos käytössä on kokemusperästä tietoa ja ymmärrystä, voidaan monissa tapauksissa laskentamallin olettaa antavan riittävän hyvän kuvan todellisista sähkö- ja magneettikentistä. FDTD-menetelmiä käytetään lisäksi muun muassa EMC-suunnittelussa.

Kuviossa 22 on esitetty laajakaistaisen VHF-alueen maatasoantennin sähkökenttämallinnus 30:n ja 90 MHz:n taajuuksilla. Mallinnuksen avulla saadaan näkemystä ja ymmärrystä sähkökenttien todellisista vaihteluista, maataso- ja tehon vaikutuksesta sekä kenttien nopeasta vaimenemisesta etäisyyden kasvaessa. Kenttien vaihtelu ja tietynlainen epähomogeenisyys voidaan todeta myös mittaamalla, mikä puolestaan vahvistaa teorian ja käytännön tuomaa kokonaiskäsitystä kentistä. Monessa suhteessa kyseinen mallinnus oletettavasti vastaa ominaispiirteiltään käytännössä tehtyjä säteilyturvallisuusmittauksia. Mallinnuksen avulla voidaan myös arvioida ja määritellä turvaetäisyyksiä yksinkertaistettuja laskennallisia menetelmiä vakuuttavammin ja havainnollisemmin. Kuviossa 22 nähdään muun muassa se, että oleskeltaessa vihreällä vyöhykkeellä tai kauempana antennista, oltaisiin simulaation perusteella ammatillisen altistuksen enimmäisarvon alapuolella (61 V/m), jolloin turvaetäisyys olisi luokkaa 50 cm - 1 m. Vastaavasti sinisellä on merkitty alue, joka kuvaa väestön altistumisen enimmäisarvon alapuolella (28 V/m) olevaa aluetta. Simuloinneilla voidaan havainnollistaa myös sellaisia ilmiöitä, joita myös mitaamalla havaitaan tai ei havaita, esimerkiksi mitattaessa kenttien voimakkuuksienvaihteluja antennin eri kohdista. Jos esimerkiksi mitataan sähkökenttää 90 MHz:n taajuudella antennin keskikohdasta olevasta minimistä, saataisiin kuvion 22 mukaan arvoiksi pienempiä kenttiä kuin antennin tyvestä tai päästä mitattuna. Kuviossa 22 esitetystä esimerkistä on lisäksi mallinnettu antennin säteilykuviot, joista saadaan selvitettyä myös antennin todellinen vahvistus kyseisellä taajuudella.



KUVIO 22. VHF-alueen piiska-antennista tehty FDTD- simulaatio (© Cojot Oy)

Kuviossa 23 on näkymä toisesta kaupallisesta FDTD-ohjelmasta Xdtd, jossa esitetään matkapuhelimen SAR-mallinnusta. Mallinnus osoittaa, että matkapuhelimen säteilyteho absorboituu pään eri kohdissa eri intensiteetillä, riippuen muun muassa puhelimen ja tarkastelukohdan suhteellisesta etäisyydestä. Tämä puolestaan tarkoittaa, että paikallisissa SAR-arvoissa pään eri alueilla on suhteellisesti suuriakin eroja. Kohdassa 3.3.3 esitetty keskimääräinen koko kehon ominaisabsorptionopeus SAR_{wba} ei näin ollen ole käyttökelpoinen tarkasteltaessa pään lähellä olevan laitteen säteilyturvallisuutta. FDTD-ohjelmistot eivät ole joka pojan työkaluja. Ohjelmistojen arvon hinnat liikkuvat kymmenissä tuhansissa euroissa.



KUVIO 23. XFtdt-mallinnusohjelman näkymä

6.4 Yhteenveto

Sähkömagneettisten säteilykenttien tarkka määrittely voi olla hankalaa. Turvaetäisyyksiä määriteltäessä riittävä tarkkuus saadaan usein laskennallisesti. Jos säteilylähde arvioidaan niin voimakkaaksi (esimerkiksi pulssitutka), että sen aiheuttaman säteily voi aiheuttaa terveysvaikutuksia, on tehtävä säteilyturvallisuusmittaukset, joiden pohjalta määritellään turvaetäisyydet.

Säteilyturvallisuuden arvioijan kannalta saatujen mittaustulosten, teoreettisten laskelmien ja simulointien keskinäisvertailu on pedagogisesti erittäin mielekäs. Pohtimalla ja yhdistämällä eri menetelmillä saatuja tuloksia toisiinsa arvioija oppii ymmärtämään sähkömagneettisia kenttiä ilmiöinä käytännössä. Kokeusten pohjalta arvioija oppii myös oivaltamaan, mitkä tekijät vaikuttavat kent-

tiin ja miksi ja voi siten lähtötietojen ja kokemustensa yhdistämänä tehdä karkeita arviointeja jopa ilman mittauksia ja laskelmia. Tämä edellyttää arvioijalta sekä hyvää radiotekniikan tuntemusta että sähkömagneettisten ilmiöiden fyysikan hallintaa.

7 LAINSÄÄDÄNTÖ, VALVONTA JA MÄÄRÄYKSET

Kun kyse on turvallisuudesta, esimerkiksi säteilyturvallisuudesta, lähtökohtaisesti puolustusvoimien työntekijöitä koskee työturvallisuuslaki 738/2002. On kuitenkin huomioitava työturvallisuuslain 6§:ssä esitetty soveltamisalan raja-
us, joka koskee puolustusvoimia ja rajavartiolaitosta.

Tätä lakia ei sovelleta puolustusvoimien tai rajavartiolaitoksen palveluksessa olevan henkilön, asevelvollisen tai naisten vapaaehtoista asepalvelusta taikka vapaaehtoista maanpuolustuskoulutusta suorittavan henkilön puolustusvoimien tai rajavartiolaitoksen määräyksestä tai palveluksessa suorittamaan palvelusohjelmaan merkittyyn tai muuhun erikseen määrättyyn koulutussuunnitelmien mukaiseen sellaiseen sotilaalliseen harjoitukseen ja koulutukseen sekä siihen välittömästi liittyvään työhön, jonka pääasiallinen tarkoitus on sotilaallisessa toiminnassa tarvittavien erityisten valmiuksien harjoittaminen.

Varusmiesten yleisestä palvelusturvallisuudesta huolehditaan siten, että palvelus voidaan suorittaa kaikissa tilanteissa terveellisessä ja turvallisessa ympäristössä.

Varusmiesten palveluksenaikainen turvallisuus on osa puolustusvoimien turvallisuustoimintaa, jossa tavoitteena on aina ehkäistä vahingot ennakolta. Puolustusvoimissa noudatetaan yleisiä työturvallisuussäädöksiä sekä sotilaskoulutuksessa lisäksi puolustusvoimien omia turvallisuusmääräyksiä. (Puolustusvoimat, 2011.)

Suomessa ionisoimaton säteily on liitetty säteilylakiin 592/199, jonka 11 luku käsittelee erityisesti ionisoimatonta säteilyä. Lain 43§:n mukaan ionisoimattoman säteilyn enimmäisarvot vahvistaa sosiaali- ja terveysministeriö. Säteilylain perusteella on annettu asetus 1306/1993 ionisoimattoman säteilyn valvonnas-

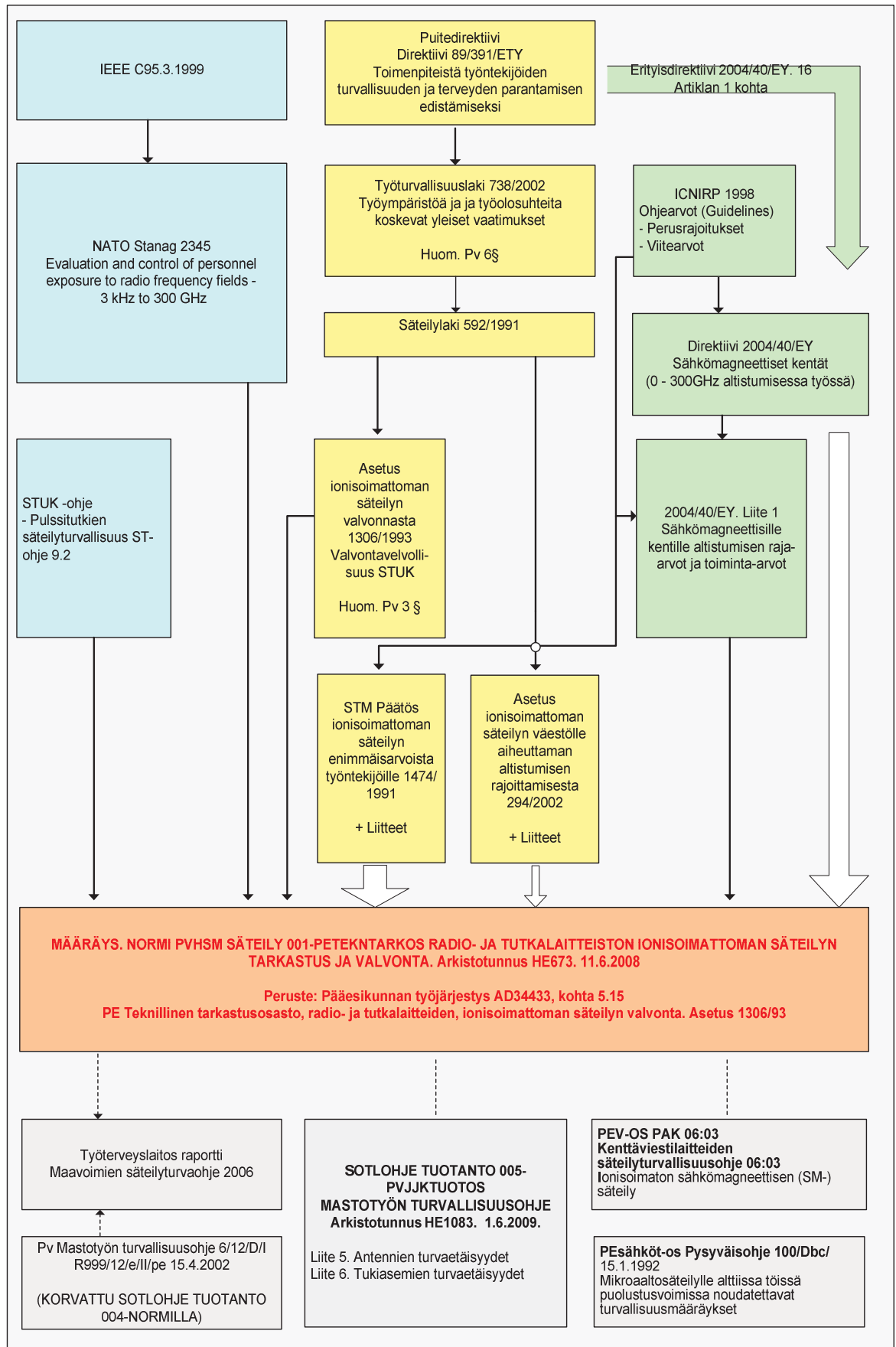
ta. Kyseisen asetuksen mukaan Säteilyturvakeskus toimii ionisoimattoman säteilyn valvonnassa asiantuntujaviranomaisena sekä valvoo erityisesti muutamia nimeltä mainittuja säteilylaitteita (suurtehoiset radio- ja tutkalaitteet, suurtehoiset show-laserit, kiinteät kylpyläsolariumit). Asetuksessa 1306/1993 veloitetaan puolustusvoimat järjestämään käytössä olevien radio- ja tutkalaitteiden tarkastukset ja valvonta. Tarkastukset ja valvonta tulee toteuttaa Säteilyturvakeskuksen hyväksymiä menetelmiä ja turvallisuusohjeita noudattaen siten, että laitteiden käyttö täyttää säteilylain mukaiset turvallisuusvaatimukset.

Mainittakoon, että sähkömagneettisia kenttiä koskevan direktiivin 2004/40/EY, toimeenpanoa on lykätty jo pariin otteeseen. Viimeisen tiedon mukaan komissio on päättänyt tehdä direktiiviä koskevan vaikutusanalyysin, joka jäi tekemättä direktiivin valmisteluvaiheessa (Teknologiatoiminta). Direktiivi koskee työntekijöiden altistumista sähkömagneettisille kentille.

7.1 Säteilyturvallisuus puolustusvoimissa, ionisoimaton säteily

Pääesikunnan Teknillinen Tarkastusosasto valvoo ionisoimatonta säteilyä puolustusvoimissa radio- ja tutkalaitteiden osalta asetuksen 1306/93 ja PVHSM SÄTEILY 001- PETEKNTARKOS "Radio- ja tutkalaitteiden ionisoimattoman säteilyn tarkastus ja valvonta" mukaisesti. Jatkossa kyseisestä normista käytetään lyhennettä PVHSM Säteily 001. Normi on määräys ja se on luokiteltu pysyväisasiakirjaksi (PAK). Normi katselmoidaan kohdassa 8.

Kuviossa 24 on esitetty keskeiset elementit mistä normeista, standardeista puolustusvoimien säteilyn tarkastus ja valvonta- normi koostuu. Kuviossa on myös esitetty kyseisten säädösten ja määräysten rakenteelliset yhteydet. Kuviossa esiintyvä maavoimien säteilyturvaohje (Alanko & Pääkkönen 2006) on Työterveyslaitoksen laatima yleisopas, joka on tarkoitettu maavoimien säteilyn käyttöön (ml. ionisoiva säteily) liittyvien terveysriskien arviointiin ja hallintaan. Mastotyön turvallisuusohjeessa on esitetty muun muassa PVJJK:n vastuulle kuuluvien radiolinkkiantennien turvaetäisyyksiä. Kuvion alaosiossa on esitettynä myös muita asiaan liittyviä, toistaiseksi voimassa olevia puolustusvoimien pysyväisasiakirjoja, joihin normissa ei ole kuitenkaan ole viitattu.



KUVIO 24. Puolustusvoimien ionisoimattoman säteilyn käyttöä koskevat normit, säädökset ja pysyväsasiakirjat sekä niiden riippuvuudet

8 PVHSM SÄTEILY 001-PETEKNTARKOS RADIO- JA TUTKALAITTEIDEN IONISOIMATTOMAN SÄTEILYN TARKASTUS JA VALVONTA

Puolustusvoimien radio- ja tutkalaitteiden ionisoimattoman säteilyn tarkastus ja valvonta perustuu kohdassa 7 esiteltyyn määräysnormiin PVHSM Säteily 001. Tässä kappaleessa katselmoidaan kyseinen normi erityisesti riskienarvioinnin näkökulmasta. Katselmoinnin tarkoitus on tuoda esille mahdollisia korjausehdotuksia ja ajatuksia pohdittavaksi, normin tulevia versioita silmällä pitäen. Huomautukset ja kommentoinnit on merkitty *kursivoituna*. Sekaannuksen välttämiseksi katselmoinnissa esitetään hakasuluissa varteenotettava [normin kohta] jota kulloinkin tarkoitetaan.

8.1 PVHSM SÄTEILY 001. Yleistä [Normin kohta 1]

Kyseisen PAK-asiakirjan on hyväksynyt STUK. Hyväksymisasiakirjaa säilytetään PETEKNTARKOS:n arkistossa. Hyväksyntä on uusittava säädösten muuttuessa tai muun erityisen syyn vaatiessa. Hyväksyntä on uusittava viiden vuoden välein.

Kommentointi.

Normi on julkaistu 11.6.2008, joten se on seuraavan kerran hyväksyttävä viimeistään 11.6.2013. Direktiivin 2004/40EY mahdollinen kansallinen ratifiointi aiheuttaisi todennäköisesti normin uudelleen arvioimisen.

8.2 PVHSM SÄTEILY 001.Perusteet [Normin kohta 1.3]

Normi perustuu seuraaviin säädöksiin ja ohjeisiin:

- Säteilylaki 592/1991 määrittelee, miten estetään ja rajoitetaan säteilystä aiheutuvia terveydellisiä ja muita haittavaikutuksia. Asetuksella voidaan säätää poikkeuksia tämän lain soveltamisesta puolustusvoimissa ja rajavartiolaitoksessa silloin, kun maanpuolustuksen tai maan rajojen valvonnan kannalta tärkeät syyt sitä vaativat
- Asetus ionisoimattoman säteilyn valvonnasta 1306/1993 velvoittaa puolustusvoimat järjestämään käytössään olevien radio- ja tutkalaitteiden valvonnan. Puolustusvoimat vastaa käytössään olevien radio- ja tutkalaitteiden tarkastuksen ja valvonnan järjestämisestä Tarkastukset ja valvonta tulee toteuttaa Säteilyturvakeskuksen hyväksymiä menetelmiä ja turvallisuusohjeita noudattaen siten, että laitteiden käyttö täyttää säteilylain mukaiset turvallisuusvaatimukset

- Asetus ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistumisen rajoittamisesta 294/2002 vahvistaa enimmäisarvot ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistumisen rajoittamiseksi
- Päätös ionisoimattoman säteilyn altistuksen enimmäisarvoista 1474/1991 vahvistaa enimmäisarvot ionisoimattoman säteilyn työntekijöille aiheuttaman altistuksen rajoittamiseksi
- Säteilyturvakeskuksen ST-ohje 9.2 / 2.9.2003 ”Pulssitutkien säteilyturvallisuus” antaa tarkemmat ohjeet tutkien mikroaaltosäteilyn aiheuttaman altistumisen rajoittamiseksi
- EU-direktiivi 2004/40/EY määrittelee vähimmäisvaatimukset työntekijöiden suojelemiseksi heidän terveytensä ja turvallisuuteensa kohdistuvilta riskeiltä, jotka aiheutuvat tai saattavat aiheutua sähkömagneettisille kentille altistumiselle työssä.
- Työturvallisuuslaki 738/2002 ja sen nojalla annetut/annettavat turvallisuusmääräykset määrittelevät työympäristöä ja työolosuhteita koskevat yleiset vaatimukset
- NATO Stanag 2345 määrittelee miten suojataan NATO:n operaatioihin osallistuvaa henkilöstöä altistumasta terveyttä vaarantaville radiotaajuisille kentille.

Kommentointi.

Normi pohjautuu laajalti nykyiseen kansalliseen lainsäädäntöön, jossa perusteena on työturvallisuuslaki 738/2002. Ionisoimattoman säteilyturvallisuuden osalta viitataan säteilylakiin ja sen tarkentaviin STM:n määräämiin asetuksiin ja päätöksiin. Lisäksi normissa viitataan EU-direktiiviin 2004/40/EY (monia viittauksia), STUK ST-ohjeeseen 9.2 (kaksi viittausta) sekä NATO Stanagiin 2345 (kaksi viittausta).

Työturvallisuuslaissa (738/2002) 1 luku 6§ on puolustusvoimia koskeva soveltamisalan rajoitus.

Tätä lakia ei sovelleta puolustusvoimien tai rajavartiolaitoksen palveluksessa olevan henkilön, asevelvollisen tai naisten vapaaehtoista asepalvelusta suorittavan henkilön puolustusvoimien tai rajavartiolaitoksen määräyksestä tai palveluksessa suorittamaan palvelusohjelmaan merkittyyn tai muuhun erikseen määrättyyn koulutussuunnitelmien mukaiseen sellaiseen sotilaalliseen harjoitukseen ja koulutukseen sekä siihen välittömästi liittyvään työhön,

jonka pääasiallinen tarkoitus on sotilaallisessa toiminnassa tarvittavien erityisten valmiuksien harjoittaminen.

Säteilylaissa (27.3.1991/592) 1 Luku 4 §. Soveltaminen puolustusvoimissa ja rajavartiolaitoksessa.

Asetuksella voidaan säätää poikkeuksia tämän lain soveltamisesta puolustusvoimissa ja rajavartiolaitoksessa silloin, kun maanpuolustuksen tai maan rajojen valvonnan kannalta tärkeät syyt sitä vaativat.

Asetus ionisoimattoman säteilyn valvonnasta (1306/1993) 4 §

Puolustusvoimat vastaa käytössään olevien radio- ja tutkalaitteiden tarkastuksen ja valvonnan järjestämisestä. Tarkastukset ja valvonta tulee toteuttaa Säteilyturvakeskuksen hyväksymiä menetelmiä ja turvallisuusohjeita noudattaen siten, että laitteiden käyttö täyttää säteilylain (592/91) mukaiset turvallisuusvaatimukset.

Direktiivi 2004/40 EY

Edellä mainittua direktiiviä 2004/40/EU ei ole toistaiseksi (3/2011) implementoitu Suomessa lainsäädäntöön, mutta PVHSM Säteily 001-normissa on viitattu kyseiseen normiin monissa kohdissa. Joten ne normin kohdat, joissa kyseiseen direktiiviin on viitattu, ovat varteenotettavia (Niittylä 2010).

Raja-arvot ja turvaetäisyydet [normin kohta 4.2 ja 4.3]

Työntekijän enimmäisaltistuksen arvot määrää päätös (1474/1991) ja STUK ST-ohje 9.2. Väestön enimmäisaltistuksen arvot määrittää asetus (294/2002).

Turvaetäisyyden laskenta, väestön turvaetäisyys lasketaan asetuksen (294/2002) arvoilla. Työntekijöille turvaetäisyys lasketaan STUK ST-ohjeen 9.2 tai EU-direktiivin 2004/40/EY antamilla arvoilla.

Kommentointi.

Kyseinen EU-direktiivi antaa perusteita laskennalle (Taulukko 1 ja 2 huomautukset) sekä määrittelee altistumisen raja-arvot ja toiminta-arvot. ST 9.2 ohjeessa on esimerkkejä siitä miten tutkan turvaetäisyyksiä lasketaan. Siinä

esitetään pulssimuotoisen mikroaaltosäteilyn keskimääräiset tehotiheyden enimmäisarvot ammatilliselle ja väestön altistumiselle. Erikoista sinänsä, että työntekijän altistumisrajat määrää päätös (1474/1991), mutta niiden turvaetäisyydet lasketaan EU-direktiivin arvoilla. Käytännössä arvoissa ei ole suurta eroa.

NATO Stanag 2345, 2003

Kohta (AIM) 1. mukaisesti Stanag 2345 tarkoituksena on suojata NATO:n operaatioihin osallistuvaa henkilöstöä altistumasta radiotaajuisille kentillä, jotka voivat olla terveyttä vaarantavia. Kohdan 2 (AIM) mukaisesti se ei käsittele vaikutuksia kuten sähkömagneettinen interferenssi (EMI) tai kata riskejä, jotka liittyvät sähköisesti räjäytettäviin laitteisiin. Stanag 2345 kattaa taajuusalueen 3 kHz-300 GHz.

PVHSM SÄTEILY 001- normissa on kaksi viittausta kyseiseen Stanagiin. [Kohdassa 4.3] Turvaetäisyyden laskenta, jossa mainitaan, että vertailulaskelmana voidaan laskea turvaetäisyydet myös NATO Stanag 2345 arvoilla. Kyseisen Stanagin mittausohjeet perustuvat IEEE:n standardiin C95 (Annex H). Saamieni tietojen mukaan (Siren) ainakaan maavoimissa ei ole turvaetäisyyksiä toistaiseksi laskettu kyseisillä NATO-arvoilla, joten tässäkin työssä kyseinen Stanag ei ole riskiarviointien perusteena.

Lisäksi Normin PVHSM Säteily 001 [kohdassa 6.2] viitataan Stanagin fyysiseen tarkastuslomakkeeseen, jota voidaan käyttää apuna säteilyonnettomuuden sattuessa. Lomake on kyseisen normin liitteenä 1.

Yleisesti ottaen Stanag 2345 on monessa suhteessa ohjeena hyvinkin kattava. Se määrittelee muun muassa valvontatoimenpiteet, varoitusmerkinnät, koulutuksen, vaarojen arvioinnin sekä enimmäisaltistuksen tarkasti eri kehon osille ja se määrittelee toimenpiteet yliannostuksessa ja toiminnan säteilyonnettomuustapauksessa. Stanag 2345 kohdan 2 (AIM) mukaisesti ei käsittele vaikutuksia kuten sähkömagneettinen interferenssi, kun sitä vastoin PVHSM Säteily 001 [normissa kohta 4.4] ne pitää erityisesti ottaa huomioon.

Pulssitutkien säteilyturvallisuus STUK ST-ohje 9.2.

Ohjeessa esitetään tutkalaitteiden mikroaaltosäteilyä koskevat raja-arvot.

Lisäksi ohjeessa selostetaan tutkalaitteiden turvallisessa asennuksessa ja käytössä huomioon otettavia näkökohtia sekä säteilyturvallisuusmittauksia.

Ohje on tarkoitettu erityisesti tutkalaitteiden haltijoille ja niille, jotka suorittavat tutkalaitteiden asennuksia ja huoltotöitä. Ohje koskee taajuusalueella 100 MHz–100 GHz toimivia pulssimuotoista mikroaaltosäteilyä lähettäviä laitteita, joiden keskimääräinen mikroaaltoteho on yli 10 W tai pulssiteho on yli 1 kW.

Ohjeen valtuutusperuste

Säteilyturvakeskus antaa säteilyn käytön ja muun säteilytoiminnan turvallisuutta koskevat yleiset ohjeet, säteilyturvallisuusohjeet (ST-ohjeet), säteilylain (592/1991) 70 §:n 2 momentin nojalla. Säteilytoiminnan turvallisuudesta vastaa säteilylain mukaan säteilytoiminnan harjoittaja. Toiminnan harjoittaja on velvollinen huolehtimaan siitä, että ST-ohjeissa esitetyn mukainen turvallisuustaso toteutetaan ja ylläpidetään.

8.3 PVHSM SÄTEILY 001. Soveltamisalue [Normin kohta 1.4]

Kohta 1.4 määrittelee soveltamisalueen ja soveltamisperiaatteet seuraavasti:

- Asiakirjaa sovelletaan taajuusalueella 1,5 MHz–300 GHz radiotaajuista sähkömagneettista energiaa säteileville tutka- ja radiolaitteille.
- Laitetta ei tarvitse tarkastaa ja valvoa, jos sen keskimääräinen säteilyteho on enintään 2 wattia ja pulssiteho on enintään 2 kilowattia. Laitetta ei tarvitse tarkastaa ja valvoa, jos voidaan riskinarvioinnissa luotettavasti todeta että sen aiheuttama säteilyaltistus (SAR) on enintään yksi kymmenesosa vahvistetuista enimmäisarvoista (Asetus 1306/1993)
- Jos sähkö- tai magneettikentän voimakkuudelle tai tehotiheydelle määritellyt toiminta-arvot ylittyvät voidaan hyväksymiskriteerinä käyttää määriteltyjä SAR-arvoja (direktiivi 2004/40/EY). SAR-arvot on määritettävä asianmukaisesti luotettavaksi todetulla laskenta- tai mittausmenetelmällä.

Kommentointi.

Taajuusalueen alataajuuden rajauksesta (1,5 MHz) voi tulla ongelma niin sanottujen epäsuorien vaikutusten [Normin kohta 4.4] riskienarvioinnissa ja vastuukysymyksissä. Esimerkiksi staattinen sähkö (0 Hz) on räjähtävälle materiaalille ehkä suurin uhka. Se jää tässä ulkopuolelle. Toisaalta epäsuorat

vaikutukset (laitteesta laitteeseen (EMC) tulisi ehkä rajata kokonaan pois säteilyturvallisuussnormista, kuten näin on tehty muun muassa Stanag2345:ssa.

Normi velvoittaa tuhansille laitteille (kenttäradiot, muut radiot, linkit ja tutkat) valvontaa ja tarkastustoimintaa. Onko se esimerkiksi kenttäradioiden suhteen tarkoituksenmukaista, saati käytettävien resurssien puitteissa edes mahdollista?

8.4 PVHSM SÄTEILY 001. Valvontaviranomainen ja valvonta puolustusvoimissa [Normin kohdat 2 ja 3]

Säteilylain (592/1991) ja sen nojalla annettujen säännösten määräysten noudattamista valvoo Säteilyturvakeskus. Työturvallisuuslain (738/2002) ja sen nojalla annettujen säännösten ja määräysten noudattamista valvoo työsuojeluviranomainen.

Maavoimien esikunta vastaa puolustusvoimien yhteistä kalustoa olevien, maavoimien erikoiskalustoa olevien sekä Pääesikunnan alaisten laitosten kalustoa olevien radio- ja tutkalaitteiden tarkastuksen ja valvonnan järjestämisestä.

Tarkastuksen ja valvonnan tulee sisältää riittävän ammattitaitoinen:

- riskinarvioinnin tarkastaminen
- säteilymittaus
- säteilymittauslausunto
- määräykset laitteen turvallisen käytön varmistamiseksi
- säteilyturvallisuustietojen arkistointi
- koulutus.

Kommentointi.

Esimerkiksi niin sanottu Tadiran kenttäradiokalusto kuuluisi näin ollen Maavoimien esikunnan tarkastus- ja valvontavastuulle.

8.5 PVHSM Säteily 001. Toiminnan harjoittajan yleiset velvollisuudet [Normin kohta 3.3]

Puolustusvoimissa toiminnanharjoittajalla tarkoitetaan joukko-osastoa.

Toiminnan harjoittaja vastaa myös työturvallisuuslain säännösten mukaisista työn vaarojen selvittämisestä ja arvioinnista sekä säteilystä aiheutuvan altistuksen rajoittamisesta. Tarkempia säännöksiä säteilyaltistuksen arvioinnista,

raja-arvoista ja torjunnasta tullaan antamaan valmisteilla olevalla asetuksella työntekijöiden suojelemisesta sähkömagneettisista kentistä aiheutuville vaaroilta.

Kommentointi.

Kohdan mukaan puolustusvoimissa toiminnanharjoittajalla tarkoitetaan joukko-osastoa. Tämä on tärkeä kohta, sillä toiminnan harjoittajalla on paljon normissa asetettuja velvollisuuksia.

8.6 PVHSM Säteily 001. Tarkastukset puolustusvoimissa [Normin kohta 3.4]

Soveltamisalueeseen kuuluvat radio- ja tutkalaitteet tulee tarkastaa ennen niiden käyttöön ottamista.

Tarkastuksia saa tehdä Säteilyturvakeskus tai puolustusvoimien henkilöt/organisaatio säteilyn käytöstä vastaavan johtajan valvonnassa tai puolustusvoimien hyväksymä puolustusvoimien ulkopuolinen palveluntuottaja.

Kaikista tarkastuksista on laadittava pöytäkirja haltijan käyttöön. Määrävälein tehtävät tarkastukset on määritelty kohdassa 4.6. Tarkastuksen suorittajan tulee tuntea

- keskeiset turvallisuusmääräykset ja -ohjeet (tämä ohje, ST-ohje 9.2 ja vastaavat)
- mittausmenetelmät, mittaaminen, mittaustulosten vertaaminen raja-arvoihin
- perustiedot radiotaajuisen säteilyn biologisista vaikutuksista
- aselajikohtaiset turvaohjeet ja niiden perusteet.

Kommentointi.

Kuvatut tarkastukset ovat tutkakaluston suhteen paikallaan. Sen sijaan soveltamisalueeseen kuuluvien radio- ja linkkikaluston suhteen tarkastukset tehdään radioteknikoiden toimesta, osana järjestelmien suorituskykymittauksia.

On olennaista ymmärtää esimerkiksi radiojärjestelmien suhteen, että säteilyn kannalta aivan keskeinen komponentti on antenni. Kuten edellä todettiin, on huomioitava, että soveltamisalueeseen kuuluvia laitteita on puolustusvoimissa

tuhansittain. Jos ne on yksilöinä tarkastettava, niin kuin edellä esitetään, on se toimenpiteenä mittava.

8.7 PVHSM Säteily 001. Mittaukset ja riskien arvioinnit [Normin kohta 4]

Toiminnan harjoittajan on selvitettävä työntekijöiden mahdollinen altistuminen sähkömagneettisille kentille sekä arvioitava ja tarvittaessa mitattava ja/tai laskettava sm-kenttien tasot, joille työntekijät altistuvat. Altistumisen arviointiperusteena käytetään laitteen käyttöönottotarkastuksessa mitattuja sm-kenttien arvoja. Jos joukko-osastolla itsellään ei ole riskien arvioimiseen riittävää asiantuntemusta, on käytettävä ulkopuolista asiantuntijaa.

Riskien arvioinnit on suunniteltava ja suoritettava pätevien henkilöiden toimesta sopivin väliajoin. Riskien arviointi on ajantasaistettava, jos on tapahtunut merkittäviä muutoksia, jotka voivat tehdä sen vanhentuneeksi tai kun terveydentilan seurannan tulokset osoittavat sen tarpeelliseksi. [EU-direktiivi 2004/40/EY]

Riskinarvioinnit uudistetaan silloin, kun laitteistoon tehdään säteilyturvallisuuden vaikuttavia muutoksia tai kun säteilytason jostain muusta syystä voidaan olettaa muuttuneen.

Riskien arvioinnin perusteella sellaiset työpaikat, joissa työntekijät saattavat altistua toiminta-arvot ylittävälle sähkömagneettisille kentille, on osoitettava asianmukaisin merkein ja pääsyä niille on rajoitettava, jos se on teknisesti mahdollista. [EU-direktiivi 2004/40/EY]

Kommentointi.

Riskien arvioinnit (selvitykset, mittaukset ym.) tekee toiminnan harjoittajat eli joukko-osastot. Järjestelmää koskevat niin sanotut tekniset riskien arvioinnit olisi syytä tehdä sen organisaation toimesta, joka on sen hankkinut ja jolla on siitä tekninen vastuu. Toiminnallinen riskien arviointi voitaisiin sitten toteuttaa joukko-osastoissa teknisen riskienarvioinnin tueksi.

8.8 PVHSM Säteily 001. Raja-arvot [Normin kohta 4.2]

Työntekijän enimmäisaltistuksen arvot määrittää sosiaali- ja terveysministeriön päätös 1474/1991 ja ST-ohje 9.2 / 2.9.2003 ”Pulssitutkien säteilyturvallisuus”. Väestön enimmäisaltistuksen arvot määrittää sosiaali- ja terveysministeriön asetus 294/2002.

8.8.1 PVHSM Säteily 001. Turvaetäisyyden laskenta [Normin kohta 4.3]

Lasketaan kaksi eri turvaetäisyyttä. Väestön turvaetäisyys lasketaan asetuksen 294/2002 arvoilla. Työntekijöille turvaetäisyys lasketaan ST-ohjeen 9.2 tai EU-direktiivin 2004/40/EY antamilla arvoilla. Turvaetäisyydet määritellään edellä mainituilla tavoilla. Vertailulaskelmana voidaan laskea turvaetäisyys myös NATO Stanag 2345 arvoilla.

Kommentointi.

Normissa ei ole selitetty, mikä on turvaetäisyys ja miten se määritellään. Nato Stanag 2345 määrittelee turvaetäisyyden kohdassa Valvontatoimenpiteet (30) seuraavasti: Turvaetäisyys on minimietäisyys, jolla henkilöstön sallitut altistukset eivät ylitä. Stanag 2345 ei määrittele väestöön kohdistuvaa altistumista. Oletettavasti väestön turvaetäisyyden määrittäminen on käytännössä relevantti vain esimerkiksi ilma- ja maanvalvontatutkan tai vastaavan turvaetäisyyden määrittelyssä.

8.9 PVHSM Säteily 001. Riskiarvioinnin sisältö [Normin kohta 4.4]

Työnantajan on riskien arvioinneissa erityisesti otettava huomioon:

- Altistumisen taso, taajuusspektri, altistumisen kesto ja tyyppi
 - Alistumisen raja-arvot ja sähkömagneettisen kentän toiminta-arvot
 - Vaikutukset erityisen riskialttiiden työntekijöiden terveyteen ja turvallisuuteen
 - Epäsuorat vaikutukset, kuten sydämentahdistimet ja metalli-implantit
 - Sähköisesti ohjattavien räjähtävien laitteiden laukeaminen (sytyttimet ja nallit)
 - Indusoinnin synnyttämän kipinöinnin aiheuttamat aineiden tulipalot ja räjähdykset
 - Altistuminen useille lähteille ja eritaajuisille kentille.
- [EU-direktiivi 2004/40/EY]

Kommentointi.

Kolme ensimmäistä ja viimeinen rivi ovat välittömiä, ihmisiin kohdistuvia vaikutuksia. Kuten kohdissa 3,4 ja 5 esitettiin ionisoimaton säteily ja sen ihmisille altistava vaikutus on suhteellisen hyvin tiedossa ja siten hallittavissa.

Sitä vastoin muut rivit käsittelevät epäsuoria vaikutuksia, joita koskevat riskien arvioinnit ovat haastavia, koska epäsuorista vaikutuksista johtuvia riskejä on erittäin vaikea hahmottaa ja tunnistaa. Miten arvioida sähköisesti ohjattavan laitteen reagointi sähkömagneettiselle säteilylle ja sen aiheuttamat riskit ihmisille kussakin tapauksessa? Riskien arviointiin tulee näin ollen mukaan muita tekijöitä ja käsitteitä kuten, EMC. Jos kyseessä ovat sähköisesti ohjattavat nallit ja sytyttimet sekä indusoinnin synnyttämän kipinöinnin aiheuttamat tulipalot ja räjähdykset tulevat kuvaan mukaan käsitteet ATEX ja ESD. Näin ollen riskien arviointi laajenee säteilyturvallisuudesta kokonaisvaltaiseen turvallisuusriskien arviointiin, josta huolehtiminen kuuluu työnantajan velvollisuuksiin, työturvallisuuslain velvoittamana. Oma lukunsa ovat lääkintälaitteisiin kohdistuvat vaikutukset (implantit ja sydämentahdistimet) ja niiden riskien arvioinnit.

Normin kohdassa 4.4 ei oteta kantaa siihen kenen vastuulle riskien arviointi puolustusvoimissa kuuluu, vaan osoitetaan yleisesti työnantajaa. Direktiivi viittaus [EU-direktiivi 2004/40/EY] viittanee direktiivin kohtaan Työnantajan velvollisuudet 4 Artikla. Sitä vastoin normin kohdassa 4 Mittaukset ja riskien arviointi esitetään, että riskien arviointi kuuluu toiminnan harjoittajan vastuulle, joka normin kohdassa 3.3 määrittellään joukko-osastoksi. Normin kohdassa 4 mainitaan lisäksi seuraavasti: Riskien arvioinnit on suunniteltava ja suoritettava pätevien henkilöiden toimesta sopivin väliajoin.

Voidaan kyseenalaistaa, onko edellä esitettyä pätevyyttä toiminnan harjoittajalla (joukko-osastot)? Mainittakoon, että säteilylaki ja sitä tarkentavat asetukset lähtevät väestöä ja työntekijöitä koskevasta altistumisen rajoittamisesta, eikä niissä esitetä epäsuorien vaikutusten arvioimista.

8.10 PVHSM Säteily 001 Mittausohje [Normin kohta 4.5]

Säteilyaltistuksen arvioimiseksi ja turvallisuuden varmistamiseksi tarpeelliset mittaukset on tehtävä luotettavaksi todetulla menetelmällä. [Säteilylaki 592/1991]. Mittausmenetelmä tulee tarvittaessa esittää Säteilyturvakeskuksen arvioitavaksi.

Mittausohjeessa tulee määritellä:

- Käytettävät mittalaitteet ja niiden kalibrointi. Mittaukseen käytettävän säteilymittarin tai säteilyn mittauslaitteiston on oltava asianmukaisesti kalibroitu. [Säteilylaki 592/1991]
- Mittausepävarmuus, joka tulee ottaa huomioon riskinarvioinnissa. Käytännössä mittausten epävarmuus on suhteellisen suuri, tyypillisesti 3–5 dB. [STUK-B-TARO 19]
- Mittausten suoritus ja mittauspisteet
- Mittauspöytäkirjaan kirjattavat tiedot.

8.11 PVHSM Säteily 001. Korjaus ja huolto sekä tarkastusmittaukset [Normin kohta 4.6]

Jokaiselle tässä ohjeessa tarkoitettulle laitteelle on oltava kunnossapito-ohjelma. Käytössä olevan laiteyksilön tarkastusmittaus uusitaan, kunnossapito-ohjelman mukaisesti, laitetypistä riippuen esimerkiksi kerran 1–5 vuodessa. Säteilyn käytöstä vastaava johtaja voi perustellusta syystä määritellä muun mittausvälin.

Kommentointi.

Esimerkiksi kenttäradiot ja radiolinkit eivät kuulu kunnossapito-ohjelman piiriin, eivätkä ne ole huollollisesti yksilöseurattavia. Toisin sanoen niiden teknisissä ohjeissa (TOK) ei esitetä niille erityisiä huolto-ohjelmia. Vain tietyille linkkimastoille, kuten hydraulisille mastoille ja tutkakalustolle on määritelty kunnossapito-ohjelmat. Tutkakalustolla on sitä vastoin olemassa kalustokohtainen kunnossapito-ohjelma.

Radio- ja tutkalaitteita saa asentaa, korjata ja huoltaa vain henkilö /organisaatio, jolla on tarvittava ammattitaito ja asiantuntemus. Asennus-, korjaus- ja huoltotyön suorittaja on velvollinen varmistamaan, että huollettu laite toimii moitteettomasti. [Säteilylaki 592/1991]

Jos varastosta otetun laitteen edellisestä mittauksesta on kulunut yli kaksi vuotta, tulee laite tarkastaa ennen käyttöönottoa.

Kommentointi.

Tarkastusmittaukset ovat tarpeellisia, kun kyseessä on tutkajärjestelmä, jossa esimerkiksi aaltoputkivuodot ovat mahdollisia. Kun kyseessä on soveltamisalueeseen kuuluva radio- tai linkkikalusto, ovat tässä kohdassa esitetyt tarkastusmittaukset kyseenalaisia. Tiettävästi ei ole olemassa yhtään tapausta, jossa radio tai linkki olisi muuttunut säteilyturvallisuuden kannalta vaaralliseksi varastoinnin tai käytön aikana. Radioiden hajasäteily on lähes olematonta.

8.12 PVHSM Säteily 001. Koulutus (kohta 5)

Toiminnan harjoittaja on velvollinen järjestämään toiminnan laadun ja laajuuden mukaan suunniteltua koulutusta säteilylähteiden käyttöön osallistuville henkilöille. [EU-direktiivi 2004/40/EY].

8.12.1 PVHSM SÄTEILY 001. Yleiskoulutusmateriaali [Normin kohta 5.2]

Toiminnan harjoittajan on järjestettävä sähkömagneettisista kentistä aiheutuille riskeille altistuville työntekijöille tietoa ja koulutusta, joka koskee erityisesti:

- Turvallisia työtapoja altistumisesta aiheutuvien riskien vähentämiseksi mahdollisimman alhaiselle tasolle. [EU-direktiivi 2004/40/EY]
- Turvallisuusmääräysten ja ohjeiden täytäntöön panemiseksi toteutettuja toimenpiteitä
- Altistumisen raja-arvojen ja toiminta-arvojen arvoja ja käsitteitä sekä niihin mahdollisesti liittyviä riskejä
- Sähkömagneettisille kentille altistumisen tasojen arviointien, mittausten ja/tai laskelmien tuloksia
- Altistumisen haitallisten terveystaikutusten havaitsemista ja ilmoittamista.

8.12.2 PVHSM Säteily 001. Laitekoulutusmateriaali [Normin kohta 5.3]

Säteilysuojelun laitekoulutusmateriaalin tulee käsitellä käytettävän laitteen riskinarviointi, mittaustulokset ja määräykset laitteen turvallisen käytön varmistamiseksi.

Kommentointi.

Koulutuksen ja koulutusmateriaalin tuottaminen kuuluu toiminnan harjoittajan vastuulle eli joukko-osastoille [Normin kohta 3.3]. Voisi olla parempi, jos järjestelmää koskeva riskiarvioinnin koulutusmateriaalin tuottaminen olisi järjestelmävastuullisen vastuulla.

8.13 PVHSM Säteily 001. Toiminta säteilyonnettomuudessa [Normin kohta 6]

Mikäli raja-arvot ylittävä merkittävä (viisinkertainen) altistuminen tapahtuu tai sen perustellusti epäillään tapahtuneen, altistuneen henkilön on käytävä lääkärintarkastuksessa, vaikka säteilyaltistuksesta johtuvia oireita ei olisikaan.

Kommentointi.

Tällaisia paikallisia altistumisia tulee ehkä päivittäin, esimerkiksi tilanteessa, jossa kosketaan selässä kannettavan kenttäradion antennia. Viisinkertainen altistumisen taso saavutetaan muutamien senttimetrien etäisyydellä antennista. Jos altistunut henkilö menisi lääkärin tarkastukseen, mikä on työterveyskeskuslääkärin tekemä diagnoosi tai hoito? Entä siinä tapauksessa, jos altistunut palaa epämääräisten oireiden ilmettyä uudelleen vastaanotolle?

Säteilyonnettomuuden tutkintaan voidaan tarvittaessa käyttää ulkopuolista asiantuntijaa.

Jos havaitaan tällaisesta altistuksesta koituva terveyshaitta, työnantajan on arvioitava riskit uudelleen. [EU-direktiivi 2004/40/EY]

Työnantajan on toimitettava riskien arvioinnin tulokset terveydentilan seurannasta vastaavan lääkärin ja/tai lääkintäviranomaisen käyttöön. [EU-direktiivi 2004/40/EY]

Terveydentilan seurannan tulokset on säilytettävä sopivassa muodossa, jotta niihin voidaan tutustua myöhemmin, ja tällöin on otettava huomioon salassapitovelvollisuus. Yksittäisen työntekijöiden on saatava pyynnöstä tutustua omaa terveydentilaansa koskeviin tietoihin. [EU-direktiivi 2004/40/EY].

8.13.1 PVHSM Säteily 001. Säteilyonnettomuuden tutkinta [Normin kohta 6.3]

Säteilyonnettomuustapauksen jälkeen tehdään ensitoimet:

- Säteilykenttien mittaus

Dokumentoidaan:

- laitteiston toimintatila onnettomuushetkellä
- altistuspaikka
- altistusympäristö
- altistusaika
- altistuksen kesto.

Oireiden kirjaus:

- Tunteukset
- Lämpötunteukset
- Oireet ennen ja jälkeen altistuksen.

8.13.2 PVHSM Säteily 001. Vakava säteilyonnettomuus [Normin kohta 6.4]

Vakavan onnettomuuden tai vakavan vaaratilanteen jälkeen tehdään tapahtumatutkinta:

- Ensitoimien tiedot
- Tapahtumakuvaus
- Syy-seurausketjun analysointi
- Turvallisuusarviointi
- Suositukset korjaaviksi toimenpiteiksi.

STUK voi tarvittaessa osallistua säteilyonnettomuuden tutkintaan ja syiden selvittämiseen.

Tapahtumatutkinnasta tehdään raportti Pääesikunnan Teknilliselle Tarkastusosastolle. Tapahtumatutkinnan raportti toimitetaan joka tapauksessa Säteilyturvakeskukselle, vaikka STUK on jo tätä ennen saattanut osallistua tutkintaan asiantuntijana. Vaikealaatuiseen vammaan johtaneesta tapahtumasta on joukko-osaston tehtävä ilmoitus myös poliisille [Tapaaturmavakuutuslaki 608/1948, 39 §] ja työsuojeluviranomaiselle [Työsuojelun valvontalaki 44/2006, 46 §].

Kommentointi.

Millainen voisi olla soveltamisalueella toimivien laitteiden aiheuttama vakava säteilyonnettomuus? Sellainen saattaisi tulla kyseeseen lähinnä tutkalaitteiden huollon yhteydessä, mikä edellyttäisi totalitäärisiä turvaohjeiden laiminlyöntejä. Olisiko tuolloinkin kyse enemmän työtapaturmasta kuin vakavasta säteilyonnettomuudesta?

8.13.3 Yhteenveto

Yleisesti voitaneen todeta, että kyseinen normi on pääsääntöisesti käyttökelpoinen. Mutta esimerkiksi riskiarviointia koskevissa vastuualueissa ja rajapintojen määrittelyissä normi kaipaasi tarkentavan, asetusta vastaavan soveltamisohjeen. Erityisesti vastuut välillisistä vaikutuksista pitäisi selkeyttää. Samoin laitevalvontaa koskevia kohtia pitäisi lieventää nykykäytäntöä vastaavaksi muun muassa radio- ja linkkijärjestelmissä. Direktiivi 2004/40/EY ratifioidaan todennäköisesti lähivuosina suomalaiseen lainsäädäntöön. Direktiivin ratifiointi aiheuttanee muutostarpeita myös puolustusvoimien ohjeistukselle.

9 RISKIEN ARVIOINTI JA TURVALLISUUSRISKIEN HALLINTA

Uusien teknologisten järjestelmien kehittäminen synnyttää riskejä, joille ihmiset altistuvat. Monissa tapauksissa altistuminen jakaantuu epätasaisesti. (Nyberg ym. 2006, 510.) Viime vuosikymmeninä esiin ovat nousseet monet uudet teknologiset riskit, kuten ionisoiva säteily ja sähkömagneettiset kentät. Syntyneet riskit on pyrittävä ehkäisemään riskienhallinnan keinoin mahdollisimman tehokkaasti. Riskienhallinta on moniosainen kokonaisuus, joka sisältää riskien arviointia, päätöksiä ja toimenpiteitä riskien pienentämiseksi. Kyseessä on siten prosessi, jonka kuluessa arvioidaan eri vaihtoehtoja ja niistä valitaan parhaat ja aina tarkoituksenmukaisimmat toimet. Riskienhallinta on jatkuvaa prosessinomaista ja dynaamista toimintaa.

Tämän kohdan tarkoitus on antaa perusteita ja työkaluja soveltamisalueella toimivien järjestelmien säteilyturvallisuutta koskeville riskienarvioimiselle. Varsinainen riskienhallintaprosessi liittää yhteen monia eri elementtejä riskin alustavasta tunnistamisesta ja analysoinnista riskin siedettävyyden arviointiin ja mahdollisten riskiä pienentävien ratkaisujen tunnistamiseen, aina tarkoituk-

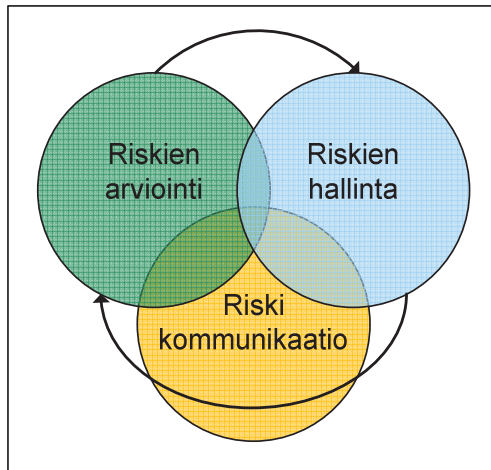
senmukaisten valvonta- ja parannustoimenpiteiden valintaan, toteuttamiseen ja seurantaan (SFS-IEC 60300-3-9, 6) kommunikaatiota unohtamatta.

Perinteinen lähtökohta turvallisuusriskien hallinnassa on säätää erilaisia rajoituksia, joiden noudattamista viranomaiset valvovat. Yhä enemmän halutaan kuitenkin painottaa sitä, että riskin aiheuttaja kantaa täyden vastuun turvallisuudesta ja on velvollinen hankkimaan riskin hallintaa varten tarvittavat tiedot ja taidot. Riskin aiheuttajan tulee suunnitella toimintansa siten, että se täyttää turvallisuusvaatimukset ja myös odottamattomista tapahtumista aiheutuvat riskit on riittävästi otettu huomioon. Riskien hallintaan tarvitaan turvallisuusnormeja (Nyberg ym. 2006, 320).

Ionisoimattomaan säteilyn riskienhallintaan liittyy olennaisena osana säteilyn aiheuttaman terveysvaikutusten suhteellisuuden ymmärtäminen, mutta myös todellisten terveysriskien tietynlainen kiistanalaisuus. Kuten johdantokappaleessa todettiin, ionisoimattoman säteilyn aiheuttamista terveysvaikutuksista ja riskeistä ei ole olemassa tutkijoiden ja alan asiantuntijoiden keskuudessa selvää yksimielisyyttä. Tässä suhteessa tiede ei ole vielä toistaiseksi pystynyt täysin pois sulkemaan kaikkia pitkän aikavälin terveystahaittoja. Asetelmaa osaltaan hankaloittaa myös se, että tiedeyhteisön tutkimuksia on asetettu kiistanalaisiksi tai niitä epäillään teollisuuden tilaamiksi tarkoitushaluisiksi tutkimuksiksi, joissa vakuutetaan teknologian turvallisuudesta. Epätietoisuus voi siis aiheuttaa ja on jo nyt aiheuttanut tietyissä osaa väestössä epäluuloisuutta ja jopa levottomuutta. Tämän vuoksi teknologian riskienhallintaprosesseissa on aina otettava huomioon osapuolia koskeva viestintä, jonka on oltava avointa ja objektiivista. Esimerkkitapauksena otettakoon ydinvoimaloiden riskit ja säteilyturvallisuus, mutta ei edes ionisoimattoman säteilyn turvallisuus ole koskaan pelkästään teknillinen riski, vaan riskeihin liittyy tavallisesti myös sosiologiset seikat ja jopa psykologia.

Modarres'n (2006, 5) mukaan riskianalyysin käsitteet määritellään siten, että riskianalyysi koostuu kolmesta toisistaan erottamattomasta osasta, jotka ovat riskien arviointi, riskien hallinta ja riskikommunikaatio. Riskikommunikaatio tuo riskienhallintaan mukaan yhden keskeisen elementin, viestinnän. Määrittelyn

mukaan riskienhallinnan osa-alueet nivoutuvat toisiinsa ja niillä on toisiinsa nähden vuorovaikutus kuvion 25. mukaisesti.



KUVIO 25. Modarres'n 2006, 5 esitys riskianalyysin osatekijöistä

Modarres'n mukaan (2006, 5-12) riskien arviointiin kuuluu karkeasti tapahtumaketjujen määrittäminen sekä epämieluisien seurausten suuruuden ja todennäköisyyden arviointi tai estimointi. Riskien hallinta taas keskittyy arvioitujen riskien estämiseen tai tappioiden minimoimiseen, jolloin keskitytään vaihtoehtojen valintaan ottaen huomioon esimerkiksi riskin suuruus, taloudelliset ja teknologiset rajoitteet tai poliittiset kysymykset. Riskiviestinnällä, joka on edellä esitetyn riskikommunikaation osa-alue, välitetään tietoa riskien arvioinnin ja hallinnan tuloksista päättäjien, analyytikoiden ja asianomaisten tietoisuuteen. Modarres'n teos Risk Analysis in engineering on erityisesti teknisellä alalla erittäin tunnettu ja paljon käytetty.

Todettakoon, että tässä työssä käytettävä käsitteistö perustuu standardiin IEC-60300-3-9, jossa Modarres'n riskianalyysikäsitettä vastaa riskienhallinta. Riskien arviointi pitää sisällään riskianalyysin. Kyse on vain siis määritelmien eroista. Itse substanssi ja riskienhallinnan päämäärät ovat molemmissa käsitteistöissä yhtenevät.

9.1 Riskiarvioinnin ja riskienhallinnan perusteet

Puolustusvoimien normi PVHSM Säteily 001 velvoittaa tekemään riskien arvioita. Riskinarvioinnin tärkeä rooli määrittää myös muun muassa EU:n puitteiden direktiiviin 89/391/ETY pohjautuvassa työturvallisuuslaissa 38/2002 10 §.

Työn vaarojen selvittämisen ja arvioinnin mukaan kaikilla työnantajilla on velvollisuus selvittää, tunnistaa ja arvioida työntekijöiden turvallisuudelle ja terveydelle aiheutuvat haitat ja vaarat. Tämä riskien arviointi ja hallinta ovat osa työpaikan turvallisuustoimintaa. Työnantajien yleisenä velvollisuutena on huolehtia työntekijöiden turvallisuudesta ja terveydestä kaikissa työhön liittyvissä tilanteissa. Riskinarvioinnin perusteella työnantajat voivat toteuttaa tarvittavat toimenpiteet työntekijöidensä turvallisuuden ja terveyden suojelemiseksi. Tällaisia toimenpiteitä ovat esimerkiksi työssä esiintyvien riskien ehkäisy, tiedottaminen ja koulutus työntekijöille, järjestelyt ja keinot toimenpiteiden toteuttamiseksi. On kuitenkin huomioitava kohdassa 7 esitetty työterveyslain 6§ ja siinä oleva puolustusvoimia koskeva raja.

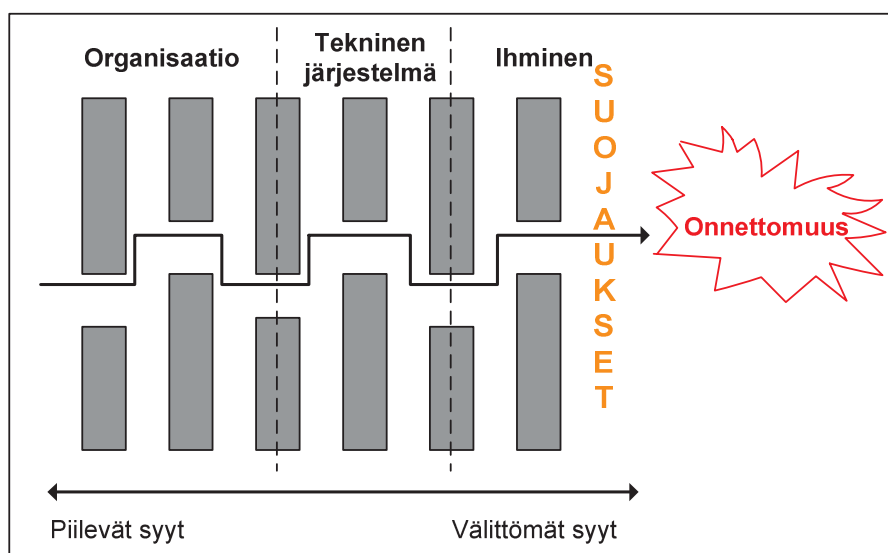
Työterveyslain mukaan siis pelkkä riskien arviointi ei ole yksistään riittävä, vaan puolustusvoimien on työnantajana vastattava myös riskien arvioinnin jälkeisistä mahdollisista toimenpiteistä, joihin tulevat kyseeseen työturvallisuuden varmistaminen kaikissa työhön liittyvissä tilanteissa. Työterveyslaitoksen mukaan (Työturvallisuuslaitos) sähkömagneettisille kentille altistumisesta aiheutuvat riskit on poistettava tai pienennettävä niin vähäisiksi kuin mahdollista, ottaen huomioon tekninen kehitys ja toimenpiteet, jotka ovat käytettävissä riskin hallitsemiseksi sen syntyvaiheessa. Mikäli toiminta-arvot ylittyvät, työnantajan on laadittava toimintasuunnitelma riskien pienentämiseksi.

Kun käsitellään teknisten laitteiden tai järjestelmien turvallisuutta on aina perusteltua selvittää, mitä konedirektiivissä on tuotu esiin tarkasteltavasta seikasta. Koneasetuksen 400/2008 kohta 1.5.10 käsittelee säteilyä. Sen mukaan koneen ei-toivotut säteilypäästöt on poistettava tai pienennettävä sellaisille tasolle, että niistä ei ole haitallisia vaikutuksia henkilöihin. Toiminnalliset ionisoimattomat säteilypäästöt säädön, käytön tai puhdistuksen aikana on rajoitettava sellaiselle tasolle, että niillä ei ole haitallisia vaikutuksia henkilöihin. Standardisarja SFS-EN 12198 käsittelee koneiden synnyttämän tai koneiden yhteydessä käytettävän säteilyn riskejä ja niiden hallitsemista.

9.2 Riskikäsitteen määrittelyä

Riski on läsnä kaikessa ihmisen toiminnassa. Se voi liittyä terveyteen, turvallisuuteen, talouteen tai se voi vaikuttaa ympäristöön (IEC-60300-3-9, 10). Varhaisimmat teorit joista riskin käsitteen määrittely juontaa juurensa, ovat 1600-luvulla syntyneet peliteoriat ja todennäköisyyslaskenta, joita käytettiin alunperin laskettaessa uhkapelien voittojen todennäköisyyksiä. Eurooppalaiseen valtionhallintoon ja suunnitteluun todennäköisyyslaskelmat tulivat vasta 1800-luvulla valtiollisten tilastotoimistojen perustamisen myötä. Tilastollinen ajattelu lisääntyi nopeasti ja esim. sairastavuus oli tarkkaan tilastoitu fakta Euroopassa vuosien 1820 ja 1840 välillä. (Kamppinen & Raivola & Jokinen & Karlsson 1995, 23.)

Riski mielletään usein mahdollisen epämieluisan seurauksen mittana. Seuraamus voi olla vaikkapa onnettomuus tai vahinko, jota ei haluttaisi tapahtuvan. Vahingon syntyyn löytyy ainakin jälkikäteen sitä selvitettäessä useita vaikuttavia riskitekijöitä ja syitä. Kuviossa 26 on esitetty vahingon syntyminen ja sen syntyyn vaikuttavia syitä ja osatekijöitä. Lukuisat suuronnettomuudet ovat vakuuttaneet asiantuntijat siitä, että virheet ihmisten käyttäytymisessä ja teknisissä järjestelmissä ovat oireita organisaation ongelmista (Henttonen 2000, 11).



KUVIO 26. Vahingon syntyymiseen vaikuttavat syyt

Risktiin kuuluu siis tappion mahdollisuus jossain tapahtumaketjussa. On syytä huomata, että epävarmuus itsessään ei aiheuta riskiä; vasta epätoivottu seu-

raus aikaansaa riskin. Vaikka intuitiivisesti riskin käsite lienee kaikille selvä, niin siitä huolimatta sillä on monenlaisia määritelmiä. Riskikäsitteeseen liittyy aina kaksi osatekijää: taajuus tai todennäköisyys, jolla vaarallinen tapahtuma esiintyy ja vaarallisen tapahtuman seuraus (SFS-IEC-60300-3-9, 8). Teknisen luonnontieteellisessä tutkimuksessa riskin suuruuden nähdään määräytyvän haitan suuruudesta ja todennäköisyydestä, joka hyvin usein esitetään yhtälön 20 mukaisesti.

$$\text{Yhtälö 20. } \textit{Riski} = \textit{Todennäköisyys} \times \textit{Haitan suuruus}$$

9.2.1 Riskin hahmottaminen

Riskien objektiivinen suuruus on arvioitavissa tutkimustiedon perusteella. Suurin osa ihmisistä luottaa kuitenkin intuitiiviseen riskinarviointiin, jota kutsutaan riskin hahmottamiseksi. Ihmiset eivät arvioi riskejä vain olemassa olevan tieteellisen tai muussa tarkoituksessa tuotetun tiedon perusteella. Riskin hahmottaminen koostuu ihmisen uskomuksista, asenteista, päätöksistä, tunteista sekä kulttuurillisista ja sosiaalisista yhteyksistä. Näiden avulla ihminen muodostaa oman, yksilöllisen käsityksensä riskistä. Vaikka ihmisillä on tietämystä haitan terveysvaikutuksista, tunteet ja vaistot ovat yhtä tärkeitä riskin hahmottamisessa. Tästä seuraa riskin määrittelyyn vaikuttavat yksilölliset vaihtelut. Joissakin yhteydessä määritelmiin on lisätty yhtälön 21 mukaisesti ns. psykologinen komponentti eli niin sanottu raivofaktori.

$$\text{Yhtälö 21. } \textit{Riski} = \textit{Todennäköisyys} \times \textit{Haitan suuruus} + \textit{Raivofaktori}$$

Monet riskin ominaisuudet vaikuttavat siihen, miten suureksi riski koetaan. Esimerkiksi tuttu riski (alkoholi) koetaan pienemmäksi kuin tuntematon riski (ruuan lisäaine) ja jokapäiväinen riski (auto-onnettomuus) pienemmäksi kuin katastrofaalinen (lento-onnettomuus). Riskit pelottavat - toisinaan. Mutta jokainen haluaa yleensä itse päättää, mitä riskejä ottaa. Se kuuluu elämän perusasioihin. Riskien arviointiin vaikuttavat tiedon lisäksi erilaiset tunneperäiset seikat. Vaaran kokemista vähentää esimerkiksi se, että voi itse kontrolloida tilannetta. Sen vuoksi lähes jokainen on omasta mielestään keskimääräistä parempi auton kuljettaja.

Riskin hahmottamisen käsitteeseen liittyy läheisesti käsitteet turvallisuus ja turvallisuuden tunne. Käsitteellisesti turvallisuus ja turvallisuuden tunne ovat eri asioita. Tämä on helppo käsittää, jos verrataan esimerkiksi tilastollisesti lento- ja tieliikenneturvallisuutta toisiinsa. Yleensä ihmiset tuntevat olevansa paremmin turvassa autossa kuin lentokoneessa, vaikka tilastojen mukaan lentäminen on huomattavasti turvallisempaa.

9.3 Riskienhallinnan käsitteet

Riskeihin ja riskienhallinnassa käytetty käsitteistö on sangen laaja ja kirjava. Tyypillisesti riskien hallintaan ja turvallisuuteen liittyvät standardit, mallinnukset ja menetelmät riippuvat tapauskohtaisesti riskien hahmottamisen ja riskiarvioinnin lähestymistavoista. Toisin sanoen menetelmät ja käsitteet ovat riippuvaisia siitä, ketkä riskiarviointeja tekevät, mikä on kohde ja millaisia tai minkä tyyppisiä riskienarviointeja ollaan kulloinkin laatimassa. Lähes kaikilla toimi- ja teollisuuden aloilla on turvallisuuteen liittyviä standardeja, joissa kuvataan erilaisia turvallisuuden hallintaan liittyviä menetelmiä ja tekniikoita. Esimerkkinä mainittakoon Standardin IEC 61508 mukainen turvallisuuden elinkaarimalli tai konedirektiivi ja siitä säädetty koneasetus 400/2008. Koneasetuksessa esitetään turvallisuusvaatimuksia päämääränä koneiden riskien vähentäminen ja turvallisuuden varmistaminen riskienhallinnan avulla (Siirilä 2009 19, 39).

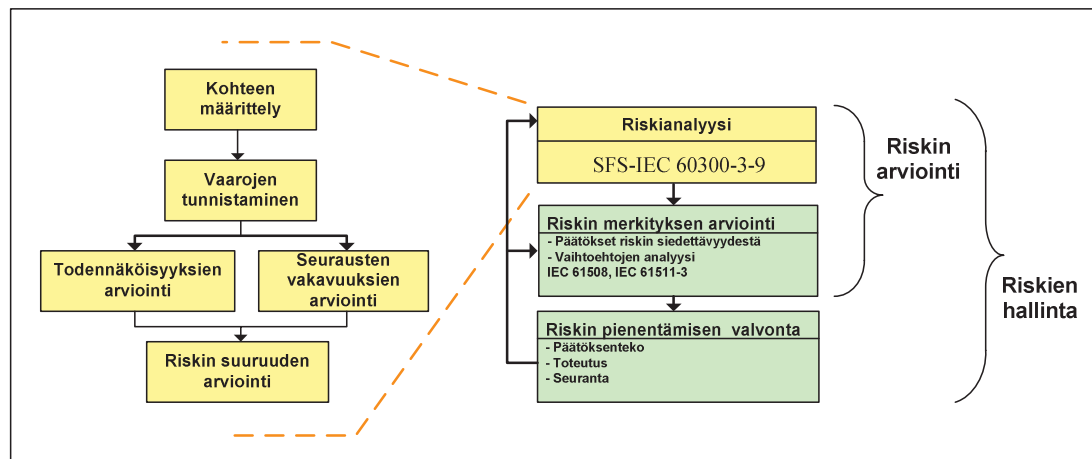
Yleensä standardeissa ja riskienhallintamenetelmissä mainitaan toimialat tai perusteet siitä mihin ne on alun perin suunniteltu, mutta monesti niitä sovelletaan ristiin ja soveltuvien osin muillakin teollisuustoimialoilla. Menetelmissä varsin usein tuodaan julki se, etteivät ne pyri esittämään täydellistä järjestelmää, vaan eri vaiheissa suositaan käytettäväksi jopa useita rinnakkaisia menetelmiä esimerkiksi, silloin kun mietitään menetelmiä riskien tunnistamisessa.

9.4 SFS-IEC 60300-3-9 standardin mukainen riskienhallinta ja sen käsitteet

Tässä työssä riskienhallintaprosessin käsitteistönä ja riskianalyysin perusteina käytetään hyvin pitkälle standardin IEC 60300-3-9 mukaisia käsitteitä, mutta myös muita IEC:n julkaisemia standardeja käytetään, muun muassa riskin pienentämisen määrittelyssä. IEC 60300-3-9-standardi on valittu peruslähde-tekseksi muun muassa siitä syystä, että se on laadittu nimenomaan teknisten

järjestelmien riskianalyysin perusstandardiksi. Lisäksi standardi on vahvistettu suomalaiseksi kansalliseksi standardiksi tunnuksella SFS-IEC 60300-3-9. Kyseistä standardia käyttää muun muassa VTT, jonka kanssa puolustusvoimat tekee paljon turvallisuuteen liittyvää yhteistyötä. SFS-IEC 60300-3-9:n keskeiset käsitteet on esitetty liitteessä 4.

Kuviossa 27 on esitetty (SFS-IEC 60300-3-9, 28) riskienhallinnan käsitteet ja riskitoimintojen riippuvuudet. Käsitteet on seuraavissa alakohdissa selitetty.



KUVIO 27. SFS-IEC 60300-3-9 mukaiset riskienhallinnan käsitteet ja riskitoimintojen riippuvuudet

9.4.1 Riskienhallinta

Riskienhallinta tarkoittaa johtamisperiaatteiden menettelytapojen ja käytäntöjen järjestelmällistä hyväksikäyttämistä riskien analysoimiseksi, merkityksen arvioimiseksi ja valvomiseksi. Ennen kuin riski voidaan hallita tehokkaasti, se on analysoitava.

Kuten kuvasta 27 nähdään, riskienhallinta pitää sisällään riskien arvioinnin ja riskin pienentämisen valvonnan. Riskianalyysi on puolestaan osa riskin arviointia. Todettakoon, että IEC 60300-3-9 -standardi ei tuo esille riskikommunikaatiota missään muodossa, vaan se keskittyy lähinnä teknisiin seikkoihin.

9.4.2 Riskin arviointi

Riskin arviointi on riskianalyysin ja riskin merkityksen kokonaisprosessi, jossa esimerkiksi arvioidaan työntekijöiden terveydelle ja turvallisuudelle työpaikalla ilmenevästä vaarasta aiheutuva riski. (SFS-IEC 60300-3-9, 6.)

9.4.3 Riskianalyysi

Riskianalyysi tarkoittaa (SFS-IEC 60300-3-9, 6.) mukaan saatavissa olevan tiedon järjestelmällistä käyttämistä vaarojen tunnistamiseksi ihmisiin tai väestöön, omaisuuteen tai ympäristöön kohdistuvan riskin suuruuden arvioimiseksi. Riskin suuruuteen vaikuttaa tapahtuman todennäköisyys ja seurausten vakavuus (ks. yhtälö 20). Riskianalyysin kokonaistavoite on tarjota rationaalinen perusta riskiä koskeville päätöksille. Se vaatii usein poikkitieteellistä lähestymistapaa ja se voi kattaa erilaisia osaamisalueita, kuten järjestelmäanalyysi, todennäköisyyslaskenta, luonnon- ja terveystieteet, tekniikan osa-alueet, sosiaaliset tieteet ja inhimilliset tekijät.

Yleisesti riskianalyysi pyrkii vastaamaan kolmeen yleiseen kysymykseen:

- Millaiset tapaukset kohteessa voivat johtaa ei-toivottuihin seurauksiin?
- Mitkä ovat seuraukset?
- Mikä on näiden todennäköisyys?

Heikkilä & Murtonen & Nissilä & Virolainen (2007, 8) mukaan riskianalyysi on laadultaan hyvä, kun se vastaa edellä esitettyihin kysymyksiin kuvaamalla totuudenmukaisesti ja kattavasti tilannetta tarkasteltavassa kohteessa. Jotta tähän päästään, on riskianalyysi suunniteltava, toteutettava ja dokumentoitava laadukkaasti.

9.4.3.1 Kvantitatiivinen ja kvalitatiivinen riskianalyysi

Riskianalyysi voidaan jaotella käytettyjen menetelmien perusteella kvantitatiiviseen ja kvalitatiiviseen analyysiin tai näiden yhdistelmään. Kvantitatiivisessa analyysissä käytetään hyväksi saatavilla olevaa tietoa, josta voidaan laskennallisesti arvioida tarvittavat todennäköisyydet, tapahtumien taajuudet ja seurausten aiheuttamat kustannukset. Kyseessä on siis todennäköisyyspohjainen analyysi PRA (Modarres, 2006, 33). Kvalitatiivisessa analyysissä todennäköisyydet sekä seuraukset arvioidaan sanallisesti ja niistä muodostetaan riskimatriisi päätöksenteon tueksi. Kulloisenkin riskin suuruus määräytyy yhtälön 20 mukaisena riskitulona. Kvalitatiivinen analyysi on huomattavasti helpompi toteuttaa kuin kvantitatiivinen, jonka toteutus on usein kallista, aikaa vievää ja monimutkaista. Toisaalta kvalitatiivinen analyysi voi olla äärimmäisen subjek-

tiivista (Laitonen, J. 2010, 17). Esimerkiksi ydinturvallisuuden liittyvässä riskien hallinnassa laaditaan todennäköisyyspohjainen riskianalyysi. Kolmas vaihtoehto on käyttää edellä mainittujen menetelmien yhdistelmää, jolloin esimerkiksi päätökset ja viranomaisvaatimukset voidaan perustaa yhdistämällä kvantitatiivisten riskiarvioiden, determinististen onnettomuusanalyysien sekä enemmän tai vähemmän subjektiivisten asiantuntija-arvioiden tulokset. Tällaista menettelyä kutsutaan riskitietoiseksi päätöksenteoksi. (Laitonen, J. 2010, 18.)

9.4.3.2 Kohteen määrittely

Riskianalyysi alkaa kohteen määrittelyllä, jossa tarkasteltava kohde rajataan analyysille asetettujen tavoitteiden mukaisesti. Kohde voi olla esimerkiksi valvontatutka, jonka käyttäjilleen ja muulle väestölle mahdollisia mikroallosäteilyn terveysvaikutuksia halutaan selvittää. Kohteena voi olla myös yksittäisiä henkilöitä tai henkilöryhmiä jotka ovat alttiina riskille.

9.4.3.3 Vaarojen tunnistaminen

Vaarojen tunnistaminen on prosessi, joka tunnistaa, että vaara on olemassa, ja määrittelee sen ominaispiirteet (SFS-IEC 60300-3-9, 8). Vaarojen tunnistaminen on hyvin keskeinen elementti ja se muodostaa käytännössä koko riskienhallinnan perustan. Jos vaaraa tai riskiä ei tunnisteta, miten sitä voidaan ylipäättään hallita? Säteilyturvallisuusriskien ja riskiskenaarioiden ideointi voidaan monimutkaisissa järjestelmissä toteuttaa esimerkiksi aivoriihitekniikalla, jossa eri ryhmän jäsenten ajatuksia riskeistä puretaan yhteisesti pohdittavaksi. Vaarojen tunnistamisen jälkeen voidaan tehdä säteilyn käytön suunnitelma, jossa on kirjattu käytännön tasolla tunnistetut säteilylähteet, niiden käyttö ja tekniset ominaisuudet. Tekniset ominaisuudet määräävät hyvin pitkälle järjestelmän turvaetäisyydet ja sitä kautta turvallisuuden liittyvät erityistoimet, kuten varotoimet ja ohjeistuksen.

Vaarojen tunnistamisessa voidaan kerätä tietoa työtehtävään liittyvistä tapaturmista, kuten millaisia ovat työtehtävässä tyypillisesti esiintyvät tapaturmat ja toimenpiteet niiden estämiseksi. Lisäksi riskinarvioinnissa määritetään yleisesti koneen ominaisuudet, kuten koneen käyttämät energialähteet ja –muodot

(sähkö, paineilma, hydraulikka ,säteily); koneen voimat, nopeudet ja muut ominaisuudet; työstössä käytettävät ja syntyvät aineet; sekä koneen käyttötavat ja –ympäristöt. Vaarojen tunnistaminen sisältää tutkittavan järjestelmän systemaattisen katselmuksen, jolla tunnistetaan järjestelmälle luontaiset vaaratyytit sekä tavat, joilla ne voisivat toteutua. Vaarojen tunnistamismenetelmät jakautuvat karkeasti (SFS-IEC 60300-3-9, 22) kolmeen ryhmään:

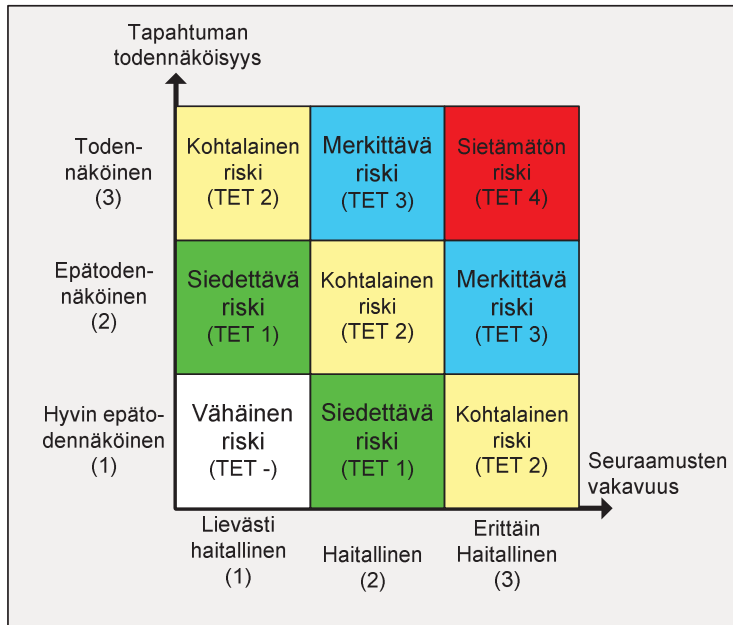
- Vertailevat menetelmät, joista esimerkkinä ovat tarkastuslistat, vaaraindeksit ja kokemustiedon katselmuksat. Menetelmänä mm. vaarallisen skenaarioiden analyysi (HAZSCAN)
- Perusmenetelmät, jotka on kehitetty ohjaamaan työryhmää käyttämään kaukokatseisuutta yhdessä tietämyksensä kanssa vaarojen tunnistamiseen esittämällä sarja ”mitä jos?” kysymyksiä. Esimerkkinä tällaisista menetelmistä ovat poikkeamatarkastelu (HAZOP), Potentiaalisten ongelmien analyysi (POA) sekä vika- ja vaikutusanalyysi (VVA)
- Induktiiviset päättelytekniikat, kuten tapahtumapuun (TPA) tai syysseuraus (SSK) tapaiset loogiset kaaviot.

Myös muita tekniikoita voidaan käyttää. Olennaista on oivaltaa, että riippumatta kulloinkin käytettävistä tekniikoista on tärkeää, että kaiken kaikkiaan vaarojen tunnistamisprosessissa kiinnitetään riittävä huomio sille tosiseikalle, että ihmisen ja organisaation virheet ovat monissa onnettomuuksissa tärkeitä tekijöitä. Tästä johtuen ihmisen ja organisaation virheen sisältävät onnettomuusskenaariot pitäisi myös liittää vaarojen tunnistamisprosessiin, jota ei pitäisi suunnata yksinomaan teknisiin näkökohtiin.

9.4.3.4 Todennäköisyyksien ja seurausten vakavuuden arviointi = Riskin suuruus

Ionisoimattoman säteilyn altistumisista ja vaikutuksista ei ole olemassa riittävästi tilastollista tietoa, jonka perusteella voitaisiin laskea riskien todennäköisyyksiä. Näin ollen riskien arvioinnissa kvantitatiivisten menetelmien käyttö ei tule kyseeseen. Tällaisissa tapauksissa onkin perusteltua luokitella onnettomuusskenaariot kvalitatiivisesti ja sijoittaa ne eri riskin tasoja ilmaisevaan riskimatriisiin. Kvantifioinnissa keskitytään sitten niihin skenaarioihin, joiden arvioidaan aiheuttavan suurimmat riskit. Riskimatriisissa muuttujia ovat ainakin haitallisten seurausten luonne ja suuruusluokka sekä todennäköisyyden tai esiintymistiheyden suuruusluokka. Kuviossa 28 on esimerkki riskimatriisista. Matriisissa on viisi eri väreillä merkittyä riskiluokkaa. Esimerkiksi sietämätön

riski syntyy silloin, kun se on erittäin haitallinen ja todennäköinen. Luokittelussa voidaan myös käyttää kertoimia seuraamusten vakavuudelle (1-3) ja vastaavasti tapahtuman todennäköisyydelle (1-3), jolloin saadaan yhtälön 20 mukainen riskitulo. Mitä suurempi riskitulo on, sitä suurempi on riski. Joissakin tilanteissa riskit voidaan myös luokitella turvallisuuden eheyden (TET) mukaan. Turvallisuuden eheystasoa käsitellään kohdissa 9.4.5 ja 9.4.6.



KUVIO 28. Riskimatriisi

Taukokossa 7 on esitetty erään johtamisajoneuvon radiolaitteita koskeva riskimatriisi, jossa on otettu mukaan toimenpiteitä, joilla riskejä voidaan pienentää. Sen jälkeen on arvioitu jäännösriski. Tarkastelussa on arvioitu kukin radiojärjestelmä erikseen säteilyturvamittauksista saatujen tulosten ja esitettyjen riskikuvausten perusteella.

Taulukko 7. Riskimatriisitaulukko

Radioauton sm-säteilyn riskimatriisi, kun ollaan asemapaikassa ja työskennellään auton ulkopuolella (sivuteltassa)												10.2.2011
No:	Riskijärjestelmä	Kuvaus	Riskikohde	Uhka / Riskikurvaus	Todenn T	Vaikutus V	Riskitulo	Suunnitellut toimenpiteet	Toimenpiteiden status	Arvioitu jäännösriski	Vastuu	Lisätietoja
1	LV 441 + piiska-antennit (2kpl)	100W HF lähetin, antenni auton katolla. säteilykuvio Omni, vahvistus 0 - 3 dBi	Käyttäjät	Toiminta-arvon ylitys > 1x raja	3	1	3	Ohjeistus, koulutus, merkinnät	Vahvistettu	2	J-os / MATLE	Toimintataajuu 2-8 MHz Turvaetäisyys 1-2m
2	LV 441 + piiska-antennit (2kpl)	100W HF lähetin, antenni auton katolla. säteilykuvio Omni, vahvistus 0 - 3 dBi	Käyttäjät	Toiminta-arvon ylitys > 5x raja	2	2	4	Ohjeistus, koulutus, merkinnät	Vahvistettu	2	J-os / MATLE	Toimintataajuu 2-8 MHz Turvaetäisyys 1-2m
3	LV 641 + lanka-antenni	20W HF lähetin, antenni auton katolla. säteilykuvio Omni, vahvistus 0 dBi	Käyttäjät	Toiminta-arvon ylitys > 1x raja	1	1	1	NA	Vahvistettu	1	J-os / MATLE	Toimintataajuu 2-8 MHz Turvaetäisyys 0,5 -1 1m
4	LV 641 + lanka-antenni	20W HF lähetin, antenni auton katolla. säteilykuvio Omni, vahvistus 0 dBi	Käyttäjät	Toiminta-arvon ylitys > 5x raja	1	2	2	NA	Vahvistettu	2	J-os / MATLE	Toimintataajuu 2-8 MHz Turvaetäisyys 0,5 -1 1m
5	LV 341 + piiska-antenni	50W VHF lähetin, antenni auton katolla. säteilykuvio Omni, vahvistus 3 - 10 dBi	Käyttäjät	Toiminta-arvon ylitys > 1x raja	3	1	3	NA	Vahvistettu	3	J-os / MATLE	Toimintataajuu 30-90 MHz Turvaetäisyys 1m
6	LV 341 + piiska-antenni	50W VHF lähetin, antenni auton katolla. säteilykuvio Omni, vahvistus 3 - 10 dBi	Käyttäjät	Toiminta-arvon ylitys > 5x raja	2	2	4	Ohjeistus, koulutus, merkinnät	Vahvistettu	2	J-os / MATLE	Toimintataajuu 30-90 MHz Turvaetäisyys 1m
7	TMR 880 + patukka-antenni	10W VHF lähetin, antenni auton katolla. säteilykuvio Omni, vahvistus 0 dBi	Käyttäjät	Toiminta-arvon ylitys > 1x raja	2	1	2	NA	Vahvistettu	2	J-os / MATLE	Turvaetäisyys 30 cm
8	TMR 880 + patukka-antenni	10W VHF lähetin, antenni auton katolla. säteilykuvio Omni, vahvistus 0 dBi	Käyttäjät	Toiminta-arvon ylitys > 5x raja	1	1	1	NA	Vahvistettu	1	J-os / MATLE	Turvaetäisyys 30 cm
9	Dittel + patukka-antenni	6W VHF lähetin, antenni auton katolla. säteilykuvio Omni, vahvistus 0 dBi	Käyttäjät	Toiminta-arvon ylitys > 1x raja	1	1	1	NA	Vahvistettu	1	J-os / MATLE	Turvaetäisyys 25 cm
10	Dittel + patukka-antenni	6W VHF lähetin, antenni auton katolla. säteilykuvio Omni, vahvistus 0 dBi	Käyttäjät	Toiminta-arvon ylitys > 5x raja	1	1	1	NA	Vahvistettu	1	J-os / MATLE	Turvaetäisyys 25 cm

9.4.4 Riskin merkityksen arviointi

Riskin merkityksen arviointi tarkoittaa riskianalyysin ja riskin merkityksen arvioinnin kokonaisuutta. Kyseessä on siis prosessi, jossa tehdään päätökset riskin siedettävyydestä riskianalyysin perusteella ottamalla huomioon sellaiset tekijät kuten sosioekonomiset ja ympäristölliset näkökohdat.

9.4.5 Riskin pienentämisen valvonta

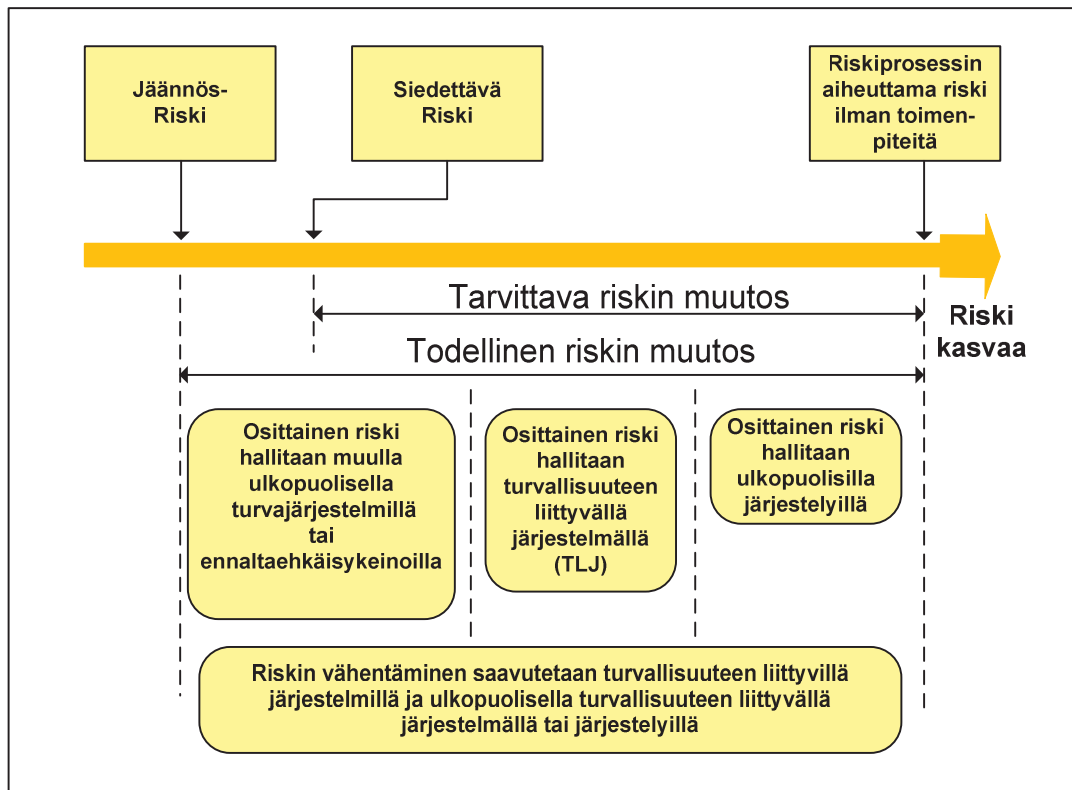
Riskin pienentämisen valvonta on päätöksentekoprosessi riskin hallitsemiseksi ja/tai pienentämiseksi; päätöksentekoprosessin toteuttaminen, täytäntöönpano ja uudelleen arviointi aika-ajoin, käyttäen riskin arviointiin tuloksia yhtenä lähötietona kuvio 25 mukaisesti.

Lähtökohtaisesti pyritään aina siihen, että riskit on poistettava. Käytännössä siihen ei eri syistä kuitenkaan päästä, vaan joudutaan tyytymään tilanteeseen, jossa riskiin jää aina tietty mahdollisuus, niin sanottu jäännösriski. Luonnolli-

sesti vaaralliseksi todetun järjestelmän totalitäärinen käyttökielto poistaa osaltaan riskin ja siitä mahdollisen seurauksen, mutta se on erikoistapaus. Riskin hyväksyttävyydestä päättäminen tehdään usein riskien tunnistamisesta ja arvioinnista saatujen tulosten pohjalta, jonka jälkeen jokainen riski pitää edelleen käsitellä erikseen. Yleisen käsityksen mukaan on olemassa esimerkiksi niin sanottu hyväksyttävyyden raja, jossa riskien hyväksyttävyys lisääntyy, kun siitä koituvat hyödyt kasvavat tietyllä ulottuvuudella. Esimerkiksi ydinvoiman käyttöönottoa on näin perusteltu.

Riskin pienentämisen määrittelyssä voidaan käyttää useita eri menetelmiä. Tällainen menetelmä voi olla tekninen rajoitin tai suoja, mutta se voi olla myös joukkojen käyttäytymistä ohjaava varomääräys tai ohjeistus. Tietyissä tilanteissa osaksi järjestelmää on tarkoituksenmukaista lisätä erillinen turvalaite tai järjestelmä (TLJ = Turvallisuuteen liittyvä järjestelmä), joka huolehtii siitä, ettei järjestelmä pääse aiheuttamaan vaaratilanteita. Yksinkertaisimmillaan tällainen laite voi olla edellä esitetyn kaltainen tekninen rajoitin tai varoventtiili. Monimutkaisimmissa järjestelmissä tai prosesseissa turvallisuudesta huolehtii usein erillinen esimerkiksi turvalogiikka, joka ajaa prosessin tarvittaessa turvalliseen tilaan. Viitteessä (IEC 61508, 51) määritellään kuhunkin turvallisuuden eheystasoon (TET) tason saavuttamiseksi vaadittavat ja suositeltavat suunnittelu-, toteutus ja arviointimenetelmät. Tällaisissa järjestelmissä turvallisuuden eheystason määrittelyissä käytetään usein joko riskigraafi- tai LOPA (Layer of protection analysis) -menetelmiä.

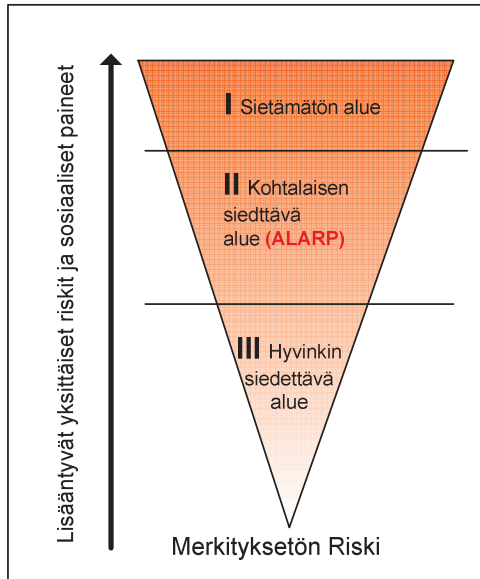
Kuviossa 29 on esitetty (IEC 61511-3, 13) mukainen riskin pienentämisen yleiskonsepti. Kuviossa lähtökohtana on riskien tunnistamisprosessissa löydetty riski ilman toimenpiteitä. Sen jälkeen määritellään siedettävän riskin raja esimerkiksi ALARP -periaatteen mukaan ja sen jälkeen määritellään siihen pääsemiseksi edellytettävät menetelmät (TLJ) ja/tai toimenpiteet vaadittavan turvallisuuden eheystason (TET) mukaisesti.



KUVIO 29. Riskin pienentäminen (IEC- IEC 61511-3)

9.4.5.1 ALARP-periaate

Standardissa (IEC 61511-3,17) esitetään ALARP-periaate, jonka mukaan riskien pienentämiseksi on tehtävä niin paljon toimenpiteitä kuin voidaan kohtuudella vaatia. ALARP-periaatteen mukaan riski voidaan luokitella kuuluvan yhteen kolmesta alueesta: sietämättömän riskin alueeseen, vähäpätöisen riskin alueeseen tai näiden välille sijoittuvaan siedettävän riskin alueeseen eli ALARP-alueeseen. ALARP-alueelle kuuluvan riski tulisi pienentää niin pieneksi kuin se on järkevää kuvion 30 mukaisesti. ALARP-periaate on tarkoitettu alkujaan terveys- ja turvallisuusriskien arvioinnin työkaluksi, joten sitä käytetään esimerkiksi ionisoivan säteilyn ja elinympäristön kemikaaleihin sovellettavissa riskianalyseissä. ALARP-periaate vaatii sovelluskohtaisen raja-arvomäärittelyn eli kalibroinnin.



KUVIO 30. ALARP-periaate

Sen jälkeen, kun on päästy ymmärrykseen siitä, mikä on hyväksyttävän riskin raja, on kyettävä määrittelemään keinot ja menetelmät sen saavuttamiseksi. Riskiä voi vähentää joko pienentämällä vaarallisen tapahtuman seurausta tai kuten yleensä menetellään, pienentämällä vaarallisen tapahtuman todennäköisyyttä. Olivatpa riskin valvonnan menetelmät mitä tahansa, ne olisi syytä kirjata osana riskienhallintaa järjestelmäkohtaisiin TOK-ohjeistuksiin.

9.4.6 Riskigraafi-menetelmä

Riskigraafi-menetelmä on esitetty viitteessä (IEC 61511-3, 34). Menetelmänä se on paljon käytetty prosessiteollisuudessa turvajärjestelmien eheystason määrittelyissä, mutta nykyisin sitä sovelletaan monien toimialojen vastaavissa selvityksissä. Menetelmässä arvioidaan kunkin vaaratilanteen kohdalla seuraavat parametrit: vaarallisen tapahtuman vaikutus tai mahdollisesti aiheutuvan vamman vakavuusaste (parametri C), vaaralle altistuvien henkilöiden lukumäärä ja altistuminen (kuinka suuri osa ajasta työskennellään vaara-alueella), parametri F), vaaran välttämismahdollisuus (parametri P) sekä vaaratilanteen esiintymistajuus (parametri W). Menetelmä sopii sekä kvantitatiiviseen (Annex D) että kvalitatiiviseen (Annex E) riskiarviointiin. Riskigraafi -menetelmä on kalibroitava (parametrit C, F, P ja W) ennen käyttöä niihin olosuhteisiin, joissa menetelmää aiotaan käyttää. Kalibroinnin tekeminen vaatii paljon tietoa ja kokemusta kyseisestä tapauksesta sekä käyttöympäristöstä, jossa sitä kulloinkin aiotaan soveltaa.

Kuviossa 31 on esitetty esimerkki riskigraafi -menetelmän käytöstä HF-radion aiheuttamassa riskitilanteessa ja turvallisuustoimenpiteiden määrittelyssä. Parametriarvojen perusteella riskigraafi antaa kullekin vaaratilanteelle suojaus-toiminnalta vaadittavan turvallisuuden eheystason (TET). Riskigraafista saadaan myös selville vaadittava riskivähennys tai käytännön toimenpiteet riskin pienentämiseksi. Riskigraafeissa alaindeksoidut parametrikirjaimet vastaavat kvantitatiivista ja alaindeksoidut numerot vastaavasti kvalitatiivista menetelmää. Kyseisessä esimerkissä käytetään kvalitatiivista menetelmää. Lopputuloksena saadun TET-luokituksen (3) jälkeen on kyseisissä tapauksessa lisätty riskigraafin perään kirjallinen yhteenveto luokituksen mukaisista toimenpide-ehdotuksista.

Säteilyn riskikuvaus: HF radisti joutuu olemaan 2,4 - 3,8 MHz:n taajuudella toimivan enintään 1 kW:n lähtetimen antennin (LK99 lanka 0-2 dBi) välittömässä läheisyydessä (noin 1 - 2 m), jolloin enimmäisaltistuksen rajat saattavat ylittyä. Säteily kohdistuu oletusarvoisesti koko kehoon.

Laskennalliset tehotiheyden arvot W/m^2 (1 kW läheteellä) etäisyys 2m - 0,5m:

Taajuus	Ant gain (dBi)	2m	1m	0,5m	Toiminta-arvo (W/m^2)
2,4 MHz	0	20	80	320	173
3,0 MHz	0,5	23	90	367	111
3,4 MHz	1,5	28	113	450	86
3,8 MHz	2	32	126	505	70

Laskennalliset tehotiheyden arvot W/m^2 (500 W läheteellä):

Taajuus	Ant gain (dBi)	2m	1m	0,5m	Toiminta-arvo (W/m^2)
2,4 MHz	0	9	40	160	173
3,0 MHz	0,5	11	45	178	111
3,4 MHz	1,5	14	56	225	86
3,8 MHz	2	16	63	252	70

Punaisella on merkitty altistusrajan ylitykset yllä.

Riskigraafin parametrit ja kalibrointi-arvot (HF-radiot 0- 30 MHz, < 1000W)

Seurauksen vakavuus C (Radiotaajuinen sm-kenttä)

- C1 < 2x altistusrajan hetkellinen ylitys (voi olla oireeton)
- C2 < 5x altistusrajan ylitys (voi olla oireeton). Edellyttää lääkärintarkastusta
- C3 < 10x altistusrajan ylitys (oireita/ voi olla oireeton). Edellyttää lääkärintarkastusta
- C4 < 20x altistusrajan ylitys. Lämmön tuntu kehossa tai kehon osassa, palovammoja tai muita oikeita. Edellyttää lääkärintarkastusta tai potilaan toimittamista sairaalaan.

Vaaralle alttiinaolo F (Oleskelu riskialueella)

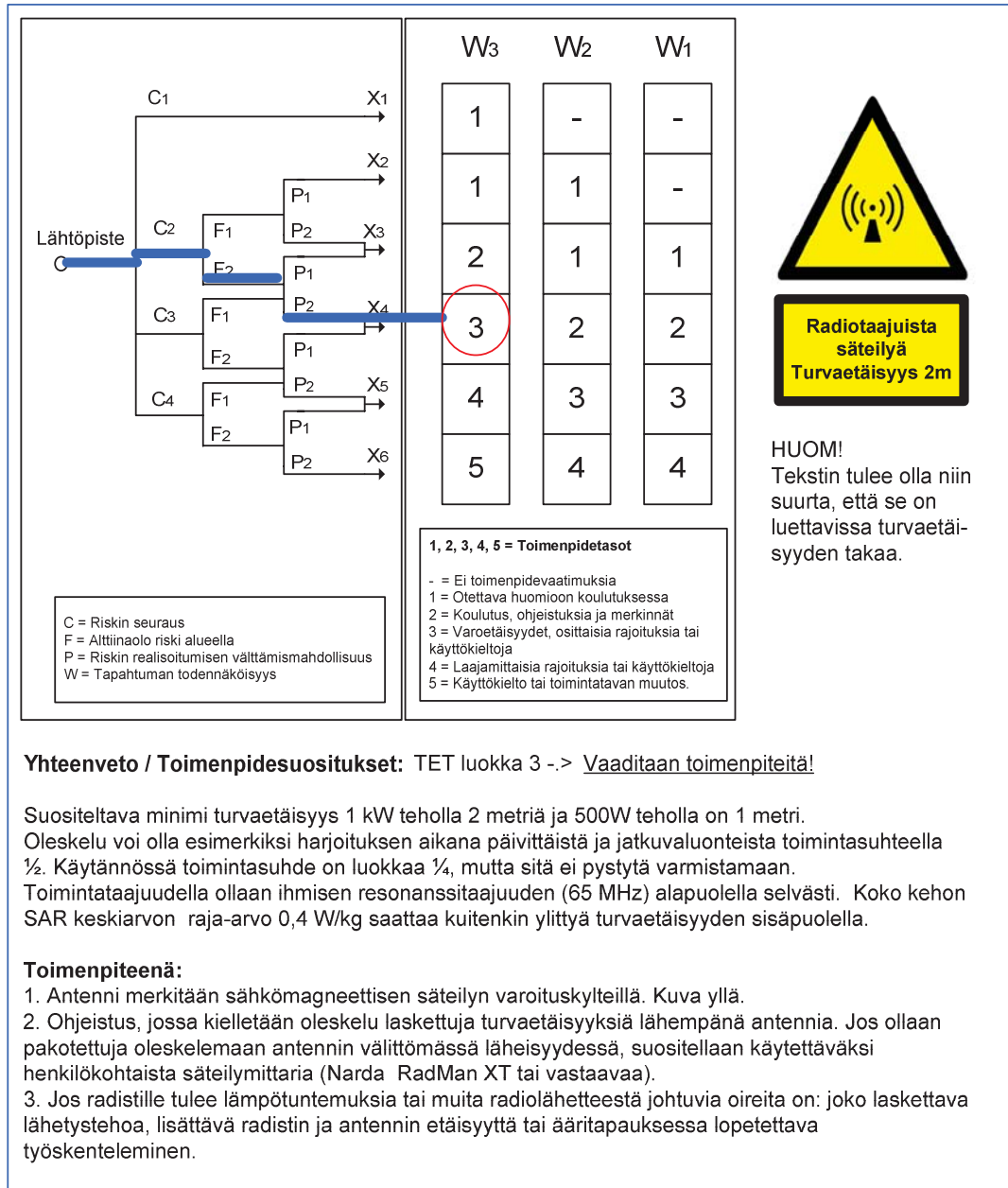
- F1 Satunnainen oleskelu (alle 6 min). Lähettimen toimintasuhde max. 1/5 .
- F2 Usein toistuva oleskelu tai jatkuva oleskelu. Radion toimintasuhde max. 1/2.

Vaaran välttämismahdollisuus

- P1 Mahdollista toteuttaa ohjeistuksilla, raja-aidoilla ym.
P1 valitaan kun oleskelu alue on 99% estetty järjestelmän päällä ollessa.
- P2 Muussa tapauksessa valitaan P2.
Ei voida välttää

Vaadetaajuus W

- W1 Tapahtuu kerran 4:ssä viikossa tai harvemmin (kerran kuussa)
- W2 Tapahtuu 2-4 kertaa kuukaudessa
- W3 Tapahtuu kerran päivittäin.



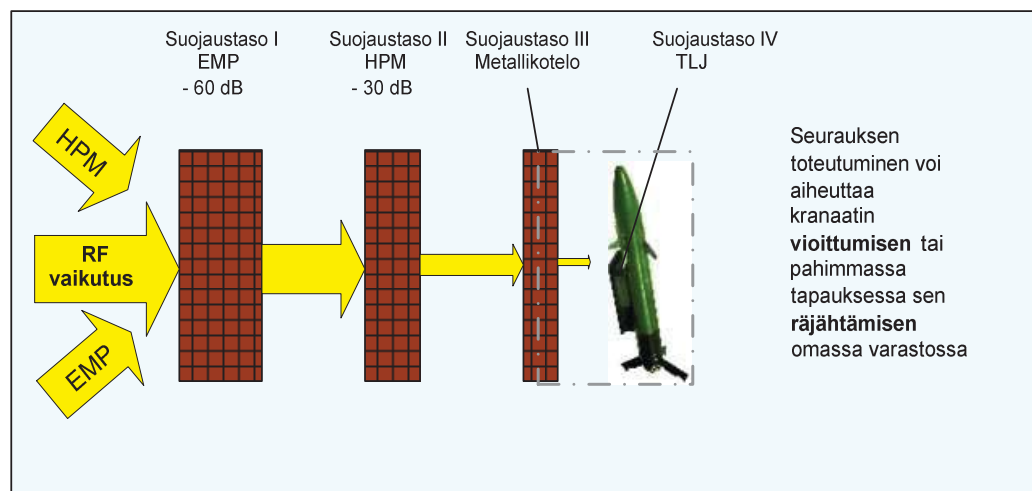
KUVIO 31. Riskigraafi

9.4.7 LOPA-menetelmä

LOPA-menetelmä on (IEC 61511-3, 28) paljon käytetty semikvantitatiivinen riskiarvioinnin työkalu. LOPA:n toiminta-ajatus perustuu sisäkkäisiin, sarjaan kytkettyihin turvatoimiin tai -rakenteisiin. Menetelmää kuvataan usein eräänlaisena kuorisipulina, jossa kukin kuorikerros toimii osaltaan suojakerroksena. Yleensä ulommat kerrokset pyrkivät osaltaan pienentämään riskin realisoidumista ja sisemmät kerrokset pyrkivät pienentämään riskistä syntyneen vahingon vaikutuksia. LOPA-menetelmän avulla saadaan laskettua kunkin kerroksen riskin pienentyminen (riskivähennyserroin) ja sitä kautta sarjaan kytketty

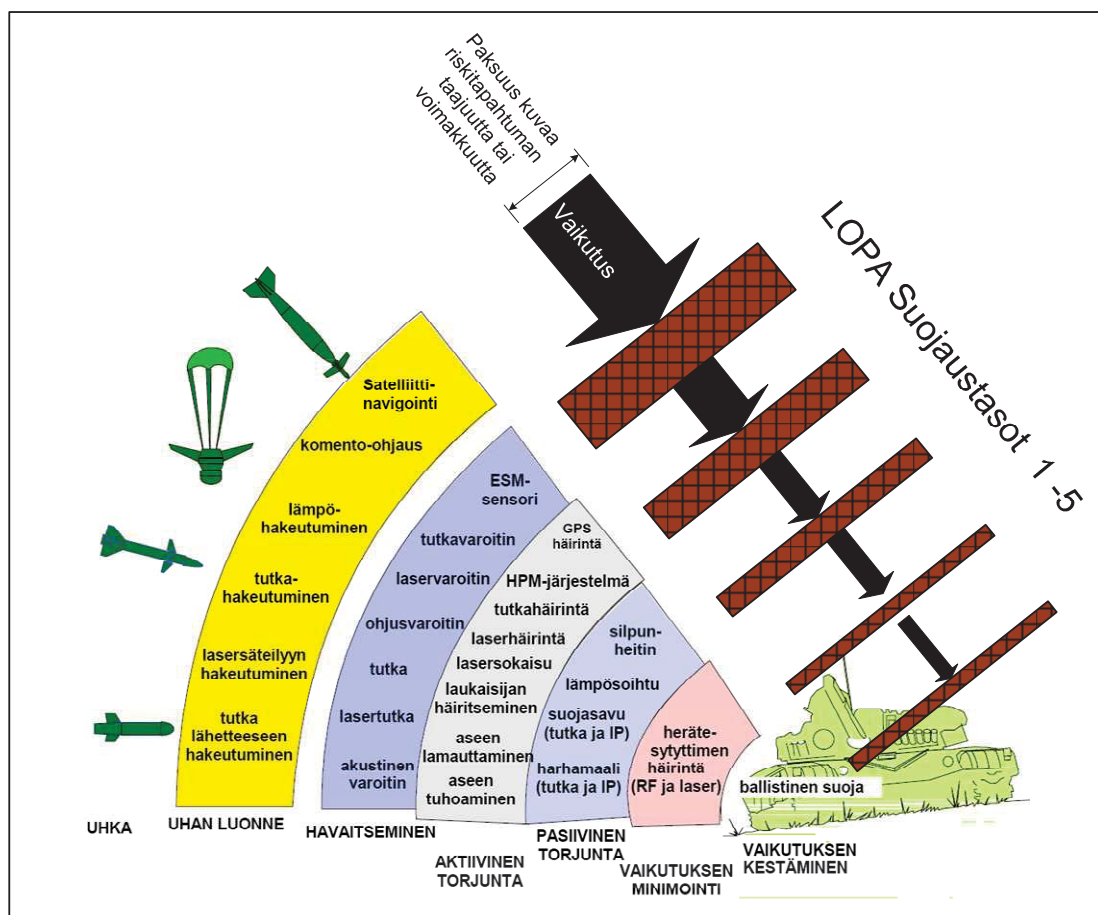
kokonaisriski tai sen kunkin kerroksen vaatimus riskiin varautumiselle. LOPA-menetelmän avulla saadaan määriteltyä siten kunkin kerroksen turvatoiminto ja/tai turvajärjestelmältä vaadittava turvallisuuden eheystaso. Kuviossa 32 on esitetty kohdassa 4.6 esille tuotu sähkömagneettisen säteilyn epäsuorien vaikutusten aiheuttama uhka. Uhka on voimakas RF-kentän vaikutus, HPM-asevaikutus, EMP-pulssi tai kaikki yhdessä. Päästessään vaikuttamaan kranaattiin, ne voivat vaurioittaa kranaatin elektroniikkaa tai pahimmassa tapauksessa aktivoida sen laukaisumekanismin. Jos uhkaparametrit tunnetaan, voidaan LOPA-menetelmän avulla laskea tarvittava turvamarginaali. Esitettyssä vaadittava suojauskerros koostuu neljästä kerroksesta, jossa kaksi ulointa toimii voimakasta RF-energiaa vaimentavana kerroksena. Kolmantena kerroksena on metallinen kotelo, joka toimii sähkömagneettisilta kentiltä suojaavana niin sanottuna Faradayn häkkinä, ja jonne kranaatti on varastoinnin aikana sijoitettu. Suojaustaso IV on toteutettu kranaattiin rakennetulla mekaanisella turvallisuusjärjestelmällä (TLJ), joka estää varsinaisen kranaatin laukeamisen, vaikka sen elektroniikka vaurioituisikin vaarallisesti. Yleensä se on jokin mekaaninen salpa tai sokka.

Yleensä sähköisen uhan suojajärjestelmät on tehty niin, että kukin suojauskerros toimii ominaisuuksiensa mukaisesti parhaiten aina tiettyä uhkavaikutusta suojaavana kerroksena. Mutta rakenne voi olla myös sellainen, jossa kukin suojakerros toimii kaikkia tunnettuja uhkia vastaan omalla osavaikutuksella, jolloin toteutuu LOPA:n mukainen sarjasuojavaikutus.



KUVIO 32. LOPA–suojaustasojen toimivuus useita eri uhkakuvia vastaan

Kuviossa 33 on esitetty toinen turvallisuuskuorimenettelyä havainnollistava sipulikuorimalli, jossa menettelyä on sovellettu kohteen suojauksen yhteydessä. Suojelukohteena on taistelijoita sisältävä sotilasjärjestelmä. Vihollisen asevaikutus aiheuttaa riskin ja uhan. Suojan kokonaisuuden arviointi tehdään uhkaskenaarion ja operaatioanalyysin avulla.



KUVIO 33. LOPA–menetelmä omasuojan määrittelyssä

Kuoren sisemmällä osilla pyritään pienentämään tai estämään järjestelmän riskin todennäköisyyttä (havaittavuutta) häiveteknisillä ratkaisulla (naamiomaalaus, lämpösuojaus, emissiohallinta). Jos järjestelmä kuitenkin havaitaan, sen omasuojajärjestelmän tehtävä on harhauttaa vihollisen asevaikutuksen osuminen kohteeseensa (harhamaalit, soihdut ja suojasavut). Jos tämäkin turvatoiminto epäonnistuu ja järjestelmä altistuu tulivoimalle, sen ballistinen panssarisojaus pyrkii suojaamaan järjestelmää ja taistelijoita tulivoiman vaikutukselta. Viimeisenä suojakerroksena voi lisäksi toimia taistelijan henkilökohtainen varustus (turvaliivi ja kypärä). Suojauskerrokset voi sanallisesti esittää seuraavasti: I Älä tule yllätetyksi, II Älä näy, III Vältä osumat, IV Vältä läpäisyt ja V minimoi vahingot (Kosola & Solante 2003,441).

LOPA–menetelmän hyvänä puolena pidetään muun muassa sitä, että se pakottaa riskinarvioijaa käsittelemään riskiä, sen aiheuttajia ja vaikutusta kokonaisvaltaisesti. Samalla LOPA:n avulla voidaan tehdä erillISRatkaisuja ja painottaa erityisesti tiettyjä kerroksia. Esimerkiksi kuvan 33 mallitapauksessa, kun panostusta lisätään havaitsemisen estämiseen, ei välttämättä tarvita enää niin suuria panostuksia sisempiin, torjuviin tai suojaaviin kerroksiin.

9.5 Varovaisuusperiaatteen soveltaminen

Kuten on useasti aiemmin todettu, ionisoimattoman säteilyn mahdollisista terveysvaikutuksista ja riskeistä ei ole olemassa tutkijoiden ja alan asiantuntijoiden keskuudessa selvää yksimielisyyttä. Viimevuosina onkin lähinnä matkapuhelinten ja langattomien verkkojen aiheuttaman säteilyn yhteydessä käytetty termiä varovaisuusperiaate, joka lähtee siitä, että riskejä on syytä välttää etukäteen, vaikkei riittävää tietoa niiden haitallisista vaikutuksista vielä olisi-kaan. Esimerkki varovaisuusperiaatteen käyttämisestä on Pohjoismainen kannanotto matkapuhelimista ja terveydestä, joka antaa suosituksia lasten kännyköiden käytön rajoittamiseksi. (STUK 2009, 3.)

Alun alkaen varovaisuusperiaate, toiselta nimeltään ennalta varautumisen periaate, on kuulunut kansainvälisen ympäristöoikeuden periaatteisiin (Wikipedia, Varovaisuusperiaate). Myöhemmin periaatteen käyttö on laajentunut käsittelemään ihmisiin, eläimiin ja kasveihin kohdistuvia riskejä. Lyhyesti periaate ilmentää ajatuskulkua, jonka mukaan tiettyihin ympäristöä suojeleviin toimenpiteisiin ryhtymistä ei estä täyden tieteellisen varmuuden puuttuminen kyseisen toimenpiteen seurauksista. Periaatteen formuloinnin konteksti muodostuu kolmesta eri osatekijästä, joiden jokaisen tulee olla läsnä: potentiaallinen uhka, tieteellisen tiedon riittämättömyys mahdollisen riskin vaikutuksista ja pyrkimys vaaran mahdollisten seurausten ehkäisemiseen (Manson 2002, 265). Jos on esimerkiksi syytä olettaa, että sähkömagneettisen säteilyn riskeistä aiheutuu pitkän aikavälin uhkaa tai peruuttamatonta tuhoa, varovaisuusperiaate oikeuttaa yksilön tai yritysten toiminnan kontrolloimista ja rajoittamista hallinnollisin toimenpitein. Ennalta varautumisen periaatteen voisi mahduttaa pähkinänkuoreen: ”Parempi katsoa kuin katua”.

Varovaisuusperiaatetta on kritisoitu muun muassa siitä, että joissakin tilanteissa periaatteen kirjaimellinen soveltaminen johtaa helposti käytännön mahdottomuuksiin ja ongelmaksi tulee sattumanvarainen soveltaminen, jossa periaatetta sovelletaan joihinkin esimerkiksi syöpää aiheuttaviin aineisiin, mutta ei kaikkiin. Toinen kritiikin syy on, että mitä epävarmempia tutkimustulokset ovat, sitä suurempaa turvallisuusmarginaalia käytetään. Tämä johtaa siihen, että hyvin tutkittuihin ja hyvin tunnettuihin riskeihin suhtaudutaan lievemmin kuin huonosti tunnettuihin. Tällöin riskien priorisointi vääristyy ja suuria resursseja käytetään epävarmoin riskeihin ja varmat riskit jäävät vähemmälle huomiolle. Monissa yhteyksissä onkin esitetty, että varovaisuusperiaatetta tulee käyttää varovasti ja vain perustellusta syystä (Wikipedia, Varovaisuusperiaate).

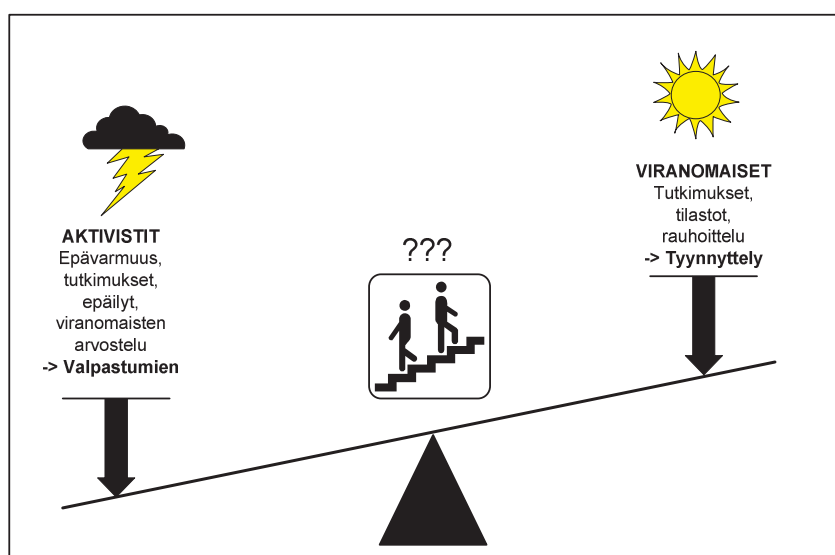
9.6 Riskikommunikaatio

Maallikoiden on vaikea hahmottaa sähkömagneettista säteilyä, samoin kuin siihen liittyviä riskejä. Matalatason sähkömagneettista säteilyä on käytännössä mahdotonta aistein havaita, koska se ei näy, haise tai maistu. Vasta ollessaan erittäin voimakkaassa kentässä, voi ihminen kokea kohdassa 4.4 esitettyjä lämpöaistimuksia. Näin ollen sähkömagneettisen säteilyn todellisen luonteen hahmottamiseksi tarvitaan tieteellistä tutkimusta (ks. kohta 4.7). Luonnontieteellisillä tutkimuksilla ollaan saatu kartoitetuksi monia meitä ympäröiviä terveysriskejä. Sähkömagneettisen säteilyn osalta tieteen ongelma on ollut riittävän varmuuden saavuttaminen ja tutkimustulosten kiistattomuuden ja puolueettomuuden osoittaminen. Maallikot ja osa asiantuntijoista (aktivistit) ovat epäileviä, koska osa puolueettomien tutkimuslaitosten tutkimuksista toteutetaan niin sanottujen intressirytysten rahoituksella. Esimerkiksi kohdassa 4.7 esitetty COSMOS-tutkimus rahoitetaan ainakin osittain Elisa Oyj:n ja Telia-Soneran tuella. Lisäksi tutkimustuloksia on arvostelu muun muassa siitä syystä, että ionisoimattoman säteilyn vaikutuksia on tutkittu liian lyhyellä aikavälillä.

Sillä aikaa, kun luonnontieteelliset tutkimukset ovat selvittäneet mitä terveysvaikutuksia esiintyy, on yhteiskuntatieteiden puolella pyritty selvittämään, miten kansalaiset pystyvät hahmottavat sähkömagneettiseen säteilyyn liittyviä riskejä. Viime vuosina on tehty lukuisia, esimerkiksi matkapuhelinten säteilyyn

ja riskien hahmottamiseen liittyviä selvityksiä ja tutkimuksia. Kun luonnontieteen ja yhteiskuntatieteen tutkimustulosten pohjalta vedetään yhteisiä johtopäätöksiä, voidaan todeta, että maallikoilla ja tieteen asiantuntijoilla on erilaiset käsitykset terveystriskeistä. Yleisesti voidaan todeta, että maallikot eivät arvioi riskejä subjektiivisesti (Nyberg ym. 2006, 502).

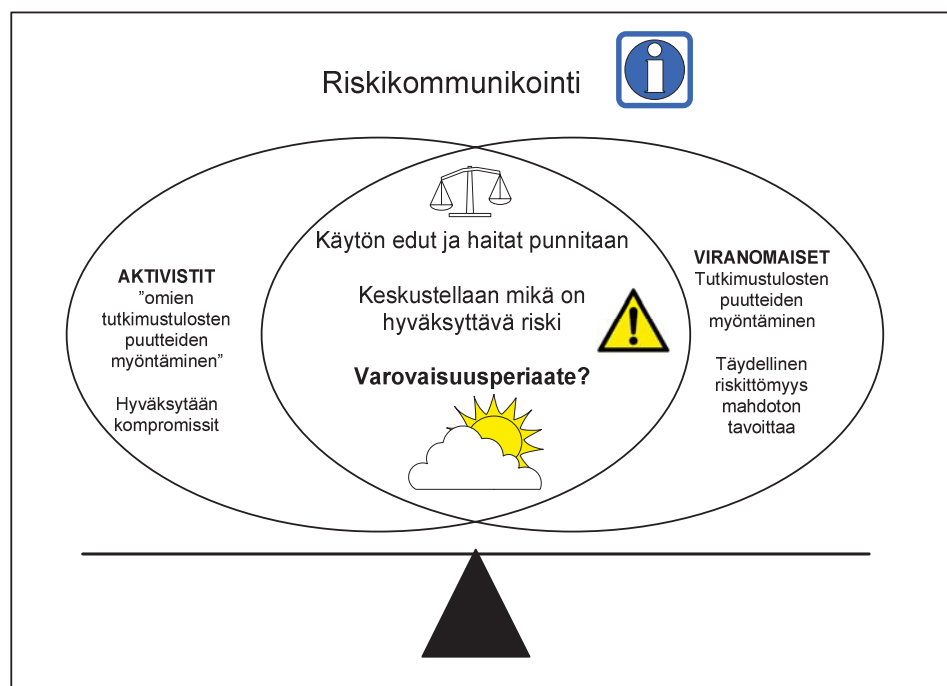
Nyberg ja muut (2006, 502) mukaan riskikommunikaation avulla pyritään kaventamaan eroa maallikoiden ja asiantuntijoiden hahmottaman riskin suuruudesta sekä saamaan riskinarvioijat tietoisiksi maallikoiden laajemmasta riskikäsityksestä. Kuvio 34 esittää keinulautatilannetta, joka vallitsee ennen riskikommunikaatiota. Yksilö elää epävarmuuden tilassa eikä tiedä kuka on oikeassa ja ketä uskoa. Kuvio 35 esittää riskikommunikaation aikaista tilannetta, jossa osapuolten välisen vuorovaikutuksen avulla tilanne saadaan objektiiviseksi ja paremmin hallintaan.



KUVIO 34. Riskikommunikaatiota edeltävä tilanne

Nykyään riskikommunikointi nähdään vuorovaikutteisena silloin, kun maallikot ja asiantuntijat keskustelevat haitan aiheuttajista ja niihin liittyvistä riskeistä. Yksi riskikommunikaation haaste on yleisön epäluottamuksen voittaminen. Riskikommunikaatio ei ole vain faktojen esittämistä yleisölle, vaan myös luottamuksen rakentamista ja suhteiden vahvistamista. Onnistuneella riskikommunikaatiolla voidaan välttää tarpeettomia väärinkäsityksiä, kasvattaa yleisön luottamusta tietoa välittävään tahoon, parantaa maallikoiden ja asiantuntijoiden välistä ymmärrystä sekä lisätä maallikoiden ja asiantuntijoiden välistä

yhteistyötä riskinarviointi ja -hallintaprosesseissa. Onnistuneella riskikommunikaatiolla voidaan myös saada yksilöt muuttamaan omaa käyttäytymistään ja siten vähentämään henkilökohtaista terveysriskiään (Nyberg ym. 2006, 58). Monipuolisimmillaan riskikommunikaatio on pitkään jatkuvaa yksilöiden, ryhmien ja eri viranomaisten vuorovaikutteista tiedon ja mielipiteen vaihtoa (Mordares, 2006, 333). Eräs riskikommunikaatioon liittyvä peruskysymys on usein se, mikä on hyväksyttävä riski



KUVIO 35. Onnistunutta riskikommunikaatiota kuvaava balanssitila

9.7 Ionisoimattoman säteilyn tunnistamien riskinä ja sen aiheuttamat työtapaturmat

Radiotaajuista säteilyä ei todennäköisesti tunnisteta puolustusvoimien työpaikoilla kuvinkaan suureksi riskiksi. Puolustusvoimien toimipisteissä tehdään aika-ajoin työhön liittyviä riskikartoituksia. Työpaikkojen riskikartoitusta varten on laadittu erillinen fyysisten vaaratekijöiden kyselylomake, jossa arvioijaa pyydetään tunnistamaan esitettyjä vaaratekijöitä ja merkitsemään ne luokkiin: esiintyy, ei vaaraa, ei tietoa. Puolustusvoimien käytössä olevassa työriskilomakkeessa (5.) mikroaallot esiintyy koodilla F18 ja sähkömagneettinen säteily koodilla F19. Kartoitusten tarkastelu osoitti, että kaikissa PVAH-arkistosta löydettyissä eri joukko-osastojen tekemissä, noin kahdessakymmenessä vastauksessa oli merkitty sähkömagneettinen- ja mikroaaltosäteily luokkaan ei

vaaraa. On kuitenkin oletettavaa, että puolustusvoimissa on sellaisiakin työpisteitä ja tehtäviä, joissa nämä voidaan luokitella esiintyviksi.

Sen sijaan matkapuhelinten aiheuttama säteily koetaan lähes kaikissa väestön osissa ainakin jonkinlaisena uhkana ja terveysriskinä. Esimerkiksi Aamulehti julkaisi (Aamulehti, 2010) monisivuisen, Suomi säteilee-artikkelin matkaviestimien säteilyturvallisuudesta. Artikkelissa tuotiin esille muun muassa matkaviestimien säteilyn mahdollisesti pikkulapsille aiheuttavia terveysriskejä. Artikkelissa esitettiin myös tukiasemien sijaintia koskevaa kritiikkiä. Monet kokevat tukiasemien aiheuttaman säteilyn terveysriskinä lapsille, jos ne on sijoitettuna esimerkiksi lähelle koulua tai päiväkoteja. Aamulehti järjesti muutaman päivän päästä artikkelin julkaisusta tunteita kuohauttavan paneelikeskustelutilaisuuden, jossa oli edustettuna viranomaisia ja erialojen asiantuntijoita. Tilaisuuteen oli yleisöllä vapaa pääsy. Paneelikeskustelun jälkeisessä äänestyksessä 25 % vastaajista oli vähän huolissaan kännykän säteilystä ja 75% oli siitä paljon huolissaan. Tukiasemien siirtämisestä 78 % vastaajista oli sitä mieltä, että ne pitäisi siirtää pois koulujen ja päiväkotien läheisyydestä ja vain 6% oli sitä mieltä ettei näin pidä menetellä. 17 % vastaajista ei osannut esittää kantaansa. Paneelikeskustelua seuraavana päivänä Aamulehti otsikoi Näkökulma-osion artikkelissa seuraavasti: ”Kännyköiden säteily nosti yleisössä veronpainetta”.

Matkaviestimien tukiasemat, radiolinkit ja Ilmavoimien kiinteät valvontatutkat ovat yleensä hyvin näkyvillä ja niiden pyörintä havaittavissa. Ehkä juuri siksi osa väestöstä kokee niiden säteilyn uhkana ja jotkut kokevat niiden aiheuttamat terveysriskit merkittäviksi. Säteilyturvallisuusmittausten perusteella linkkien, tutkien ja tukiasemien säteilytasot ovat kuitenkin alhaisella tasolla eritoten niillä alueilla, johon väestöllä on pääsy.

Sitä vastoin esimerkiksi matkapuhelinta pidetään käytön aikana pään välittömässä läheisyydessä, jolloin sen aiheuttaman säteily on yleensä huomattavasti suurempi kuin tukiaseman aiheuttama säteily. Silti maallikot pelkäävät tukiasemien säteilyä enemmän kuin varsinaisen puhelimen aiheuttamaa säteilyä. Eri julkaisuista on viime vuosina saatu lukea, että tietyissä ulkomailla sijaitsevilla kaupungeilla on päätetty siirtää tukiasemia kauemmaksi asutuk-

sesta. Tutkijoita ja radioalan asiantuntijoita tällainen päätös hämmästyttää, sillä tukiasemien siirtäminen edemmäksi itse asiassa lisää itse matkapuhelimen säteilytehoa. Matkapuhelin on säteilytehon suhteen adaptiivinen, eli se säätää säteilytehoa sitä mukaa, mikä on tarvittava signaalikohinasuhde. Jos tukiasema viedään etäälle tukiasemasta, yhteysvälin signaalikohinasuhde pienenee, jolloin tukiasema säätää automaattisesti matkapuhelimen säteilytehoa suuremmaksi. Tämä puolestaan aiheuttaa sen, että puhelimen päähän kohdistuva säteily suurenee.

Tapaturmavakuutuslaitosten ylläpitämässä työpaikkaonnettomuuksien tutkintajärjestelmässä (TOTTI) ei ole yhtään raportoitua kuolemaan johtanutta säteilyturvallisuusonnettomuutta vuodesta 1985 lähtien. Kun vertailuksi otetaan vaikka suora kontakti sähkövirtaan, niin tutkintaan otettuja tapauksia oli TOT tietokannassa (13.1.2011) yhteensä 24. Työsuojeluhallinnon tapaturmarekisteristä (TAPS) löytyi (16.1.2011) hakusanalla säteily kaksi ionisoimattoman säteilyn aiheuttamaa tapaturmakuvausta, joissa toisessa matkaviestimien tukiaseman asennustöiden yhteydessä asentaja oli altistunut radiotaajuiselle säteilylle noin 50 minuuttia ja toisessa mikroaaltouunin huollon yhteydessä asentaja sai voimakasta mikroaaltosäteilyä. Vertailun vuoksi hakusanalla sähkö löytyi 1617 tapaturmatapausta. Puolustusvoimien työturvallisuuspäälliköltä (Kalliomäki 2011) saadun tiedon mukaan puolustusvoimissa on raportoitu viime vuosina vain kaksi ionisoimattoman säteilyn aiheuttamaan tapausta, joissa on epäilty tutkan aiheuttamia mikroaaltosäteilyn terveyshaittoja. Kummassakaan tapauksessa ei tiettävästi löydetty yhteyttä sille, että esitetyt terveyshaitat olisivat johtuneet tutkan aiheuttamasta mikroaaltosäteilystä.

10 MAAVOIMIEN RADIO, RADIOLINKKI- JA TUTKAJÄRJESTELMÄT SÄTEILYTURVALLIUSUUDEN KANNALTA

Maavoimilla on taktisessa käytössä huomattava määrä erilaista ja moneen tarkoitukseen kuuluvaa radio-, linkki- ja tutkakalustoa, joka toimiessaan säteilee ympäristöönsä sähkömagneettista säteilyä. Tarkasteltaessa kyseisiä laitteita säteilyturvallisuuden kannalta, niistä voidaan käyttää nimitystä säteilylaitte. Säteilylain 1991/592 9§ määritelmän mukaan säteilylaitteella tarkoitetaan laitetta, joka sähköisesti synnyttää säteilyä.

10.1 Säteilylaitetekartoitus

Säteilyturvallisuuden arvioinnin suorittamista varten on tunnistettava kaikki soveltamisalueeseen kuuluvat säteilylaitteet ja selvittävä niiden tekniset säteilyyn vaikuttavat ominaisuudet. Työn erääksi tehtäväksi asetettiin maavoimien radio-, radiolinkki- ja tutkalaitteita koskeva selvitystehtävä, jossa asetettiin tavoitteeksi kartoittaa Maavoimien Materiaalilaitoksen vastuulle kuuluvat, taktisessa ja varusmieskoulutuksessa käytössä olevat säteilylaitteet, ja niiden säteilyyn vaikuttavat ominaisuudet. Kartoitusta tehtiin selvittämällä laitekohtaisia tietoja, joita saatiin muun muassa Maavoimien Materiaalilaitoksen normitietokannasta, teknisten ohjeiden kokoelmista sekä PVSAP-järjestelmästä. Kartoituksen tulokset luokiteltiin ja tallennettiin Excel-taulukkoon. Taulukkoon merkittiin järjestelmän tunnistetiedot, kuten nimikkeet ja nimikekoodit sekä muun muassa säteilyyn vaikuttavat keskeisimmät parametrit. Nimikekoodien perusteella saadaan PVSAP-järjestelmästä selvitettyä kunkin nimikkeen valtakunnallinen, materiaallinen tilannekuva, kuten kokonaislukumäärät, kuntoluokitukset, varastosaldot ja käyttäjäorganisaatiot sekä tieto siitä mihin järjestelmänimikkeeseen ja laiterakenteeseen kyseinen nimike on sisällytetty. Kalustokartoituksen metatietonäkymä on esitetty kuviossa 36, mutta itse parametritiedot ovat turvaluokiteltuja.

Selvitystyö ei koskenut puolustusvoimien johtamisjärjestelmäkeskusten vastuulla olevien integroitujen tiedustelu-, valvonta- ja johtamisverkkojen laiteselvitystä. Johtamisjärjestelmäkeskuksen vastuulla on huomattava määrä muun muassa linkkikalustoa, jonka säteilyturvallisuutta on ohjeistettu normissa (SOTLOHJE TUOTANTO 005). Vastaavasti elektronisen sodankäynnin järjestelmät (ELSO), kuten häirintä ja ECM -järjestelmät rajattiin niiden korkean tietoturvaluokittelun vuoksi kartoituksen ulkopuolelle. ELSO -järjestelmien säteilyturvallisuusarvioinneista voidaan kuitenkin todeta, että jos järjestelmän tekniset parametrit tunnetaan, voidaan se säteilyä aiheuttavana riskinä käsitellä periaatteessa samalla tavalla kuin muutkin sähkömagneetista säteilyä tuottavat järjestelmät. Ainoa merkittävä ero on lähetys/vastaanoton toimintasuhteessa (TX/RX), joka esimerkiksi ECM -järjestelmän osalta voi olla koko tehtävän ajan 100%. ECM -järjestelmiä käytetään vallitsevan uhkakuvan mukaisesti, käytännössä kansainvälisissä operaatioissa. ECM -järjestelmien ominai-

suuksia kuvaavaa teknistä perustietoa on saatavilla runsaasti esimerkiksi internetistä. Internetissä ei ole saatavilla tietoa siitä, mitä järjestelmiä kussakin maassa on käytössä ja miten maat niitä käyttävät.

KALUSTOKARTOITUS (Maavoimat)				
Mini 2.2.2011				
Kenttäradiot (16 nimikettä)	Muut Radiot (17 nimikettä)	Radioantennit (46 nimikettä)	Kenttälinkit ja -antennit (5 nimikettä)	Tutkat ja tutka- antennit (13 nimikettä)
<ul style="list-style-type: none"> - Nimijärj.tunnus - Valmistaja - Tyyppinumero - Pv Nimike - Pv Nimikekoodi - Modulaatiot - Aaltomuodot - Toimintolajit - Taajuusalue - Kanavavälit - Lähetystehot - Ilmoitettu SAR - Lisätietoja 	<ul style="list-style-type: none"> - Nimijärj.tunnus - Valmistaja - Tyyppinumero - Pv Nimike - Pv Nimikekoodi - Modulaatiot - Aaltomuodot - Toimintolajit - Taajuusalue - Kanavavälit - Pulssin huipputeho - Keskimääräinen lähetysteho - Ilmoitettu SAR - Lisätietoja 	<ul style="list-style-type: none"> - Tyypillinen käyttökohde - Valmistaja - Tyyppinumero - Pv Nimike - Pv Nimikekoodi - Taajuusalueet - Antennityyppi - Polarisaatio - Säteilykuvio - VSWR - Vahvistus - Impedanssi - Tehonkesto - Fyysiset mitat - Asennustapa - Liitintyyppi - Lasketut suojaetäisyydet - Mitatut suojaetäisyydet - Mittaaja - Lähde / viite - Lisätietoja 	<ul style="list-style-type: none"> - Tyypillinen käyttökohde - Valmistaja - Tyyppinumero - Pv Nimike - Pv Nimikekoodi - Modulaatiot - Aaltomuodot - Toimintolajit - Taajuusalueet - Kanavavälit - Lähetysteho - Antennimalli - Antennityyppi - Vahvistus - Pv nimike - Pv nimikekoodi - VSWR - Polarisaatio - Fyysiset mitat - Asennustapa - Liitintyyppi - Mitatut suojaetäisyydet - Mittaaja - Lähde / viite - Lasketut suojaetäisyydet - Lisätietoja 	<ul style="list-style-type: none"> - Tutkatyyppi - Tehtävä - Nimi - Valmistaja - Nimike - Nimikekoodi - Antenni / heijastajan tyyppi - Antennin pyörimisnopeus - Keilanleveys - Mittausalueet - Mittauskorkeus - Antennin korkeus - Lähetintyyppi - Taajuusalue - Pulssiteho - Pulssin pituudet - Pulssin toistotaajuus - Alusta - Lisätietoja - Mitatut suojaetäisyydet - Ammatillinen / Väestö * Keilaava * Pysäytetty - Mittaaja - Lähde / viite - Lisätietoja - Lasketut suojaetäisyydet - Ammatillinen / Väestö * Keilaava * Pysäytetty

KUVIO 36. Maavoimien kalustokartoitus (metatiedot)

10.1.1 Kenttäradiot

Kenttäradio, toiselta nimeltä taktinen radio, on liikkuvaan sodankäyntiin tarkoitettu liikkeessä toimiva sotilasradio. Kenttäradiolta vaadittu pitkä kantama

edellyttää pientä etenemisvaimennusta, eli suhteellisen matalan taajuuden käyttämistä. Puolustusvoimissa kenttäradioita käytetään kaikilla johtamisen tasoilla ja käytännössä kaikissa joukko-osastoissa. Niiden avulla muodostetaan sota-ajan joukkojen operatiivisesti tärkeät langattomat yhteydet. Kenttäradiot luokitellaan usein taajuusalueen mukaisesti HF, VHF tai UHF- kenttäradioihin. Puolustusvoimissa kenttäradiot on luokiteltu kenttäradionimijärjestelmän PEMAT-OS PAK EL 02:02 mukaisesti. Luokittelu ja tunnusjärjestelmä on esitetty taulukossa 8 ja luokitteluperusteet on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 8. Puolustusvoiminen kenttäradionimijärjestelmä

LÄHDE: PEMAT-OS PAK EL 02:02				
Kenttäradionimijärjestelmä		Puolustusvoimat		2.2.2011 Mini
Kokoonpanotunnus		Käyttötarkoitus	Teholuokka	Numero-tunnus
L	Lähetin	Komppaniaradiot	1- 2W	100-199
V	Vastaanotin	Pataljoonaradiot	5W	200-299
LV	Lähetin-vastaanotin	Prikaatiradiot	50W	300-399
AS	Radioaseman kalustotunnus	Armeijakuntaradiot	100W	400-499
R	Radiokalustojärjestelmä	Ylijohdon radiot	400 - 1000W	500-599
		Erikoisradiot		600-699
Lisäksi käyttötavan mukaan voidaan puhua		Merivoimien radiot		700-799
tykistö, ilmatorjunta heittimistö jne. radioista		Ilmavoimien radiot		800-899
		Muut Radiot		900-999

Taulukko 9. Kenttäradionimijärjestelmän luokitteluperusteet

PEMAT-OS PAK EL 02:02 Luokitteluperusteet

1. Komppaniaradiot (n:o 100. . .199) ovat keveitä kannettavia VHF-alueen puheradioita, joiden kantama on noin 3 km. Radioista käytetään nimitystä lähiradiot.
2. Pataljoonaradiot (n:o 200. . .299) ovat selässä kannettavia VHF-alueen puheradioita, joiden yhteysväli on noin 10 km. Radioiden lähetystehot on maksimissaan noin 5 W. Pataljoonaradioita käytetään prikaatissa kaikilla tasoilla.
3. Prikaatiradiot (n:o 300. . .399) ovat ajoneuvoasenteisia tai kannettavia VHF-alueen puheradioita, joiden yhteysväli on 10 - 30 km. Radioiden lähetystehot on maksimissaan noin 50W. Radioissa käytetään erillisiä lisävahvistimia ja erikoisantenneja. Prikaatiradioita käytetään prikaatissa kaikilla tasoilla.
4. Armeijakuntaradiot (n:o 400. . .499) ovat ajoneuvoon asennettavia kannettavia tai siirrettäviä HF-alueen radioita, joiden teho on maksimissaan noin 100 W. Armeijakuntaradioita käytetään myös prikaatin sisäisiin yhteyksiin.
5. Ylijohdon radiot (n:o 500. . .599) ovat siirrettäviä HF-alueen radioita, joiden teho on noin 1 kW.
6. Erikoisradiot (n:o 600. . .699) ovat maavoimien erikoisjoukkojen käyttöön tarkoitettuja tai erikoistarkoitukseen varattuja radioita. Niiden ominaisuudet määräytyvät käyttötavan tai -olojen mukaisesti. Erikoisradioihin kuuluvat mm tiedustelujoukkojen radiot, sissiradiot ja merivalvontaradiot. HF-alueen erikoisradioiden teho on maksimissaan noin 20 W.
7. Merivoimien radiot (n:o 700. . .799)
8. Ilmavoimien radiot (n:o 800. . .899)
9. Muut radiot (n:o 900. . .999)

Esimerkiksi tunnuksella LV 441 tarkoitetaan tiettyä armeijakuntatasoista, HF-taajuudella toimivaa siirrettävää tai ajoneuvoon asennettavaa radiota, joka on varustettu sekä lähettimellä että vastaanottimella. Todettakoon, että nykyisin radioilla välitetään enenemässä määrin digitaalista dataa.

Radioiden määrä taistelukentällä on viime vuosina kasvanut merkittävästi. Tämä on johtanut siihen, että kahden radion välinen etäisyys on supistunut. Lyhyempi toimintaetäisyys mahdollistaa sekä pienemmän tehon että korkeamman taajuuden käyttämisen, mikä puolestaan mahdollistaa radioiden siirtokapasiteetin lisäämisen. Erikoistehtävissä yksittäiset taistelijat varustellaan kuvion 37 mukaisilla henkilökohtaisilla ryhmäradioilla (PRR), joilla välitetään sekä puhetta että dataa. Lähitulevaisuudessa yksittäiset taistelijat varustellaan langattomilla, WLAN tai vastaavaan langattomaan tekniikkaan perustuvilla päätelaitteilla. Sekä ryhmäradioiden että langattomien päätelaitteiden lähetysteholuokka on muutama sata milliwattia, joten ne ovat säteilyturvallisuuden kannalta turvallisia.



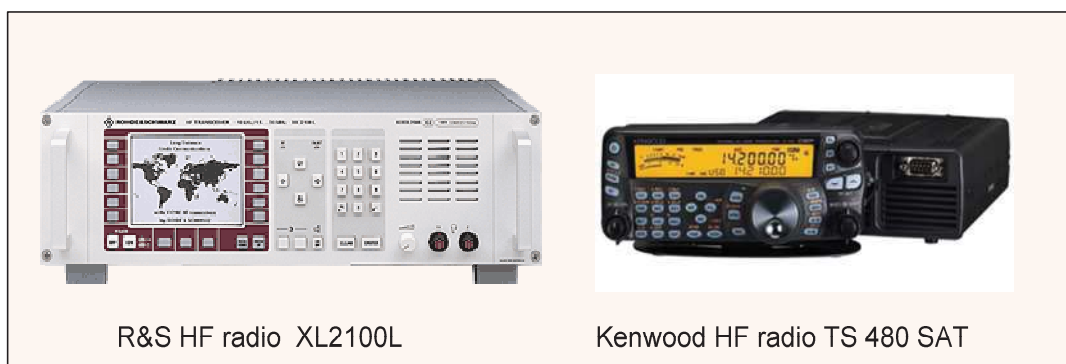
KUVIO 37. PRR-radio

10.1.2 Muut radiojärjestelmät

Ryhmä muut radiojärjestelmät käsittää alle kaksikymmentä nimekettä, joita ei ole luokiteltu kenttäradioiksi, mutta jotka ovat ainakin osittain myös operatiivisessa tai taktisessa käytössä. Tällaisia ovat muun muassa Tetra-puhelimet, ilmailuradiot, radiomodeemit, satelliittipuhelimet sekä kaupalliset, esimerkiksi radioamatöörikäyttöön suunnitellut UHF/VHF/HF-alueen radiot. Monet tämän ryhmän radiolaitteita ovat niin sanottuja COTS -tuotteita, joiden käyttö on lisääntynyt sotilaallisissa varusteluissa. COTS -tuotteille on ominaista hyvä suorituskyky ja edullinen hinta. Toisaalta niiden mekaaninen kestävyys ja

soveltuminen vaativiin taistelukenttäolosuhteeseen on pääsääntöisesti puutteellista.

Muut radiojärjestelmät ryhmän tuotteista suurimman teholuokan laitteita ovat VHF ja HF-radiot, joiden säteilytehot ovat samaa luokkaa kuin vastaavien kenttäradioiden eli noin 100 W. Kuviossa 38. on esitetty maavoimien käytössä olevia HF-radioita, joita ei ole luokiteltu kenttäradioiksi. Kuviossa vasemmanpuoleinen radio on tarvittaessa 19”-n asennuskehikkoon kiinnitettävä korkea-luokkainen taktinen radio. Oikeanpuoleinen radio on tyypillinen esimerkki alunperin radioamatöörikäyttöön suunnitellusta HF/VHF-alueen radiosta, joka on otettu taktiseen käyttöön.



KUVIO 38. HF-radioita, joita ei ole luokiteltu kenttäradioiksi

Satelliittipuhelimia käytetään sekä puhe- että datayhteyksillä esimerkiksi kansainvälisissä tehtävissä. Satelliittipuhelinverkot käyttävät matalalla (< 1000 km) kiertäviä LEO-satelliitteja (Iridium, Globalstar) tai maasta etäällä (36 000 km) olevia geostationaarisia satelliitteja (Thurya, Inmarsat). Esimerkiksi Iridium-puhelinten teholuokka alle 10 W ja niissä käytetään ympärisäteileviä antennoja (vahvistus 1-2 dBi). Inmarsat satelliitit ovat kaukana maasta, joten niiden puhelimissa käytetään yleensä suunta-antenneja (10-15 dBi).

10.1.3 Radioantennit

Säteilyn kannalta antenni on keskeisin radiojärjestelmään kuuluva komponentti, joka viime kädessä määrää sekä radiojärjestelmän suorituskyvyn että sen säteilytehon. Ilman toimivaa antennia, radio yksin ei käytännössä kykene synnyttämään säteilyä juuri nimeksikään.

Antennin ominaisuuksia kuvataan usein sen säteily- ja piiriominaisuuksilla. Antennin säteilyominaisuuksiin vaikuttaa muun muassa antennin efektiivinen mitta, suuntaavuus, keilanleveys, polarisaatio ja sieppauspinta. Antennin piiriominaisuuksia ovat muun muassa impedanssi, joka koostuu säteilyresistanssista ja häviöresistanssista, hyötysuhde ja kaistanleveys. Antennin polarisaatio kuvaa sen säteilemän sähkökentän vektorin suunnan käyttäytymistä. Toisin sanoen antennin polarisaation määrää sen sähkökentän polarisaatio. Kuten kohdassa 3.2.4 todettiin, antennirakenne ($\frac{E}{H}$ -suhde) määrää sen lähikenttäominaisuudet.

Kalustokartoituksen mukaan maavoimissa on eri radiojärjestelmissä käytössä kymmeniä eri antennia (nimikkeitä). Antennityyppi valitaan aina käyttötarkoituksen mukaan, jossa määräävinä tekijöinä ovat radiojärjestelmän suorituskykyvaatimukset.

10.1.4 Linkit ja linkkimastot

Taktiset radiolinkit jaetaan tavallisesti käyttötarkoituksensa mukaan esimerkiksi runkoverkon linkkeihin, tilaajalinkkeihin ja kenttälinkkeihin. Moderneissa radiolinkeissä käytetään aikajakotekniikkaa ja vanhemmissa taajuusjakoa. Sotilasjärjestelmissä on perinteisesti käytetty verrattain matalia taajuuksia pitkän yhteysvälin tavoittelemiseksi. Maavoimien käytössä ole siirtyvä kenttälinkkikalusto toimii UHF / EHF -taajuuksilla. Maavoimien operatiiviset linkit on rakennettu mobilisoidulle alustalle, mikä mahdollistaa nopean nykyaikaisen uhkakuvan vastaavan siirtymisnopeuden. Kuviossa 39 on maavoimien YVI2-kenttätelejärjestelmään kuuluva panssaroitu ajoneuvo, jonka katolla on pystyyn nostettu automaattiharustuksin varustettu 24 -metrinen teleskooppimasto antennineen.

Nykyisin linkkikalustona käytetään sekä puhtaasti sotilaskäyttöön suunniteltuja linkkejä että myös alun perin siviilikäyttöön suunniteltuja COTS -linkkejä. Kenttälinkkien lähetystehot ovat tyypillisesti alle 10 W, mutta niissä käytetään voimakkaasti suuntaavia antennia (vahvistus > 20 dBi). Ks. kohdassa 10.1 tehty rajausta, joka koskee kiinteitä linkkejä.



KUVIO 39. YVI 2- järjestelmä (Kosola & Solante 2003, 165)

10.1.5 Tutkajärjestelmät

Tutkan toiminta perustuu sähkömagneettisen säteilyn suuntaamisen ja lähettämiseen, jolloin kohteesta heijastunut ja sironnut säteily vastaanotetaan niin, että sen perusteella voidaan määrittää kohteen suunta ja etäisyys. Tutkat käyttävät pääsääntöisesti suuritehoista pulssimuotoista mikroaaltotaajuista säteilyä, joka kohdistuessaan elävään kudokseen voi aiheuttaa siinä lämpenemistä, jopa kudonvaurioita. On syytä kuitenkin täsmentää, että tällainen kudonvaurioita aiheuttama altistuma on yleensä mahdollinen vain siinä tapauksessa, että tutkan keila on pysähtynyt ja ollaan antennin välittömässä läheisyydessä. Tutkat voidaan luokitella monen eri periaatteen mukaisesti, mutta sotilastutkat jaetaan ennakkovaroitus-, valvonta-, seuranta-, tulenjohto-, kartoitus-, navigointi- ja säätutkiin sekä hakupäätutkiin. Tutkat voidaan jakaa myös lähettimen ja vastaanottimen sijoituspaikan perusteella. Tällöin tutkat jaetaan mono-, bi- ja multistaatisiin sovelluksiin (Kosola & Solante 2003, 196).

Oman ryhmänsä muodostavat lisäksi niin sanotut toisiotutkat (IFF), joiden tehtävä oli alun perin tunnistaa omat lentokoneet viholliskoneista. IFF- tutka toimii valvontatutkan rinnakkaisjärjestelmänä. Nykyisin IFF - tutkan avulla saadaan koneista muutakin tietoa kuin pelkkä omatunniste ja niitä käytetään

myös siviili-ilmailussa. Toisiotutka toimii transponder- periaatteella, jossa se lähettää tietyn formaatin mukaisen kyselysanoman kohdekoneelle ja saa siltä vastaussanomassa tietoa. IFF- tutkien toimintatavat (modet) on tarkkaan määriteltä.

10.2 Turvaetäisyyksien määrittely

Tässä kappaleessa käsitellään säteilylaitteiden turvaetäisyyksien määrittelyyn liittyviä perusteita ja arvioidaan järjestelmäkohtaisia turvaetäisyyksiä. Säteilylaitteen säteilyturvaetäisyyden määrittelyllä tarkoitetaan tässä yhteydessä minimietäisyyttä, jolla sallitut altistuksen arvot eivät enää ylitä. Enimmäisarvot on määriteltä erikseen väestölle ja työntekijöille. Määrittelyjen perusteella turvaetäisyyksistä käytetään nimitystä ammatillinen turvaetäisyys ja väestön turvaetäisyys. Turvaetäisyyden määrittelemisen luo perustan järjestelmän säteilyturvallisuusriskien hallinnalle.

PVHSM SÄTEILY001 [Normin kohta 4.3] mukaan säteilylaitteelle määritellään kaksi turvaetäisyyttä. Väestön turvaetäisyys lasketaan asetuksen 294/2002 arvoilla. Työntekijöille turvaetäisyys lasketaan ST-ohjeen 9.2 tai EU-direktiivin 2004/40/EY antamilla arvoilla. Turvaetäisyydet määritellään edellä mainituilla tavoilla. Vertailulaskelmana voidaan laskea turvaetäisyys myös NATO Stanag 2345 -arvoilla.

Sähkömagneettinen säteily vaimenee häviöllisessä väliaineessa kohdassa 3. esille tuotujen seikkojen mukaisesti. Radio- ja linkkijärjestelmien aiheuttaman säteilyaltistuksen ja kentän voimakkuuksien arvioinnin helpottamiseksi on laadittu kuvion 40 mukainen Excel-pohjainen laskentataulukko. Taulukon syötekenttiin (merkitty keltaisella) annetaan säteilylähteen tekniset parametrit ja tarkasteluetäisyys. Sen jälkeen taulukko laskee tarkasteluetäisyydellä olevat kentät, tehotiheydet sekä normalisoidut SAR-arvot. Taulukkoon on lisätty taajuudesta riippuvat 1474/1991 työntekijän ja väestön enimmäisarvot sekä 2004/40EY toiminta-arvot, joita vertaamalla laskenta-arvoihin nähdään, ollaanko laskennallisesti enimmäisarvojen ylä- vai alapuolella, ja kuinka paljon. Normalisointiarvojen vieressä on 2004/40EY taajuudesta riippuvat altistuksen SAR raja-arvot.

Tapauskohtainen säteilylaitteen laskennallinen turvaetäisyys saadaan iteroimalla, tarkasteluetaisyyttä muuttamalla. Laskennallinen turvaetäisyys on kulloisessakin tapauksessa aina se etäisyys, jossa kentät ovat juuri laskeneet enimmäisarvojen alapuolelle. Taulukkoon on lisätty muitakin apulaskentakenttiä, joiden avulla voidaan laskea muun muassa lähi- ja kaukokentän rajaetäisyyksiä, altistumisen laskentajakson aika sekä eri kehonosien resonanssitaajuuksia. Resonanssitaajuuden tiedostaminen on olennaista, sillä kehon osan resonanssitaajuudella säteilyn absorptio voi moninkertaistua. Resonanssia on käsitelty kohdassa 4.4.

TAULUN AVULLA VOIDAAN ARVIOIDA RADIOTAAJUUSIA (Radiot ja linkit) SÄTEILYKENTTIÄ (0,1 MHz -10 GHz)		MINI 14.4.2011			
Käytettävä taajuus (f)	144 MHz	42,88 MHz			
jota vastaava aallonpituus λ	2,08 m	7 m			
LÄHETTIMEN PARAMETRI		ANTENNIN PÄÄKELAN AIHEUTTAMA SM-SÄTEILY/ Enimmäisaltistumisen raja-arvot			
Lähetysteho (Pt)	65 W	Eläisyys antennista r	0,500 m	Stm 1474/1991	Stm 1474/1991
jota vastaa	48,129134 dBm	Lähi ja kaukokentän raja Rf	0,332 m	Ammatillinen	Väestö
Antennivahvistus (Gt)	2 dBi	Efekt. Kentänvoimakkuus E	99,094 V/m	61	27,5
		Ekvivalenttinen tehoitehois S _E	26,047 W/m ²	10	2
jota vastaa	1,58 kertoinena	Efekt. Kentänvoimakkuus H	0,263 A/m	0,16	0,073
tai vastaavasti verrattuna dipoliin	-0,15 dBd	Ekvivalenttinen tehoitehois S _H	26,047 W/m ²	10	2
kaapelivaimennus huomioiden	1 dBi x 1,26	Laskentajakson aika (keskiarvo) taajuudella	6 min		
Antennikaapelin vaimennus	1 dB	SAR-arvioita. Laskennalliset / normalisoidut arvot			Altistuksen raja-arvot 2004/40/EU
(jollei ole merkitty 0)		Laskettu koko kehon SAR ¹⁾ keskiarvo	0,651 W/kg	0,4	EI
Antennin suuntateho EIRP	49,129134 dBm	Laskettu raajan SAR ¹⁾	3,126 W/kg	20	RESONANSSI
jota vastaa (Gr)	81,83 W	Laskettu vätsä-alueen SAR ¹⁾ keskiarvo	1,328 W/kg	10	EI
Lähetys antennin korkeus	5 m	Laskettu pään SAR ¹⁾ keskiarvo	0,521 W/kg	10	EI
(maaston keski korkeuden yläpuolella)		Laskettu liinsin SAR ¹⁾ keskiarvo	1,823 W/kg	10?	EI
		1) Normalisoitu SAR kehon tai kehon osan resonanssialueella			
		Vapaan tilan vaimennus etäisyydellä r	9,547 dB		
		Lähi ja kaukokentän laskenta-aputaulukko			
		Antennin läpimitta D	0,20 m		
		Kaukokentän Rf etäisyys	0,332 m		

KUVIO 40. Laskentataulukko radio- ja linkkijärjestelmien kentänvoimakkuuksien arvioimiseen

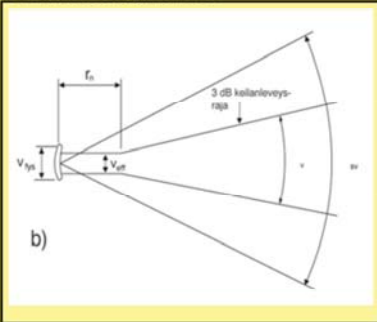
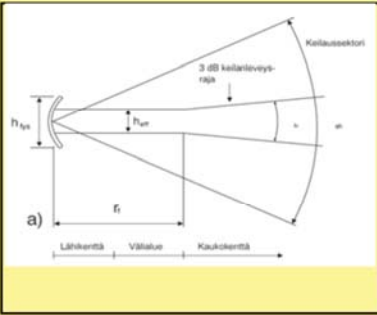
Tässä työssä turvaetäisyyden määrittelyt perustuvat niin sanottuun pahimman mahdollisen tapauksen menetelmään, jossa on haettu järjestelmän säteilytehon suurimmalla arvolla sen toimintataajuudelta olevat suurimmat kentät ja tehoitehois ja verrattu niitä taajuutta vastaaviin altistumisrajoihin. Koska laskentaan liittyy epävarmuutta, on turvaetäisyydeksi määritelty laskennallisesti saatu turvaetäisyys kerrottuna kahdella. Esitetyt turvaetäisyydet eivät kuitenkaan ole vahvistettuja turvaetäisyyksiä, joita pitäisi noudattaa, vaan niiden tarkoitus on toimia ikään kuin esimerkkeinä, joiden avulla luodaan käsitystä turvaetäisyyksiin vaikuttavista tekijöistä ja siitä missä suuruusluokassa turvaetäisyydet aina kulloinkin ovat.

Maavoimien pulssitutkille on olemassa valmistajan määrittelemät, ohjeelliset turvaetäisyydet. Lisäksi tutkan käyttöönottovaiheessa tutkalle tehdään säteilyturvallisuusmittaukset. Valmistajan ohjeiden ja käyttöönottomittausten perusteella määritellään sille turvaetäisyydet, jotka vahvistaa STUK. Näin ollen pulssitutkien turvaetäisyyksiä ei tarvitse tässä työssä enää määritellä. Koska tutkat ovat muun muassa suuren pulssitehonsa vuoksi tämän työn soveltamisalueeseen kuuluvista järjestelmistä ehkä merkittävimpiä, on syytä tarkastella myös niiden säteilyturvallisuuteen liittyviä perusteita.

Pulssitutkien säteilyturvallisuuden tarkastelun helpottamiseksi laadittiin vastaavanlainen laskentataulukko kuin radiojärjestelmille. Tutkan pääkeilan aiheuttama tehotiheys voidaan likimääräisesti laskea, kun tunnetaan lähettimen ja antennin tekniset tiedot. Laskentataulukon avulla voidaan tehdä laskelmia kahdessa eri tapauksessa: tapaus 1 käsittää tilanteen, jossa tehotiheys määritellään tutkan teknisten tietojen perusteella. Tapaus 2 perustuu mittaustilanteeseen, jossa tietyssä havaintopisteessä saadaan mitattua pääkeilan suurin pulssitehotiheys. Tämän jälkeen lasketaan keskimääräinen tehotiheys, jota voidaan verrata enimmäisarvoihin. Tutkajärjestelmien laskentataulukko on esitetty kuviossa 41. Taulukon laskentatekniikka perustuu pääsääntöisesti STUK ST-ohjeen 9.2 esittämiin periaatteisiin ja yhtälöihin. Laskentataulukko on laadittu tietyssä mielessä pedagogisin perustein. Taulukon tarkoitus on havainnollistaa, miten tutkan tehotiheydet lasketaan ja mitkä tekijät vaikuttavat tutkan aiheuttamaan säteilyyn.

PULSSITUTKIEN SÄTEILYTURVALLISUUSLASKELMAT		MINI 10.3.2011	
Tapaus 1. Tehoitehden laskeminen tutka-antennin pääkeilasta, kun tunnetaan tutkan parametrit			
Tutkan parametrin	SYÖTTÖKENTÄT:		
Pulssiteho (Pp)	2 kW	=	2000 W
Taajuus (GHz)	6,00 GHz	=	6000 MHz
Vastaa aalloituutta	5,00 cm	=	0,05 m
Pulssin pituus	4,00 μs	=	4,00E-06 s
Pulssin toistotaajuus	5,00 kHz	=	5000 Hz
H keilanleveys (3dB)	2,0 Astella	=	
V keilanleveys (3dB)	3,0 Astella	=	
Antennin pyörimisnopeus RPM	20,0 kier/min	=	
Pyörähdysaika (T _d)	3,0 s	=	
Antennivahvistus kertoimena	4500,0		
Antennivahvistus desibeleinä	36,5 dB		
Efekttiivinen pinta-ala (A _{eff})	0,9 m		
Ant. H/V suhteet. Ka kerroin (laskettu keilaleveydestä)	0,7		
V _{eff} Säteilypinta	0,9 m		
H _{eff} Säteilypinta	1,3 m		
Lähikentän raja r _n	11,94 m		
Kaukokentän raja r _k	26,87 m		
Kentän mittausetäisyys / - piste (kaukokentässä)	30,00 m		
Pysäytetty keila			
Lähikentässä pulssiteho	2232,89 W	=	2,23 Kw
Välialueen pulssiteho	1374,09 W	=	1,37 Kw
Kaukokentän pulssiteho	796,18 W	=	0,80 Kw
Lähikentän keskim tehoitehys	44,66 W/m ²		
Välialueen keskim tehoitehys	27,48 W/m ²		
Kaukokentän keskim tehoitehys	15,92 W/m ²		
Pyörivä keila			
Pääkeilan pyyhkäisy aika T _{3dB}	0,02 s		
Toimintasuhde	0,01		
Lähikentän keskim tehoitehys	0,25 W/m ²		
Välialueen keskim tehoitehys	0,15 W/m ²		
Kaukokentän keskim tehoitehys	0,09 W/m ²		
ALITUMISEN ENIMMÄISARVOT			
Stm 1474/1991 Työntekijöille	50 W/m ²		
Stm 1474/1991 Väestölle	10 W/m ²		
Tapaus 2. Tehoitehden laskeminen kun on saatu havaintipisteessä mittaustuloksia			
Suurin pulssitehoitehys S _p	8 kW/m ²	=	800 mW/cm ²
Lähetystaajuus f	3 GHz	=	3000 MHz
Pulssin kesto aika t _{pw}	2 μs	=	2,00E-06 s
Pulssitaajuus f _p	0,36 kHz	=	360 Hz
Pääkeilan pyyhkäisy aika T _{3dB}	1 s	=	100,00 ms
Antennin pyörimisnopeus	6 kier/min		
Antennin pyörähdysaika t _d	10 s		
Keilaustekijä	0,1		
Toimintasuhde K _{ve}	10		
Keskimääräinen tehoitehys	0,06 W/m ²		

Perustuu STUK ohjeeseen 9.2
Pulssitutkien Säteilyturvallisuus

Kuva B1. Tyypillisen tutka-antennin pääkeila a) vaakatasossa b) pystytasossa. h_n on antennin fyysinen leveys, v_n on antennin fyysinen korkeus, h_k ja v_k ovat säteilykeilan läpimitat vaak- ja pystytasossa, r_n ja r_k ovat lähi- ja kaukokentän rajoja, θ_n ja θ_k ovat pääkeilan 3 dB:n keilaleveyksiä vaak- ja pystytasossa, θ_n ja θ_k ovat antennin keilaussektoreita vaak- ja pystytasossa.

KUVIO 41. Laskentataulukko tutkan kentänvoimakkuuksien arvioimiseen

10.2.1 Yhteenveto turvaetäisyyksien määrittelyperiaatteista

Matalatehoisten radio- ja linkkijärjestelmien turvaetäisyyksien arviointi ja määrittely voidaan tehdä riittävällä tarkkuudella laskennallisesti. Jos on erityistä tarvetta, voidaan tehdä tarkistusmittauksia. On kuitenkin tiedostettava, että mittauksetkaan eivät anna kokonaisvaltaista kuvaa säteilystä kaikissa eri tilanteissa, koska ympäristössä tapahtuu jatkuvia kenttiin vaikuttavia muutoksia. Suuritehoisten pulssitutkien turvaetäisyyksien määrittely tehdään tarkistusmittausten pohjalta, jotka STUK vahvistaa. Laskennallisia menetelmiä kannattaa

käyttää myös pulssitutkien säteilylaskelmissa, koska niiden avulla saadaan nopeasti havainnollistettua säteilyn suuruusluokka ja säteilyyn vaikuttavien päätekijöiden vaikutus.

Puolustusvoimissa on tehty kyseisten järjestelmien säteilyturvallisuusmittauksia useita vuosikymmeniä. Jos verrataan laskennallisia arvoja mittaamalla saatuihin arvioihin, niiden voidaan todeta olevan hyvin pitkälle linjassa keskenään, vaikkakin mittaamalla saadut kentänvoimakkuudet ovat yleensä pienempiä kuin mitä saadaan laskennallisesti.

10.2.2 Radiojärjestelmien turvaetäisyydet

Maavoimien käyttämät radiojärjestelmät ovat suhteellisen pienitehoisia, joten niille ei ole perusteltua määritellä väestön altistusarvojen mukaisia turvaetäisyyksiä. Sitä vastoin esimerkiksi sotaharjoituksissa käytetään suuria määriä eri radiojärjestelmiä, joiden käytössä saattaa tulla tilanteita, joissa joudutaan joko tietämättä tai tietoisesti oleskelemaan antennin lähietäisyyksillä. Jos ei ole tiedostettu, mikä on kulloisessakin tilanteessa turvaetäisyys, saatetaan altistua toistuvasti tai peräti jatkuvasti enimmäisarvoja suuremmille kentille. Tämän vuoksi myös pienitehoisille radiojärjestelmille on syytä määritellä turvaetäisyydet.

10.2.2.1 Radiojärjestelmien turvaetäisyyksien arviointi ja määrittely

Säteilyturvallisuusarvion kannalta pelkästään radion ja sen säteilyyn vaikuttavien parametrien tarkastelu, kuten lähetysteho, ei anna kokonaiskuvaa radion aiheuttamasta säteilystä. Radion aiheuttamaa säteilyä onkin tarkasteltava kokonaisvaltaisesti, huomioiden muun muassa siinä käytettävät antennit. Lisäksi on huomioitava radion kulloinenkin käyttötarkoitus sekä sen käyttö- ja asennusympäristö. Tämän jälkeen voidaan määritellä järjestelmän turvaetäisyyksiä ja säteilyturvallisuusriskejä. Turvallisuusriskien arvioimiseen liittyy lisäksi laitekonfiguraation jatkuvan muuttumisen aiheuttama ongelma. Toisin sanoen antennoja ja radioita vaihdetaan jatkuvasti laitteesta toiseen tilanteen ja tarvittavan suorituskyvyn mukaisesti. Ainostaan ajoneuvoissa ja johtamispaikoilla käytetään pidempiä aikoja samoja tai samantyyppisiä antennoja. Poikkeuksena edellä esitetystä ovat radiot, joissa kiinteät antennit tai radiot,

joissa käytetään aina vain tiettyä antennia. Tällaisia radioita ovat esimerkiksi lähiradiot sekä kädessä pidettävä tetra- ja satelliittipuhelimet. Näiden osalta säteilyturvallisuus voidaan arvioida matkaviestiminen tapaan eli SAR-mittauksiin perustuen. Erikoistapaus on kenttäradiot, joita pidetään selässä. Niidenkin suhteen säteilyturvallisuus on arvioitava omana tapauksenaan, jossa oletetaan, että radiota käytetään aina tietyn tyyppisellä marssiantennilla.

10.2.2.2 Haja- ja vuotosäteilyt

Radiolaitteen haja- tai vuotosäteily ei yleensä ole merkittävää, eikä sillä siten ole juuri merkitystä säteilyturvallisuuden arvioinnin kannalta. Jos radion syöttökaapeli vaurioituu sisäisesti, se aiheuttaa niin suuren epäsovituksen, että radion pääteaste joko rajoittaa olennaisesti lähetystehoä tai se varioituu ja lakkaa lähettämästä kokonaan. Jos taas antennijärjestelmä tai syöttökaapeli on lievässä epäsovituksessa radion pääteasteen kanssa ($SAS < 3$), voi syöttökaapeli toimia osittain säteilijänä. Jos epäsovitus on suuri ($SAS > 6$), radion pääteaste laskee lähetystehoä tai lopettaa lähettämisen. Jos radio (puolijohdepääteaste) pakotetaan lähettämään suuressa epäsovituksessa, aiheuttaa se radion pääteasteen vaurioitumisen muutamassa sekunnissa. Suuri epäsovitus voi esimerkiksi syntyä antennin tai syöttökaapeliin vaurioitumisen seurauksena.

10.2.2.3 Kädessä pidettävät radiot

Matkaviestimien suurin sallittu SAR-arvo on 2 W/kg. Maavoimien käytössä olevan EADS THR 880i Tetrapuhelimen valmistajan ilmoittamat SAR-arvot ovat versiosta riippuen 0,42- 0,74 W/kg. Vastaavasti satelliittipuhelin Iridium 9555:n ilmoitettu SAR-arvo on 1,6 W/kg. Molemmilla edellä esitetyillä radiotyypeillä on SAR-arvot ovat alle sallitun. Mainittakoon, että Iridium 9555 puhelinta käytetään pääsääntöisesti ajoneuvotelineessä, jolloin käytössä on ulkoantenni. Maavoimilla on käytössä taktinen lähiradio LV 141, jonka SAR-arvoa valmistaja ei ole ilmoittanut. Radion lähetysteho on luokkaa 2 W ja sitä käytetään yleensä laajakaistaisilla, ympärisäteilevillä antenneilla, joilla on alhainen hyötysuhde (vahvistus noin -10 dBi). Antennista ja käyttötilanteesta riippuen antennin ja pään välinen etäisyys on pienimillään noin 2-4 cm. Edellä esitettyjen tietojen pohjalta kyseisen radion SAR-arvon arvioidaan olevan ohjearvon

(1 W/kg) lähituntumassa. Yhtälön 16 mukaan laskettu SAR- arvo olisi 0,4 W/kg, jos siis oletetaan, että koko 2 W teho absorboituisi tasaisesti 5 kg:n pään massaan. Näin yksinkertaisesti SAR-arvoa tällaisille pään lähetyksillä pidetyille laitteille ei kuitenkaan voida määrittellä, koska säteily ei absorboitu aivan tasaisesti kudoksissa. Toisaalta radion tuottamasta 2 W:n tehosta absorboituu päähän vain pieni osa, mikä johtuu muassa säteilyn läpäisykyvystä ja radion ympärisäteilevästä antennista. Jos kaikki radion tuottama säteily absorboituisi päähän, ei tehoa jäisi yhtään varsinaiseen viestintään. Edellä esitetyt radiot ovat kuviossa 42.



KUVIO 42. Maavoimien taktisessa käytössä olevia käsiradioita

Kädessä pidettävien radioiden säteilyvaaraa pienentää kaukokentässä tapahtuvaan kokokehoaltistumaan verrattuna se, että säteilyaltistuminen tapahtuu lähikentässä, eikä siten kohdistu koko keholle.

10.2.2.4 Selässä kannettavat kenttäradiot (pataljoonaradiot)

Taistelukentällä käytetään paljon selässä kannettavia kenttäradiota. Radiot on tuolloin varusteltu piiskatyypisillä marssi- tai normaali-antenneilla. Marssi-antennin hyötysuhde on alhainen ja sen vahvistus on luokkaa -8 dBi. Normaali-antennin vahvistus on luokkaa -5 dBi:tä. VHF- kenttäradioiden (LV217, LV217M, LV241, LV231) lähetysteho on 5-6 W, jolloin laskennallinen turva-

etäisyys antenniin on noin 40 cm. LV317:n lähetysteho on 30 W, jolloin laskennallinen turvaetäisyys on noin 80 cm. Selässä kannettavan HF- radion LV 641 lähetysteho on 20 W, jolloin sen laskennallinen turvaetäisyys marssiantennivarustuksella on noin 50 cm. Säteilyturvallisuuden suhteen on näin ollen huomioitava, että radiolla lähetettäessä antenni on pidettävä mahdollisimman etäällä kehosta. Lisäksi on huomioitava, että antenni voi selässä ollessaan huomaamatta päästä koskettamaan kehoa. Kuviossa 43 on esitetty maavoimien käytössä olevia selässä kannettavia kenttäradiota.



KUVIO 43. Selässä kannettavia kenttäradioita

Kannettavien radioiden säteilyvaaraa pienentää kaukokentässä tapahtuvaan kokokehoaltistumaan verrattuna se, että säteilyaltistuminen tapahtuu lähikentässä, eikä siten kohdistu koko keholle. Radioiden toimintasuhde on yleensä hyvin pieni, joten yhteenlaskettu altistumisaika ei ole suuri.

10.2.2.5 Komentopaikka- ja ajoneuvoradiojärjestelmät (prikaati ja armeijakuntaradiot)

Maavoimien käytössä olevat komentopaikka- ja ajoneuvoradiojärjestelmät kuuluvat teholuokkaan 50 -100 W. VHF- radioiden LV341 ja LV331 enimmäislähetysteho on 50 W ja HF-radion LV441 lähetysteho on 100 W. Ajoneuvoissa ja komentopaikoilla käytetään paljon laajakaistaisia ympärisäteileviä 0 dBi:n piiska-antenneja, mutta myös pystydipoleja käytetään. Komentopaikoilla voidaan VHF-taajuuksilla käyttää myös suuntaavia lanka-antenneja, joiden vahvistus on luokkaa 5 dBi. Edellä esitettyä radiokalustoa on kuviossa 44.



HF radio Tadiran LV 441

VHF-radio Tadiran LV 341

KUVIO 44. Ajoneuvoasennettavia kenttäradioita

LV341 radiolla ammatillinen turvaetäisyys ympärisäteilevällä piiska-antennilla on 1 m:n luokkaa. Jos käytetään suuntaavaa, esimerkiksi lanka-antennia, turvaetäisyys antennin pääkeilan suuntaan (langansuuntainen kohti päätevas-tusta) kasvaa noin kaksinkertaiseksi. Vertailuksi voidaan ottaa tilanne, jossa radiota käytetään esimerkiksi 6-elemettisellä Yagi -antennilla, jonka vahvistus on 11dBi:tä. Tällöin pääkeilan suuntainen ammatillinen turvaetäisyys kasvaa piiska-antennin metrin turvaetäisyydestä noin neljään metriin.

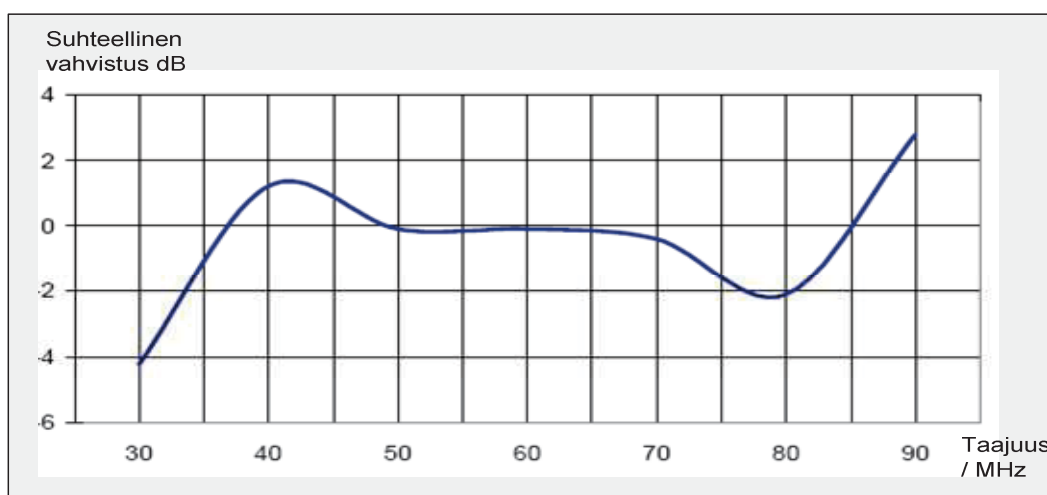
LV441 HF-radiolla turvaetäisyys ympärisäteilevään piiska-antenniin on luokkaa 1,5-2 metriä. Kun kyseessä on ylijohdon 1000 W:n radioasema, kasvaa turvaetäisyys samaisella antennilla 100 W:n lähetystehoon verrattuna noin kolminkertaiseksi.

Yhteenvetona voidaan todeta, että maavoimien kenttäradiojärjestelmien säteilyturvaetäisyydet ovat järjestelmistä ja antenneista riippuen muutamista senttimetristä, muutamiin metriin. Jos käytetään voimakkaasti suuntaavia antennia, saattaa turvaetäisyydet kasvaa moninkertaisesti. Turvaetäisyyksiä noudattamalla säteilyturvallisuusriskit saadaan erittäin alhaiselle tasolle. Ajoneuvon sisällä tai muun suojaavan metallikorin sisässä kenttäradiotaajuinen säteily pienenee yleensä murto-osaan. Väestölle radiojärjestelmien aiheuttaman säteilyturvallisuusriski on lähes olematon. Radiojärjestelmiä koskevia säteilyturvallisuusriskejä voidaan edelleen pienentää tiedottamisella ja koulutuksella.

10.2.3 Radioantennien turvaetäisyydet

Radiojärjestelmissä säteilylähteenä toimii sen lähetinyksikkö, mutta varsinaisen sähkömagneettisen säteilyn synnyttää antenni. Radiojärjestelmän säteilyteho ja säteilyn luonne on näin ollen voimakkaasti riippuvainen antennista ja sen ominaisuuksista. Antennin säteilyn voimakkuus tarkastelupisteessä riippuu siihen syötetystä tehosta, antennin hyötysuhteesta ja suuntaavuudesta. Hyötysuhteen määrää antennin säteilyresistanssi ja suuntaavuuden sen rakenne. Suuntaavuus ja hyötysuhde määrittävät yhdessä antennin pääkeilan vahvistuksen. Piiska-antennien lähikentässä dominoi pääsääntöisesti sähkökenttä (ks. kohta 3.2.4).

Radioantenneille on ominaista, että niiden vahvistus ja hyötysuhde ovat taajuusriippuvaisia. Tästä johtuen, turvaetäisyydet on syytä kartoittaa useilla eri taajuuksilla. Kuviossa 45 on esitetty erään laajakaistaisen kenttäradiion suhteelliset antennivahvistukset taajuuden funktiona. Vertailuantennina on käytetty $\frac{1}{4}$ -aallon GP-antennia. Jos esimerkkitapauksessa antenniin syötetään 50 W tehoa 30 MHz:n taajuudella, laskennalliseksi turvaetäisyydeksi saadaan noin 40 cm. Jos antennia syötetään samalla teholla, mutta 90 MHz:n taajuudella, turvaetäisyys kasvaa antennin paremman vahvistuksen vuoksi noin kaksinkertaiseksi.



KUVIO 45. Laajakaistaisen VHF-antennin vahvistus taajuuden funktiona

HF ja VHF - taajuuksilla antennit ovat aallonpituuteen nähden yleensä pieniä, jolloin reaktiivinen lähikenttä ($r < \lambda/\pi$) on ratkaiseva.

Johtopäätöksenä edellisestä voitaneen esittää, että säteilyturvallisuuden kannalta olisikin ehkä olennaisempaa kiinnittää huomio enemmän antenneihin kuin radioihin.

Antennien turvaetäisyydet voidaan laskea taajuuden funktiona antennin säteilykuvion ja vahvistuksen perusteella olettaen, että antennia syötetään sen sietämällä maksimaalisella CW-teholla. Vaihtoehtoisesti antennin turvaetäisyydet voidaan määritellä sen ollessa liitettynä säteilylähteeseen mittaamalla sen säteilemät kentänvoimakkuudet ja tehotiheydet eri taajuuksilla. Määritellään turvaetäisyydet sitten laskemalla tai mittaamalla, valitaan turvaetäisyydeksi niin sanottu pahimman tapauksen tilanne, jossa säteilykentät ovat voimakkaammillaan. Jos käytetään turvamarginaalia tai varmuuskertoimia, niiden suuruus ja perusteet on syytä mainita.

Tässä työssä turvaetäisyyksien määrittelyperusteet on esitetty kohdassa 10.2. Radioantennien laskennalliset turvaetäisyydet on esitetty järjestelmäkartoitustaulukkoon sarakkeeseen lasketut turvaetäisyydet.

10.2.3.1 Antennien pinnassa oleva korkeajännite

Esimerkiksi kenttäradioantennin pinnassa oleva korkeajännite saattaa olla hyvin suuri, jopa tuhansia voltteja. Näin ollen välittömästi antennin pinnalla vaikuttava sähkökenttä on huomattavan korkea. Jos radiolähetin on varustettu useiden satojen wattien tehovahvistimella, antennin pinnassa saattaa olla niin suuri kosketusjännite, että se aiheuttaa hengenvaaran. Antennijännite on kuitenkin korkeataajuista, joten se ei aiheuta samanlaista sydämen fibrillaation (kammiovärinä) riskiä - tai rytmihäiriöalttiutta kuten 50 Hz:n verkkosähkö. Tyyppillisesti korkeataajuinen jännite aiheuttaa koskettaessa paikallisia palovammoja. Lääketieteessä käytetään suurtaajuisen jännitteen aiheuttamaa polttovaikutusta hyödyksi esimerkiksi kirurgisissa diatermilaitteissa. Antennin kosketusjännitteestä aiheutuvia vaaratilanteita ei suoranaisesti luokitella kuuluvaksi säteilyturvallisuuskäsitteistön piiriin, joten sen laajempi käsittely on rajattu tämän opinnäytetyön ulkopuolelle.

10.2.4 Radiolinkkien turvaetäisyyksien arviointi ja määrittely

Radiolinkkien säteilyturvallisuus toisin kuin radiojärjestelmien säteilyturvallisuus on usein mielekäästä arvioida kokonaisena järjestelmänä. Tällöin arvioidaan linkkiradion ja antennijärjestelmän säteily. Linkkejä ja antennejä käytetään pareina eikä niitä tavallisesti vaihdella ristiin järjestelmien väleillä.

Maavoimien kenttälinkit ovat suhteellisen pienitehoisia (< 10 W), mutta niissä käytetään hyvin suuntaavia antennejä, joiden vahvistukset voivat olla yli 30 dBi:tä. Tyypillinen VHF-UHF taajuusalueen kenttälinkkijärjestelmän antennin vahvistus on kuitenkin luokkaa < 20 dBi:tä. Yhteysvälin muodostumisen eräs edellytys on, että saavutetaan riittävä signaalitaso. Sen vuoksi linkkiantennit sijoitetaan tavallisesti korkealle paikalle ja korkeaan vähintään 24 metriseen mastoon. Linkkiantennien turvaetäisyydet ovat niiden pääkeilasta mitattuna muutaman metrin luokkaa. Koska antennit ovat korkealla mastossa ja suunnattu kohti toista antennia, ne eivät normaalitoiminnassa aiheuta säteilyturvallisuusriskejä käyttäjilleen tai muulle väestölle.

Turvaetäisyyden määrittelyperusteet on esitetty kohdassa 10.2. Radiolinkkien laskennalliset turvaetäisyydet on esitetty järjestelmäkartoitustaulukkoon sarakkeeseen lasketut turvaetäisyydet.

10.2.5 Johtamis- ja komentopaikat

Maavoimien johtamis- ja komentopaikkoina käytetään johtamiskontteja ja johtamisajoneuvoja. Johtamispaikoilla käytetään monenlaista radio- ja tutkaka-lustoa, joten niiden ympäristössä esiintyy monenlaista säteilyä. Itse johtamispaikat on usein panssaroituja, jopa EMP-suojattuja, mutta käytössä on lisäksi panssaroimattomia tai hyvin kevyen ballistisen suojan tarjoamia tiloja. Ionisoi-mattomalle säteilylle edellä esitetyt suojatut tilat antavat yleensä riittävän suo-jan. Johtamistilojen lisäksi johto- ja komentopaikkoina käytetään muun muas-sa teltoja, jotka eivät juuri tarjoa suojaa säteilylle. Suojaamattoman tilan lähei-syyteen asennettavien antennien sijoitukseen on syytä kiinnittää huomiota, jotta vältetään enimmäisarvojen ylitykseltä.

Kuviossa 46 on esitetty esimerkkitapaus johtoajoneuvosta, jonka säteilyturvallisuuksmittauksissa mitattiin HF-antennin ollessa NVIS-toimintatilassa (kaarella) sivuoven yläosan kohdalta, pään korkeudelta (merkitty ! -merkillä) tehotiheydeksi 180 W/m^2 . Mitattu lukema on 20 W/m^2 yli sallitun, joka on 160 W/m^2 . Taajuus oli 2,5 MHz ja HF-radion lähetysteho 100 W. Säteilyturvallisuuslauseen perusteella edellä esitetty toiminta-arvon ylitys aiheutti järjestelmän käytölle rajoituksia. Sotilasjärjestelmien suorituskyvyn versus turvallisuuden välistä problematiikkaa on käsitelty kohdassa 10.6.



KUVIO 46. Sivuteltalla varustettu johtamisajoneuvo

Kuten edellä todettiin, johtamispaikoissa on moneen eri tarkoitukseen ja eri taajuusalueilla toimivia radiojärjestelmiä. Johtamispaikan spektrin hallinta onkin eräs keskeinen tehtävä niin sanotun spektrikonfliktin välttämiseksi. Sähkömagneettisen spektrin käyttö pyritään koordinoimaan elektronisen vaikuttamisen, tiedustelun ja taajuushallinnan kesken siten, että nämä eivät häiritse toisiaan (Kosola & Jokinen 2005, 107). Spektrikoordinoinnin tarkoitus onkin tavallaan estää kohdassa 4.4.8 esille tuotujen monitaajuisten kenttien samanaikainen esiintyminen. Toisin sanoen, vaikka johtamispaikoilla on runsaasti

erilaista radiokalustoa, tilannetta jossa ne ovat samanaikaisesti lähetystilassa, pyritään yleensä välttämään. Tähän on tietysti poikkeuksia, jos esimerkiksi radiojärjestelmät toimivat kokonaan eri taajuusalueella, ne toimivat ortogonaalisessa verkossa tai antennit on saatu sijoitetuksi riittävän etäälle toisistaan. Mainittakoon, että radion lähettäessä sen antennin ympärille syntyvä kenttä voi vaikutuspiirin alueella ($\sim \lambda/2$) olevien antennin kautta tukkia muiden radiojärjestelmien vastaanottimet ja haitata niiden toimintaa.

10.3 Radio- ja radiolinkki järjestelmien aiheuttamat terveystriskit yhteenveto

Yleisesti voitaneen arvioida, että maavoimien käytössä olevat soveltamisalueella toimivat radio – ja linkkijärjestelmät eivät aiheuta merkittäviä terveystriskejä käyttäjilleen tai väestölle. Maavoimien radiojärjestelmien lähetystehot ovat verraten pieniä, enintään satoja watteja. Näin ollen niiden turvaetäisyydet ovat lyhyitä, yleensä alle metrin. Normaalityö on suhteellisen helposti järjestettävissä niin, ettei kenenkään tarvitse olla jatkuvasti turvaetäisyyttä lähempänä säteilevistä antenneista. Lyhytaikaisista altistusrajojen ylityksistä ei yleensä ole terveydellisiä haittoja, koska kudoksissa ei ehdi tapahtua lämpenemistä.

Maavoimien kenttälinkkijärjestelmät ovat mobilisoituja ja niiden lähetystehot ovat tyyppillisesti muutamia watteja. Linkkien antennit voivat olla voimakkaasti suuntaavia, mutta pienestä lähetystehosta johtuen niiden turva-etäisyydet ovat korkeintaan muutamia metrejä. Normaalityöinnässä linkkiantenni nostetaan korkealle ja suunnataan toiseen linkkiantenniin. Korkealla toimiessaan ne eivät aiheuta ihmisille vaaraa.

Säteilyturvallisuuden kannalta kyseiset järjestelmät ei näin ollen aiheuta kovin merkittäviä säteilyturvauhkia tai terveystriskejä käyttäjilleen. Toisaalta esimerkiksi kenttäradioita on päivittäiskäytössä tuhansittain, joten on lähes varmaa, käyttäjien kehon osat altistuvat hetkittäin altistumisrajoja suuremmille sähkömagneettisille kentille. Tietävästi maavoimissa ei ole kuitenkaan yhtään tapausta, jossa kenttäradiot tai radiolinkit olisivat aiheuttaneet käyttäjilleen tai huoltohenkilöstölle niiden säteilystä aiheutuvia lämpö- tai muita terveyshaittoja. Ehkäpä suurin radiojärjestelmien aiheuttama terveystriski syntyy sellaisessa

tilanteessa, jossa antenni sijaitsee jossakin korkealla ja sitä koskettava henkilö pelästyy, menettää tasapainon tai otteensa ja saa pudotessaan vakavia vammoja. Väestölle radio- ja linkkijärjestelmät voivat aiheuttaa säteilyturvariskejä ehkä vain teoriassa. Laitteet ovat liikkuvia, eikä väestö tavallisesti pääse laitteiden tai antennien läheisyyteen.

10.3.1 Tutkajärjestelmien turvaetäisyyksien arviointi ja määrittely

Maavoimien käytössä olevat tutkat on asennettu liikkuville alustoille, joten ne kykenevät siirtymään nopeasti paikasta toiseen. Tutkajärjestelmän säteilymitaukset tehdään käyttöönoton yhteydessä tai sen jälkeen kun laitteistoon on tehty säteilyturvallisuuteen vaikuttavia muutoksia. Lisäksi tehdään tarkastusmittauksia jos säteilytason jostain muusta syystä voidaan olettaa lisääntyneen (STUK ST 9.2 ohje 2004, 5). Tutka-antennin ympäristössä tapahtuva mikroaaltosäteilyaltistuminen aiheutuu pääkeilan hajasäteilystä ja sivu- tai takakeilosta. Tehotiheydet ovat useimmiten niin pieniä, että ne eivät estä jatkuvaakaan työskentelyä säteilykentässä. Toisaalta tutkakeilasta voidaan mitata säteilevän lähikentän alueella (ks. kohta 3.2.4) suuriakin tehotihentymiä eli hot spotteja, johtuen lähikentän alueella tapahtuvista sm-kenttien summautumisista. Tutkakeilat ovat kuitenkin tavallisesti niin korkealla, että ihminen ei yllä pääkeilaan. Riskejä saattaa syntyä vain silloin, jos nousee ylemmäksi tutkan keilan tasalle (Alanko & Pääkkönen 2006, 40).

Tutkan aiheuttamalle säteilylle on ominaista, että kapeaan pyyhkäisevään säteilykeilaan keskitetään suuri teho. Esimerkiksi pyyhkäisevän merivalvontatutkan keskimääräinen tehotiheys on noin 10 W/m^2 alle 1 m etäisyydellä antennista. Vastaavasti ilmavalvontatutka, jonka huipputeho on 650 kW, aiheuttaa 20 W/m^2 tehotiheyden noin 20 metrin etäisyydellä. Tehokkaimmat seurantatutkat voivat tuottaa yli 100 W/m^2 tehotiheyksiä vielä yli kilometrin etäisyydellä. Antennin pyöriminen pienentää tehotiheyksiä noin kertoimella 100 verrattuna paikallaan olevaan tutkaan. (Alanko & Pääkkönen 2006, 20.)

Tutkasäteilylle altistuvat lähinnä huoltohenkilöstö testatessaan ja huoltaessaan tutkia sekä sotilashenkilökunta, joka niitä käyttää. Altistumisen raja-arvo 50 W/m^2 voi ylittyä useiden satojen metrien etäisyydellä paikallaan olevasta seurantatutkan antennista. Normaalikäytössä tutkakeilaa ei käytetä pysäytet-

tynä. Jos keilaus jostakin syystä pysähtyy, tutkan lähetysteho kytkeytyy pois joko automaattisesti tai operaattorin toimesta.

Kuten edellä esitettiin, tutkan turvaetäisyydet on määritelty kyseisen tutkan käyttöönotonyhteydessä tehtyjen mittausten ja turvallisuusarviointien perusteella. Tutkien osalta turvallisuusarvioinnit on pääsääntöisesti tehnyt STUK. Puolustusvoimissa tutkien järjestelmäkohtaisissa teknisissä ohjekokoelmissa (TOK) kohdassa työturvallisuus on ohjeistettu aina kyseisen tutkan säteilyturvallisuus. Lisäksi uudemmista, 2000- luvun jälkeen hankituista tutkista on pääsääntöisesti julkaistu erillinen säteilyturvallisuusohje, joka on järjestelmäkohtaisen TOKin liitteenä. Ohjeistukset on tehty STUKin turvallisuusarviointien pohjalta.

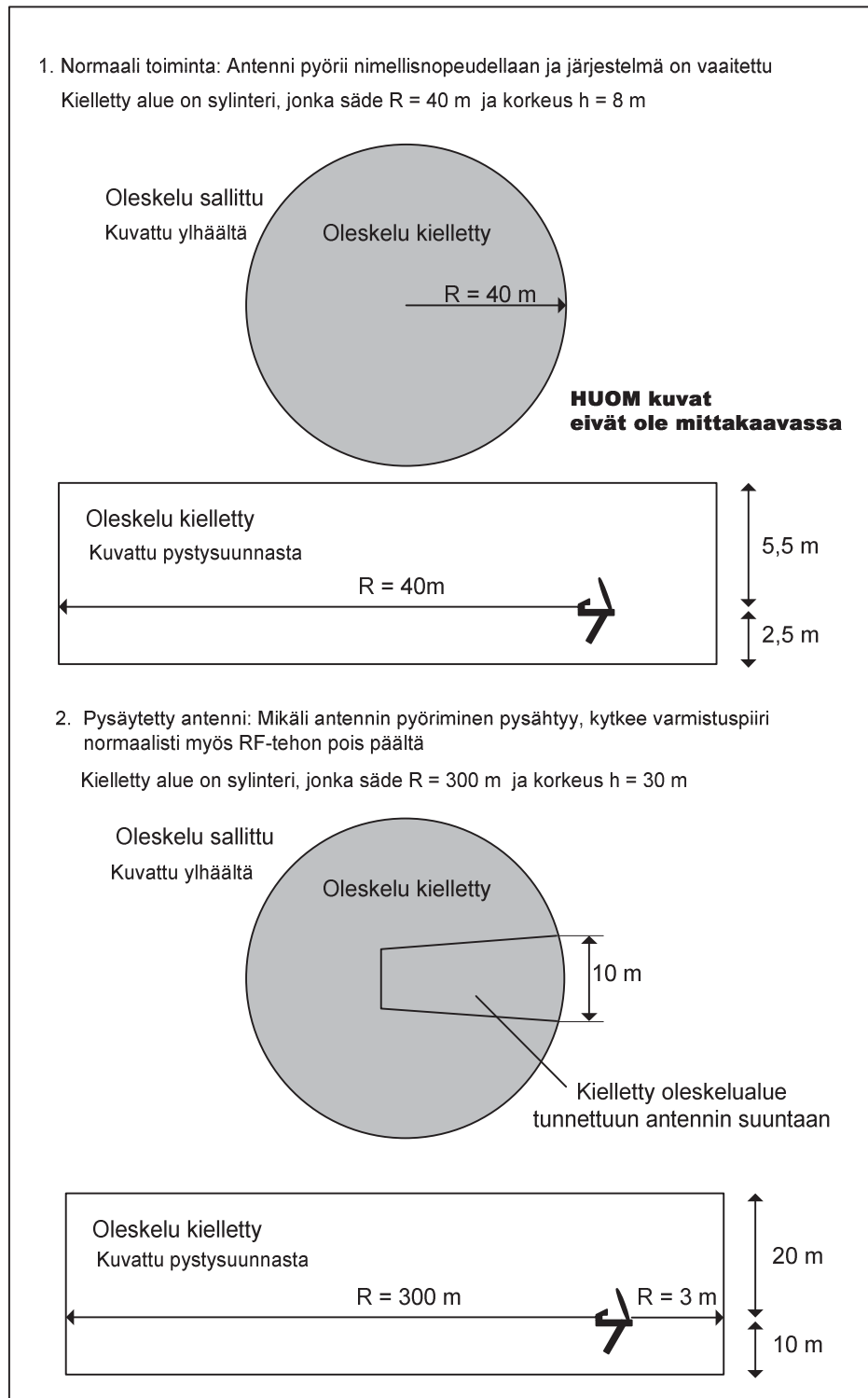
Tutkan valmistaja ilmoittaa yleensä myös turvaetäisyydet ja ne löytyvät tutka-kohtaisista huoltodokumenteista. Jos verrataan tutkan valmistajan ilmoittamia turvaetäisyyksiä STUKin mittausten perustella tehtyihin turvaetäisyyksiin, ne ovat pääsääntöisesti huomattavasti suurempia. Näin ollen voidaan olettaa, että valmistajat käyttävät turvaetäisyyden määrittämisessä huomattaviakin turvakertoimia.

Tutkien säteilyturvallisuusmittaukset on arkistoitu PVAH-järjestelmään. Lisäksi ne ovat saatavana MAAVMATLE:n ionisoimattoman säteilyn käytöstä vastaavalta johtajalta tai kyseisen tutkan asianhoitajalta. Tutkien säteilyturvallisuutta on arvioitu muun muassa (Alanko & Pääkkönen 2006, 20, 40-48) Maavoimien säteilyturvallisuusohjeessa. Taulukossa 10 on esitetty joidenkin maavoimien käytössä olevien tutkien turvaetäisyyksiä.

Taulukko 10. Tutkien turvaetäisyyksiä

Tutkatyyppi	Keilaava /m	Pysäytetty, tehot päällä /m	Väestöraja / m
Crotale, seurantatutka	10	50	150
Crotale, valvontatutka	3	3	25
BUK, seurantatutka		260	300
BUK, maalinosoitustutka	150	150	200
MOSTKA 87	40	300	

Kuviossa 47 on esitetty MOSTKA 87 (Ericsson) tutkajärjestelmän valmistajan laatiman turvallisuusohjeen mukainen esitystapa kielletyn alueen määrittämisestä. Kielletyn alueen määrittelyperusteita tutkan valmistaja ei ole tarkkaan ilmoittanut. Oletettavasti kielletty alue tarkoittaa aluetta, jossa työntekijän altistumisarvot ylittyvät lisättynä jollakin turvakertoimella.



KUVIO 47. MOSTKA 87 tutkan turvarajat

10.3.1.1 Tutkan siirtolinjan vuotosäteily

Vuotosäteily lähettimestä tai aaltoputkista huoltotoimien aikana on yleensä pientä 20 cm etäisyydellä alle $10\text{W}/\text{m}^2$. (Alanko & Pääkkönen 2006, 20.). Toisaalta, jos aaltoputki on vaurioitunut, sen liitokset ovat löysiä voi vuotosäteily olla hyvinkin merkittävää. On hyvin tyypillistä, että aaltoputkeen tai sen liitoksiin tulee vanhetessa vuotokohtia. Tämän vuoksi aaltoputkilinjojen vuotomittaukset tulee tehdä säännöllisesti, noin kahden vuoden välein. Jos aaltoputki kulkee oleskelutilassa, voisi riskien pienentämisen suhteen olla perusteltua, jos aaltoputken lähialue varustettaisiin kohdassa 6.1.7 esitetyillä säteilyvaroittimella. Säteilyvaroittimien valinnassa tulee huomioida, että se soveltuu pulssimuotoisen tehon mittaamiseen. Aaltoputkien vuotomittauksissa tulee noudattaa erityistä tarkkaavaisuutta, jotta vältetään turhalta altistumiselta. Tämän vuoksi, jos on yhtään aihetta epäillä, että vuotosäteily on merkittävää, on tutkan huoltotöissä suositeltavaa mitata säteily tai käyttää säteilyvaroittimia.

STUK ST 9.2, 2004, 5 ohjeen mukaan lähettimen ja siirtolinjojen sekä niihin liittyvien aaltoputki- tai koaksiaalikomponenttien vuotosäteily mitataan ja havaitut vuotokohdat tiivistetään. Jos vuotosäteily ylittää 15 cm:n etäisyydellä arvon $5\text{W}/\text{m}^2$, vuotokohdat on merkittävä laitteeseen. Merkinnästä on tarvittaessa käytävä ilmi etäisyys, jonka ulkopuolella vuotosäteilyn keskimääräinen tehotiheys on pienempi kuin taulukossa 4. esitetty enimmäisarvo.

10.3.1.2 Tutkajärjestelmien aiheuttamat terveysriskit yhteenveto

Maavoimien tutkajärjestelmät ovat yleensä mobilisoiduille alustoille tehtyjä liikkuvia järjestelmiä. Tutkan pääkeilan pulssiteho voi olla jopa kymmeniä kilowatteja. Jos pulssisäteily kohdistuu jatkuvasti tiettyyn suuntaan, voi keskimääräinen tehotiheys neliötä kohti olla antennikeilan lähikentässä jopa kilowatin luokkaa. Yleensä tutka-antenni kuitenkin pyöri tai tutkakeila kääntyy vaiheistestusti, jolloin tiettyssä suunnassa oleva keskimääräinen tehotiheys neliötä kohti pienenee lähikentässä ollen tyypillisesti kymmenien wattien luokkaa. Käytännössä suurtehoiset tutkakeilat osoittavat ilmaan tai ovat niin korkealla, että ihminen ei yllä pääkeilaan lainkaan. Riskejä saattaa syntyä vain silloin, jos syytä tai toisesta joudutaan tutkan pääkeilaan sen lähikentässä. Tutkille määri-

tellään käyttöönottovaiheessa turvaetäisyydet, joita noudattamalla voidaan välttää enimmäisaltistumisen toiminta-arvot.

Tutkan siirtolinjan (aaltoputki) vaurioitumisesta syntyvä vuotosäteily voi olla huomattavaakin. Siksi aaltoputket tarkastetaan säännöllisin väliajoin. Ehkä merkittävin säteilyturvallisuusuhka minkä valvontatutka aiheuttaa kohdistuu niiden huoltohenkilöstöön. Huoltotöiden yhteydessä on vaarana saada suurikin säteilyaltistus, jos laiminlyödään turvallisuusohjeistukset.

10.4 IFF-tutkat

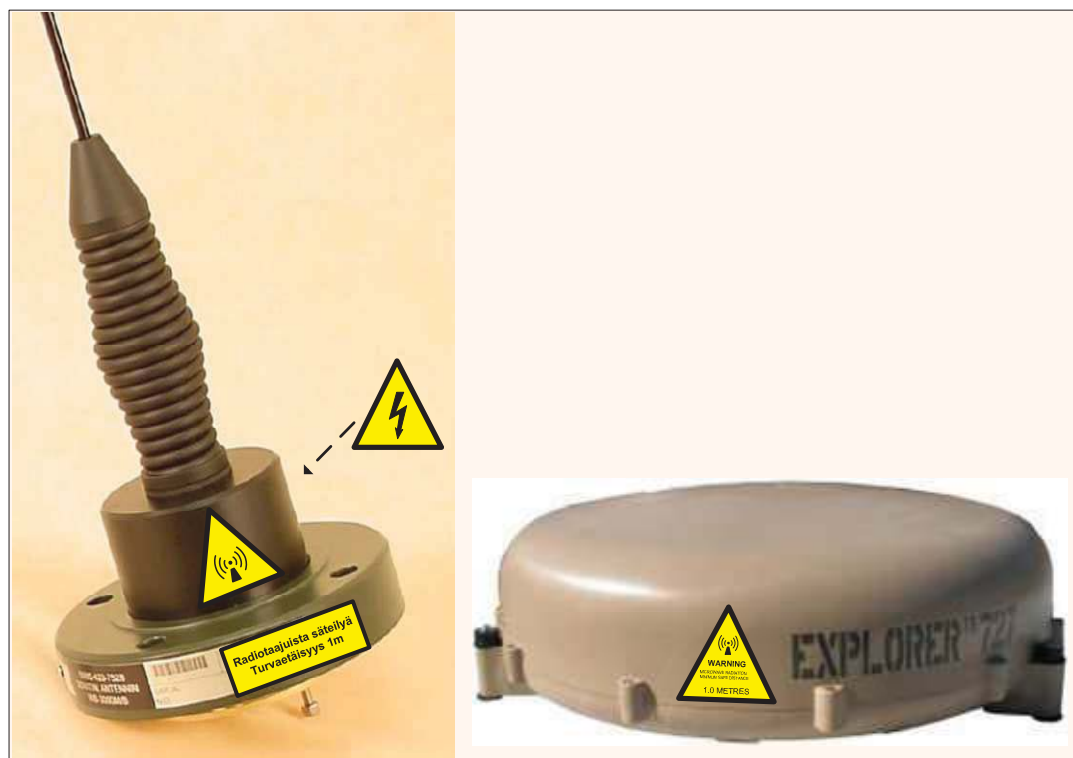
IFF eli toisiotutkan antennit on tyypillisesti sijoitettuna tai integroituna valvontatutkan antenniin, jolloin ne kääntyvät tai liikkuva tutka-antennin kanssa samassa tahdissa. Toisiotutka toimii tyypillisesti noin 1 GHz:n taajuusalueella ja sen pulssiteho on muutaman sadan watin luokkaa. IFF-tutkissa käytetään yleensä suunta-antenneja, joiden keilaleveydet ovat luokkaa 45° (korkeus) ja 20° (leveys). Edellä mainituilla keilaleveyksillä saavutetaan noin 15 dB:n vahvistus. IFF-tutkan aiheuttama keskimääräinen tehotiheys on sen suhteellisen pienestä EIRP-tehosta johtuen yleensä huomattavasti alhaisempi, valvontatutkan aiheuttamaan tehotiheyteen verrattuna.

Jos IFF-tutka toimii erillisenä tutkana, ilman että sen antenni on integroituna muuhun tutka-antenniin, tulee sen säteilyturvallisuus ja turvaetäisyydet määrittellä erikseen.

10.5 Varoitus- ja turvaetäisyysmerkinnät

Kun järjestelmälle on määritelty turvaetäisyys, sen säteilyä synnyttävään komponenttiin (antenni) voidaan kiinnittää radiotaajuisesta säteilystä varoittava merkki tai kyltti ja merkitä siihen lisäksi määritelty turvaetäisyys. Merkinnöistä on olemassa STUKin laatima ohjeistus (STUK ST 1.3, 2006). Ohjeessa esitetään säteilylaitteiden ja radioaktiivisten aineiden sekä niiden käyttöpaikkojen yleiset merkintäohjeet. Ohjeen mukaan toiminnan harjoittajan on merkittävä säteilyn käytössä säteilylaitteet ja radioaktiiviset aineet sekä niiden käyttö- ja säilytyspaikat asianmukaisilla turvamerkeillä. Esimerkiksi metallisiin piiskaantenneihin voidaan lisäksi asentaa sähköiskun vaarasta varoittava merkki

kuvion 48 mukaisesti. Vasemmanpuoleinen kuva esittää VHF-alueen piiska-antennin jalkaa, joka on merkitty lisäksi radiotaajuisesta säteilystä varoittavalla tarralla ja turvaetäisyydellä. Oikeanpuoleiseen satelliittipuhelimen antenniin merkinnät on tehty valmistajan toimesta.



KUVIO 48. Varoitus- ja turvaetäisyysmerkittyjä antennejä

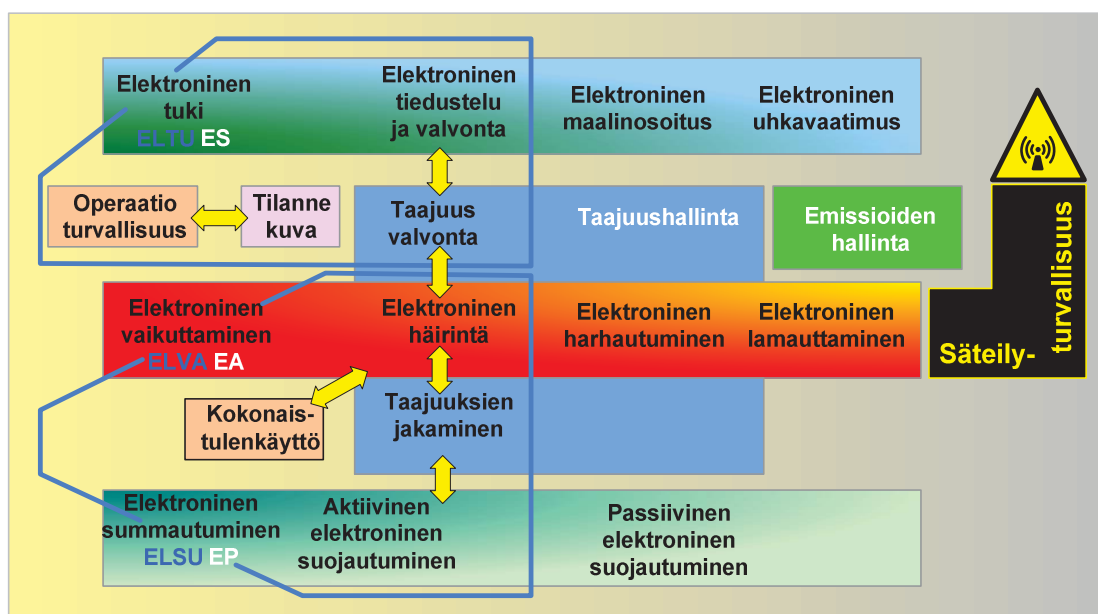
Antennien turvaetäisyysmerkinnöillä on myös tietynlainen pedagogien merkitys, koska merkinnät viestittävät mahdollisesta vaarasta ja opettavat käyttäjiä hahmottamaan, millaisia ovat erityyppisten antennien tavanomaiset turvaetäisyydet. Nyrkkisääntönä voidaan esittää, että VHF- ajoneuvopiiska-antennista on syytä pysyä vähintään niin etäällä, ettei siihen pääse käsin koskettamaan. Näin menetellen ei myöskään synny kosketusjännitteestä aiheutuvia sähköiskuvaaroja. Kuviossa 49 on esitetty Tadiran HF-alueen ajoneuvoantennin komponentit. Kyseisen antennin tyviosassa on kosketusjännitteestä varoittava kyltti ja kosketussuojaus. Sen sijaan säteilyturvallisuudesta varoittavia merkkejä antenniin ei ole valmistajan toimesta asennettu, joten ne joudutaan kiinnittämään tarvittaessa jälkikäteen.



KUVIO 49. Tadiran HF-alueen ajoneuvoantenni

10.6 Sähkömagneettisen säteilyn rajoittaminen taistelukentällä

Toisen vuosituhannen taistelukenttä on varsin kompleksinen kokonaisuus, jonka eräs ominaispiirre on elektronisten järjestelmien huomattava määrä. Taistelukentän elektroniset järjestelmät ovat yhtymän näkö-, kuulo- ja tuntoaisti, havaintoja ja toimintaohjeita välittävä hermoverkosto, informaation jäsentämisestä ja esittämisestä vastaava päätöksenteon työkalu sekä yhtymän asejärjestelmän keskeinen osa. Elektroniikan avulla järjestelmät ja joukot voidaan yhdistää tehokkaiksi kokonaisuuksiksi, joiden taisteluarvo on huomattavasti osiensa summaa suurempi. Elektroniikasta ja sähkömagneettisen spektrin hyödyntämisestä ja hallinnasta on tämän vuoksi tullut taistelun tärkein kulmakivi, joka antaa voiton avaimet sen käsiin, joka hallitsee niitä paremmin. (Solante & Kosola, 2003, 3). Kuviossa 50 on esitetty sähkömagneettisen spektrin hallinnan osa-alueet taistelukenttäolosuhteissa. Esimerkiksi spektrinkäyttökonfliktin välttäminen edellyttää kaikkien kuvassa esitettyjen tehtävien ja toteutusperiaatteiden yhteensovittamista. Alkuperäiseen kuvioon (Kosola & Jokinen 2005, 109) on lisätty oikealle säteilyturvallisuuslohko, joka lähtökohtaisesti on osa spektrinhallintaa ja läheistä sukua emissioiden hallinnalle.

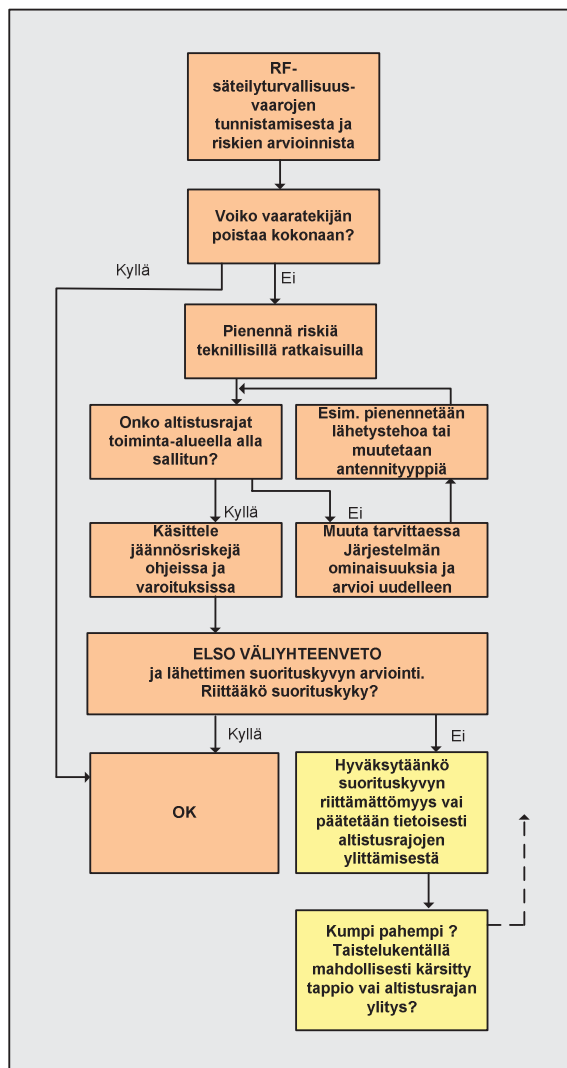


KUVIO 50. Sähkömagneettisen spektrin hallinnan osa-alueet

Säteilyturvallisuuden merkityksestä sotilasjärjestelmien käyttöönotossa on viimeaikoina keskusteltu useissa eri yhteyksissä. Sotilasjärjestelmien oletetaan olevan suorituskykyisiä, ja niiden oletetaan kykenevän täyttämään tehtävänsä kaikissa taistelukentän olosuhteissa. Esimerkiksi radio- ja tutkajärjestelmien suorituskyvyn eräs keskeinen parametri on säteilyteho, joka määrää hyvin pitkälle radiojärjestelmällä saavutettavan yhteysvälin pituuden ja sitä kautta järjestelmän suorituskyvyn. Vastaavasti sensorijärjestelmien, kuten tutkien toimintaetäisyydet perustuvat hyvin pitkälle tutkien pulssitehoihin. Omalukunsa ovat sähkömagneettiseen säteilyyn perustuvat omasuojahäirintäjärjestelmät (ECM), joiden tehtävä on muun muassa estää vihollisen radioteitse aktivoitavien tienvarsipommin laukeaminen oman ajoneuvon lähetyillä. Jos tällaisen järjestelmän säteilytehoa rajoitetaan säteilyturvallisuussyistä liikaa, se ei kykene kilpailemaan vihollisen käyttämän aktivointisignaalin kanssa.

Korkea säteilyteho ei sinänsä aiheuta säteilyturvallisuusriskejä, jos omat joukot kyetään suojaamaan säteilyltä tai jos voidaan toimia riittävän etäällä säteilylähteestä. Väistämättä taistelukentällä tai harjoitustilanteissa ajaututaan kuitenkin sellaisiin tilanteisiin, joissa se ei ole mahdollista. Riskienhallinta taistelukentällä on tässäkin suhteessa haasteellista. Kuviossa 51 on kuvattu päätöksenteon prosessiin liittyvä ongelma. Jos ollaan tietoisia siitä, että säteilyturvallisuuden raja-arvot ylitetään, saattaa nousta esille kysymys; kumpi taktisista vaihtoeh-

doista valitaan, rajoitettu säteilyteho sekä suorituskyky ja niiden seurauksesta mahdollisesti kärsitty tappio vai mahdollisimman optimaalinen suorituskyky ja siten huomattava radiotaajuiselle säteilylle altistuminen.



KUVIO 51. Rikienhallinnan prosessin ongelmakuvaus

Kuviossa 52 on panssaroituja partioajoneuvoja, joissa ollessaan erityisesti ne sotilaat, jotka ovat osittain ajoneuvon ulkopuolella altistuvat monenlaisille riskeille, joista radiotaajuiset säteilyriskit ovat todennäköisesti kaikkein pienimpiä. Vasemman puoleisen kuvan ajoneuvon keulalla on oletettavasti ECM-järjestelmän antennit. Kuviossa 53 on partiovene. Vaikka vene on norjalainen, siinä ovat pitkät piiskat eivät ehkä kuitenkaan ole kalastukseen tarkoitettuja vaappuvarsia.



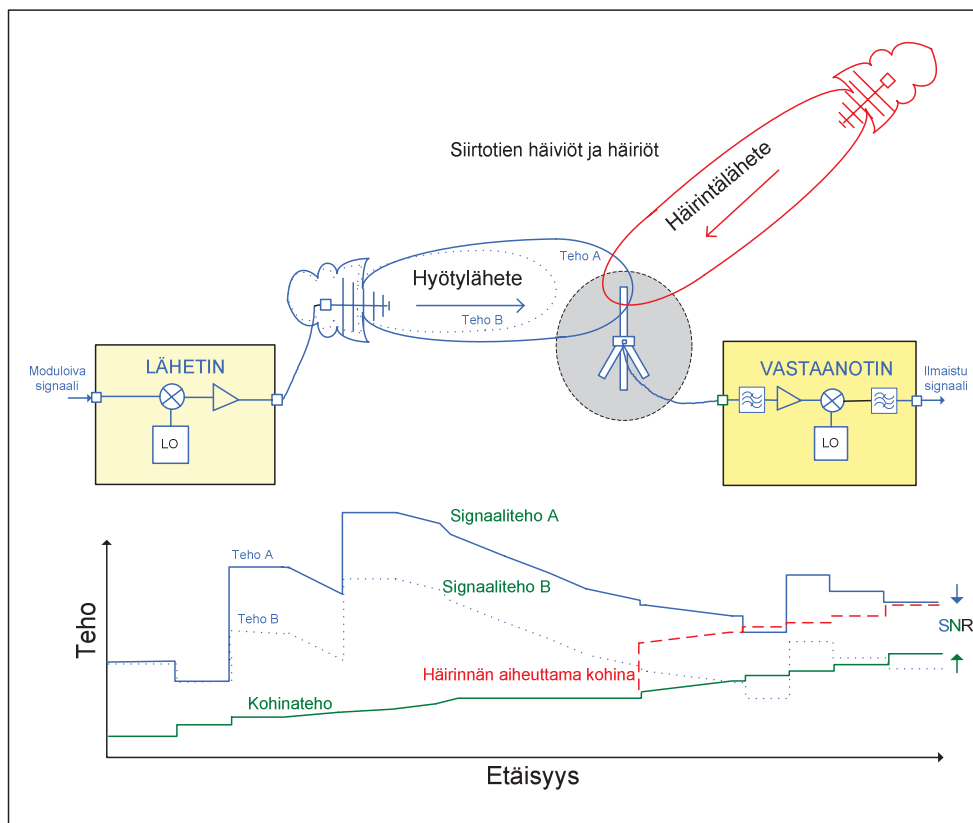
KUVIO 52. Panssaroituja partioajoneuvoja antennineen



KUVIO 53. Partiovene antennineen

Kuviossa 54 on esitetty viestijärjestelmän suorituskyvyn rajoittamiseen liittyvä ongelma radioteknisestä näkökulmasta, jossa keskeinen parametri on vastaanottimessa signaalin ilmaisuun tarvittava signaalikohinasuhde. Lähetyssignaaliin summautuu kohinaa kaikissa radiojärjestelmän lohkoissa, kuten modulaattoreissa, sekoittimissa ja vahvistimissa. Sen lisäksi kohinaa syntyy antennijärjestelmissä. Kun signaali (aalto) etenee väliaineessa, se vaimenee ja siihen sekoittuu lisäkohinaa. Vastaavasti vastaanottimen lohkoissa syntyy kohinaa. Taistelukentän olosuhteissa on vielä eräs merkittävä komponentti, joka on huomioitava sotilasjärjestelmän suorituskykyä arvioitaessa. Se on vihollisen aiheuttama vastatoimi eli häirintä. Kuviossa 54 on esitetty suorituskyvyn muodostuminen kahdella lähetysteholla A ja B. Lähetysteholla A ilmaisuun tarvittava signaalikohinasuhde näyttäisi olevan mahdollista saavuttaa, edellyttäen ettei häirintää ole. Teholla B lähetyssignaali jää kohinatason alapuolelle, jolloin

hyötydatan ilmaisu ei ole mahdollista. Kuviossa 54 on esitetty myös tilanne, jossa vihollisen häirintäsignaali lisää kohinaa niin paljon, ettei ilmaisuun tarvittavaa signaalikohinasuhdetta voida saavuttaa. Tällöin ratkaisu voisi olla käyttää myös vastaanotossa suunta-antennia ja osoittaa se kohti lähetyksantennia tai lähettimen tehotason nostaminen tai käyttää molempia edellä esitettyjä vaihtoehtoja.



KUVIO 54. Säteilytehon merkitys radiojärjestelmän suorituskykyyn

Tutkalla maalista saatavan signaalin voimakkuuden pitää ylittää kohinan voimakkuus käytännössä ainakin kymmenkertaisesti (10 dB). Yhteistyöhaluton osapuoli todennäköisesti lisää ja huonontaa tutkan tilannetta lisäämällä kohinaa ja tulemalla pienemmällä maalilla. Kuviossa 55 on häirintäjärjestelmä, joka on varustelu massiivisella antennijärjestelmällä. Häirintäjärjestelmän teho voi olla jopa tuhansia watteja.

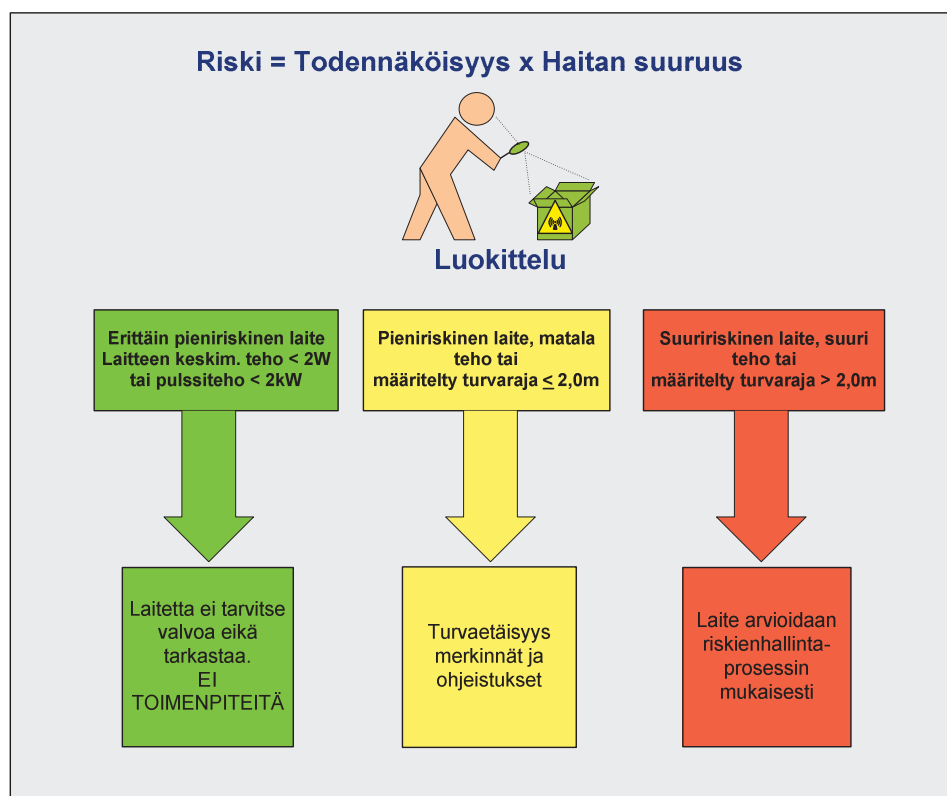


KUVIO 55. Häirintäjärjestelmä valmiustilassa

Kuuluisa preussilainen kenraali ja yksi kuuluisimmista sotateoreetikoista Carl von Clausewitz tiivistää edellä esitettyä seuraavasti: ”Jos haluamme nujertaa vastustajan, meidän on käytettävä voimaa sen verran kuin hänen vastustuskykynsä voittamiseen tarvitaan; ponnistelumme voidaan kuvata kahden vektorin summana, jonka komponentit eivät ole irrotettavissa toisistaan, ja ne ovat käytettävissä olevien välineiden määrä ja tahdonvoiman lujuus.”

11 MAAVOIMIEN JOHTAMISJÄRJESTELMIEN SÄTEILYTURVALLISUUDEN RISKIENARVIOINTI JA -HALLINTA

Riskienhallinnan menetelmä on tarkoituksenmukaista valita sen mukaan kuinka suureksi laitteen tai järjestelmän aiheuttama riski arvioidaan. Säteilylaitteiden karkea riskin suuruuden arviointi ja luokittelu voidaan toteuttaa ALARP-periaatetta mukaillen, kuvion 56 mukaisesti.

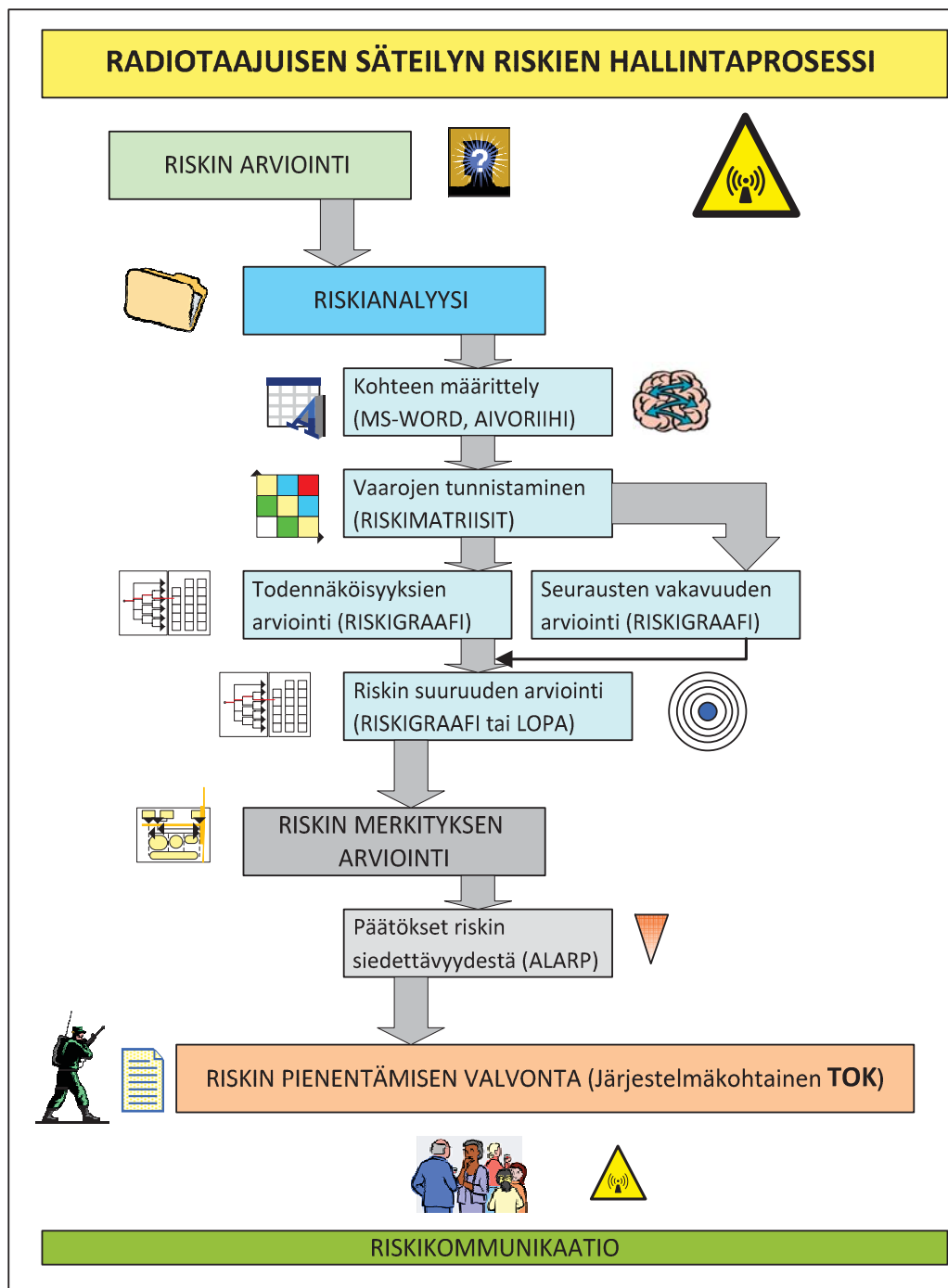


KUVIO 56. Säteilylaitteen luokittelu riskin mukaan

Jos säteilylaitteen keskimääräinen säteilyteho on enintään 2 wattia ja pulssiteho enintään 2 kilowattia, sitä ei tarvitse valvoa (PVHSM-001 kohta 1.4). Matalatehoisen tai pieniriskisen laitteen säteilyturvallisuuden riskiarvioinnissa on yleensä riittävää, kun määritellään sen turvaetäisyys ja ohjeistetaan laitteen turvallinen toiminta. Tarvittaessa laitteen antenni voidaan merkitä radiotaajuisesta säteilystä varottavalla merkillä ja merkitä siihen turvaetäisyys. Turvaetäisyys on syytä merkitä antenniin, jos turvaetäisyys on yli puoli metriä tai merkintään nähdään erityistä tarvetta. Jos laitteen tai järjestelmän oletetaan aiheuttavan merkittäviä säteilyturvallisuusriskejä tai riskienhallinta halutaan tehdä perusteellisesti, voidaan riskienarvioinnit toteuttaa kohdassa 9.4 esitetyn riskien hallintaprosessin mukaisesti. Kuviossa 57 on esitetty radiotaajuisen säteilyn riskienhallintaprosessina vaiheittain.

Riskienhallintaprosessissa kokonaisriskin arviointi lähtee riskianalyysistä, jossa määritellään kohde ja tunnistetaan siinä olevat riskit. Käytännössä selvitetään muun muassa riskiä aiheuttavat säteilylähteet, niiden sijainnit ja tekniset ominaisuudet. Riskien tunnistamisen työkaluina voidaan käyttää esimer-

kiksi avoriihimenetelmiä tai asiantuntijaryhmän pohdiskelun tuotosta. Tunnistetut riskit on dokumentoitava.



KUVIO 57. Radiotaajuisen säteilyn riskienhallintaprosessi

Kun riskit on tunnistettu, voidaan määritellä säteilyn käytön kokonaissuunnitelma, johon kirjataan tiedot muun muassa säteilylähteistä, niiden teknisistä ominaisuuksista ja käyttöympäristöstä. Säteilyn käytön suunnitelmaan tulee kirjata kaikki tiedot, joilla on merkitystä säteilyturvallisuuden arvioimisen kannalta, kuten:

- Järjestelmän yleiskuvaus, käyttötarkoitus ja käyttöympäristön kuvaus
- Säteilylähteiden tyypit ja niiden tekniset tiedot
 - o Lähetysteho
 - o Taajuusalue
 - o Modulaatio tai aaltomuoto
 - o Toimintasuhde tai arvio siitä
 - o Antennityyppi ja – vahvistus.

Tietojen perusteella lasketaan ja määritellään kunkin säteilylähteen turvaetäisyydet.

- Kokonaisuutta kuvaava rakennepiirustus, josta ilmenee säteilevien antennien sijoittelut.
- Työskentelytilat. Huomioidaan erityisesti ne tilanteet ja tapaukset, joissa joudutaan oleskelemaan antennien läheisyydessä.
- Teknisen asianhoitajan, järjestelmävastaavan tai järjestelmän käyttäjän tekemä arvio mahdollisista säteilyturvallisuusriskeistä. Tässä vaiheessa olisi eduksi, jos käytössä olisivat laskennalliset käyttösuunnitelmassa määriteltyjen säteilevien antennien turvaetäisyydet. Tällöin käyttäjät voisivat turvarajoihin viitaten peilata toimintaansa ja mahdollisia tai oletettuja säteilyturvallisuusriskejä.

Riskien luokittelun yhteydessä voidaan jo pohtia taulukon 7 riskimatriisiesimerkin mukaisia, alustavia jälkitoimenpiteitä riskien hallitsemiseksi. Riskien luokittelun jälkeen määritellään kullekin riskille turvallisuuden eheyttä vastaavat toimenpiteet, joilla kukin riski saatetaan hyväksyttävälle tasolle. Hyväksyttävän tason määrittelyssä voidaan käyttää ALAPR -periaatetta. Tämän jälkeen suoritetaan tarvittavat toimenpiteet riskien pienentämiseksi hyväksyttävälle tasolle. Toteutetut toimenpiteet kirjataan järjestelmäkohtaisiin TOK -ohjeisiin. Tarvittaessa tai tilanteen vaatiessa riskiperusteet voidaan arvioida uudelleen.

Riskien arviointi tulisi toteuttaa kahdessa osiossa (Ks. kohta 11.1), jolloin ensimmäisessä osiossa kartoitettaisiin järjestelmän tekniset riskit ja jälkimmäisessä osiossa kartoitettaisiin järjestelmän käyttöön liittyvät riskitekijät. Riskikommunikaatio on mukana kaikissa vaiheissa.

Liitteessä 1 on esitetty käytännön esimerkki, jossa on käytetty kyseistä prosessia tietyn järjestelmän säteilyturvallisuuden riskienhallinnassa.

11.1 Riskienarvioinnin vastuukysymyksiä

PVHSM Säteily 001 [Normin kohta 4] mukaan riskien arviointi kuuluu toiminnan harjoittajalle eli joukko-osaston vastuulle. Monesti saattaisi olla tarkoituksenmukaista jäsenellä tai hajauttaa riskienarviointi ja velvoittaa ainakin osa riskienarvioinnista sille organisaatiolle, jolle kuuluu järjestelmän teknillinen vastuu. Jos kyseessä on kohde, jonka arvioidaan aiheuttavan merkittäviä riskejä, tulisi riskienarvioinnit toteuttaa sekä teknillisestä että toiminnallisesta näkökulmasta.

Seuraavassa esitetään ajatus riskien arvioinnin jakamisesta kahteen osioon, jotka ovat tekninen riskienarviointi ja toiminnallinen riskienarviointi. Teknisestä riskienarvioinnista vastaisi Suomen Puolustusvoimissa aina se organisaatio, joka hankkii kyseisen järjestelmän tai jolle kuuluu järjestelmän tekninen vastuu. Esimerkiksi maavoimissa tekninen riskienarviointi kuuluisi pääsääntöisesti Maavoimien Materiaalilaitoksen Esikunnan Järjestelmäosaston vastuulle. Teknillinen riskienarviointi pitäisi sisällään muun muassa järjestelmän perusriskikartoituksen ja turvaetäisyyksien määrittelyt. Tekninen riskiarviointi tulisi sisällyttää järjestelmän tekniseen ohjeeseen eli TOK-asiakirjaan. Toiminnallisesta riskienarvioinnista vastaisi järjestelmää käyttävä toiminnan harjoittaja eli joukko-osasto, joka toiminnallisia riskienarviointeja tehdessään reflektoi teknisessä riskiarvioinnissa esitettyjä riskejä ja turvaetäisyyksiä omaan toimintaansa. Toiminnallisessa riskiarvioinnissa kartoitetaan nimenomaan ne riskit, joita arvioidaan liittyvän järjestelmän käyttöön kaikissa eri käyttötapauksissa.

11.2 Epäsuorat, välilliset vaikutukset

PVHSM Säteily 001 normissa kohdassa 4 esitetään, että työnantajan on riskien arvioinneissa otettava huomioon myös säteilyn aiheuttamia epäsuoria vaikutuksia. Muun muassa vaikutukset erityisten riskialttiiden työntekijöiden terveyteen ja turvallisuuteen on arvioitava. Kyseisessä säteilyturvallisuusnormissa ei määritellä sitä miten riskienarvioinnit tulee välillisten vaikutusten osalta tehdä tai mitä riskien arviointi pitää sisällään. Normissa ei myöskään esitetä riskiarvioinnin tekemiselle vastuunkantajaa, vaan viitataan 2004/40/EU- direktiiviin ja veloitetaan vastuu sen mukaisesti työnantajalle.

Kuten kohdassa 8.9 kommentoitiin, sähkömagneettisten kenttien ja -säteilyn epäsuoria vaikutuksia käsittelevä kokonaisvaltainen riskienarviointi edellyttää erittäin laaja-alaista asiantuntemusta monista tekniikan ja luonnontieteiden osa-alueista. Epäsuoria vaikutuksia koskeva riskien tunnistaminen on jo sinänsä erittäin haasteellinen tehtävä, sillä tuskin kukaan pystyy varmuudella sanomaan miten tietty laite, järjestelmä tai materiaali loppujen lopuksi reagoi sähkömagneettiselle säteilylle lukuisten eri muuttujien ollessa läsnä. Vaikka tarkasteltava kohde määritellään tietyllä alueella olevaksi sotilasmateriaaliksi, on riskin tunnistaminen silti hankalaa muun muassa siitä syystä, että taktisten järjestelmien asiantuntemus jakaantuu useille toimialoille, joissa tieto on hajautettu ja vieläpä turvaluokiteltu. Lisäksi laitevalmistajilta tai toimittajilta saatu tekninen tieto järjestelmän EMC-ominaisuuksista on usein varsin puutteellista. Monista vanhoista järjestelmistä tai materiaaleista ei välttämättä ole mitään EMC:hen liittyvää tietoa saatavana. Esimerkiksi Suomeen tuotiin suuria määriä tällaista ase- ja räjähdemateriaalia Itä-Euroopasta 1990-luvulla.

11.2.1 Soveltamisohjeluonnos

Epäsuoria vaikutuksia koskevien riskienarviointien vastuujakokysymysten mietinnän pohjaksi on seuraavassa esitetty soveltamisohjeluonnos, jossa on pohjustettu ja esitetty perusteita joihinkin vastuukysymyksiin tietyissä tapauksissa. Soveltamisohje on tarkoitettu MAAVMATLE:n järjestelmäosastolla tehtävän työnjaon selventämiseksi. Soveltamisohjeen tarkoitus on lähinnä herättää ajatuksia ja keskustelua vastuukysymysten määrittelemiseksi. Kyseinen soveltamisohje tai vastaavat seikat voitaisiin liittää puolustusvoimien normistoon myöhemmässä vaiheessa, kunhan vastuukysymyksistä on saatu yhteinen ja tarkoituksenmukainen näkemys puolustusvoimien sisällä.

11.2.1.1 Suora terveysvaikutteinen altistuminen

Säteilylaitteen suora altistava vaikutus terveyteen ja siihen liittyvät tekniset riskiarvioinnit, kuten turvaetäisyyksien määrittelyt, esitetään tehtäväksi Järjestelmäosaston viranomaissektorilla. Kyseillä organisaatiolla on tieto ja pätevyys sekä säteilyturvallisuuden lainsäädännön asettamista altistusrajoista että säteilyn vaikutuksesta ihmiseen. Työkaluina riskien arvioinneissa voidaan käyt-

tää kohdassa 6 esitettyjä laskentamalleja sekä kohdassa 9 esitettyjä riskienhallinnan menetelmiä.

11.2.1.2 Epäsuorat, välilliset EMC-vaikutukset

Säteilylaitteen vaikutus toiseen laitteeseen tai materiaaliin ja siihen kuuluvasta riskinarvioinnista vastaaminen esitetään kuuluvaksi sille järjestelmävastuun organisaatiolle, jonka tekniselle vastuulle kyseinen materiaali (laite, räjähde, sytytin jne.) kuuluu. Tällöin riskiarvioinnista vastaisi aina se organisaatio, jolla on järjestelmästä paras tieto ja osaaminen (Ks. 2004/40/EY 4 artikla 4 kohta pätevyys). Riskienarviointiprosessi on suositeltavaa tehdä yhteistyössä viranomaissektorissa työskentelevien EMC- ja sähköturvallisuusasiantuntijoiden kanssa. Mainittakoon, että ATEX -direktiivissä on kohta EMC- ja sähkömagneettisilta kentiltä suojautuminen. Lisäksi Euroopan komission julkaiseman ATEX -direktiivin soveltamisohjeen kohta 6.1 Electromagnetic Compatibility 2004/108/EC (EMC) käsittelee kyseistä seikkaa. Myös NATO on julkaissut varsin kattavat sotilasjärjestelmien julkaisusarjat AECPT 250 ja 500, jotka on tarkoitettu sotilasjärjestelmien sähkömagneettisten ympäristötekijöiden määrittelyyn ja testaukseen. Puolustusvoimilla on käytössä ja ammusvarastoissa varastoituna monentyypisiä ja monenikäisiä sytyttimiä ja räjähteitä, mikä lisää riskiarvioinnin kompleksisuutta.

Kohdassa 4.6 käsiteltiin sähkömagneettisen säteilyn lääkintälaitteisiin kohdistuvia epäsuoria vaikutuksia. Kenttälääkinnän käyttämiä ensihoitolaitteita koskevat tekniset riskiarvioinnit tulisi toteuttaa yhteistyössä Sotilaslääketieteen keskuksen ja puolustushaarojen materiaalilaitosten kanssa. Sotilaslääketieteen keskus vastaa taktisen ensihoidon lääkintälaitteiden hankinnoista, joten sillä on tieto lääkintälaitteiden teknisistä ominaisuuksista, kuten EMC. Vastavasti puolustushaarakohtaisissa materiaalilaitoksissa on tuntemus säteilylaitteista, jotka voivat aiheuttaa häiriötä lääkintälaitteiden toimintaan. Lisäksi materiaalilaitoksissa on EMC:n hallintaan tarvittavaa osaamista. EMC-mittauspalveluita tuottaa puolustusvoimissa LSHR:n järjestelmäkeskus.

11.2.1.3 Epäsuorat vaikutukset kehon sisäisiin siirännäisiin

Implantit eli istutteen tai siirännäiset ovat keinotekoisia esineitä tai elektronisia laitteita, joita lisätään kirurgisesti ihmisruumiiseen joko korvaamaan tai parantamaan tiettyä biologista toimintaa tai pelkästään esteettisistä syistä. Implan-teilla saattaa olla jopa henkeä ylläpitävä tehtävä, kuten sydämentahdistin tai sisäinen defibrillaattori (Wikipedia, Implantti). Monet implanteista ovat elektro-nisia laitteita, joten niiden toiminta voi häiriintyä voimakkaassa sähkömagneet-tisessä kentässä. Kirurgiset implantit luokitellaan lääkintälaitteiksi. Henkilö, jolla on kyseinen lääkintälaitte, kuulune PVHSM Säteily 001 normin kohdassa 4.4 mainittuihin riskialttiisiin työntekijöihin.

Sisäisiä lääkintälaitteita koskeva säteilyturvallisuuden riskiarviointi on haas-teellista, koska riskien tunnistaminen on vaikea tehtävä. Ihmisestä ei välttä-mättä näe päällepäin, onko hänellä kyseinen laite vai ei. Näin ollen tieto lait-teesta ja sen olemassaolosta perustuu henkilön omaan tietoon ja arviointiin. Lisäksi riskien tunnistamisessa on tiedostettava ympäristötekijät ja millaisissa sähkömagneettisissa kentissä ja taajuuksissa laitteen toiminta voi häiriintyä.

Kun potilaalle laitetaan sisäinen lääkintälaitte, hän saa hoitavan lääkärin toi-mesta opastusta laitteen käytöstä sekä siihen liittyvistä rajoituksista. Lisäksi lääkäri tai hoitaja jakaa potilaalle kirjallista opasaineistoa ”mitä potilaan tulee tietää”, jossa kerrotaan seikkaperäisesti muun muassa miten kaukana matka-puhelinta on pidettävä laitteesta. Lisäksi oppaissa on tavallisesti esitetty sätei-lyvaarasta kertovat varoitusmerkit. Näin ollen potilailla ja heidän omaishoitajil-laan pitäisi olla perustietoa sähkömagneettisen kenttien aiheuttamista riskeis-tä. Sellaista tietoa tai analyttistä ymmärrystä ei maallikkopotilaalta voida odot-taa, että hän pystyisi tunnistamaan ympäristössä vallitsevat kentät ja kykenisi täsmällisesti arviomaan kenttien aiheuttamia vaikutuksia laitteen toimintaan. Tämän vuoksi säteilylähteet ja alueet missä suuria kenttiä esiintyy pitää olla selkeästi merkitty varoitusmerkein (STUK ST 1.3 Ohje, 2006, 3). Varoitusmer-kinnöistä vastaavat toiminnan harjoittajat. Valtioneuvoston päätöksen (976/1994) mukaan työnantajan on turvamerkkejä järjestäessään otettava huomioon työsuojelua koskevien säännösten tai määräyksien mukaisesti työ-paikalla tehty riskien arviointi (STUK ST 9.2. Ohje. 2006, 3).

12 YHTEENVETO MAAVOIMIEN JOHTAMISJÄRJESTELMIÄ KOSKEVASTA SÄTEILYTURVALLISUUDESTA JA RISKIENARVIOINNISTA

Maavoimien käytössä on erilaisia radio- ja tutkajärjestelmiä, jotka toimiessaan säteilevät radiotaajuista säteilyä. Radiotaajuisen 30 kHz-10 GHz:n säteilyn tunnetut terveysvaikutukset johtuvat aaltojen energian imeytymisestä kehoon ja sen aiheuttamasta lämpötilan noususta kudoksissa. Terveyshaittoja syntyy, mikäli kehon lämmönsäätelyjärjestelmä ei pysty poistamaan tätä ylimääräistä lämpöä. Voimakastehoinen radiotaajuinen säteily voi siten olla hyvin vaarallista. Sitä vastoin pienitehoinen säteily, joka ei aiheuta kehon osien lämpenemistä, ei nykytiedon mukaan ole terveydelle vaarallista. Jos tulevaisuudessa pystytään osoittamaan, että ympäristössä esiintyvillä heikoillakin kentillä olisi terveydellisesti merkittäviä vaikutuksia, riskianalyysi muuttuisi huomattavasti ja mahdollisesti lähestyisi ionisoivaan säteilyyn rinnastettavaa riskianalyysiä.

12.1 Maavoimien johtamisjärjestelmät ja säteilyturvallisuus

Yleisesti voitaneen arvioida, että maavoimien käytössä olevat radio- ja linkki-järjestelmät eivät tämän selvityksen perusteella aiheuta merkittäviä terveysriskejä käyttäjilleen eivätkä väestölle. Kyseisten järjestelmien lähetystehot ovat verraten pieniä, enintään satoja watteja, joten niiden turvaetäisyydet ovat lyhyitä. Normaalityö on siten suhteellisen helposti järjestettävissä niin, ettei kenenkään tarvitse olla merkittäviä aikoja säteilevien antennien lähellä.

Tutkan pääkeilan pulssiteho voi olla jopa kymmeniä kilowatteja, mutta keskimääräinen tehotiheys, kun huomioidaan tutkakeilan ominaisuudet, on lähikentissäkin tyypillisesti vain kymmeniä watteja neliötä kohti. Merkittäviä riskejä saattaa syntyä vain silloin, jos joudutaan paikallaan olevan tutkan pääkeilan lähikenttään. Tutkille määritellään turvaetäisyydet, joita noudattamalla voidaan välttää enimmäisaltistuksen toiminta-arvot. Tutkan siirtolinjan (aaltoputki) mahdollisesta vaurioitumisesta syntyvä vuotosäteily on otettava huomioon sekä toiminnan aikana että huoltotöissä. Tutkan huoltotöiden yhteydessä on vaarana saada suurikin säteilyaltistus, jos laiminlyödään turvallisuusohjeistukset.

Tulevaisuuden taistelukentällä langattomien radio- ja pälaitteiden määrä tulee lisääntymään ja jopa yksittäiset taistelijat varustellaan langattomaan tekniikkaan perustuvilla päätelaitteilla. Suuria lähetystehoja ei enää tarvita, koska yhteysvälit ovat pieniä. Toisaalta nykyisenlaiset digitaaliset kenttäradiot tulevat säilymään taistelukentillä vielä pitkään. Suomen maasto-olosuhteet ja maantieteellinen laajuus ja asema edellyttävät pitkien kantamien suorituskykyä järjestelmiltä tulevaisuudessakin. Vanha sanonta: ”Tekniikka kehittyy, fysiikan lait eivät”, pätee ehkä tässäkin suhteessa.

12.2 Riskien arviointi ja -hallinta

Työnantajan velvollisuus on selvittää ja arvioida ionisoimattoman säteilyn, mukaan lukien radiotaajuuden säteilyn aiheuttamat riskit ja toteuttaa tarvittavat riskienhallinnan toimenpiteet. Lähtökohtaisesti riskit on poistettava tai pienennettävä niin vähäisiksi kuin mahdollista, ottaen huomioon tekninen kehitys ja toimenpiteet, jotka ovat käytettävissä riskin hallitsemiseksi sen syntyvaiheessa. Maavoimien toiminnan kannalta radio- ja tutkajärjestelmät ovat välttämättömiä, joten näiden osalta riskienhallinta perustuu lähinnä riskien pienentämiseen.

Perinteinen riskien hallinta lähtee siitä, että riskille altistumista rajoitetaan määräyksillä, teknisillä standardeilla ja normeilla. Näiden noudattamista valvotaan tarvittaessa tarkastuksilla ja mittauksilla. Puolustusvoimissa ionisoimattoman säteilyä valvoo Pääesikunnan Teknillinen Tarkastusosasto asetuksen 1306/93 ja PVHSM SÄTEILY 001- PETEKNTARKOS "Radio- ja tutkalaitteiden ionisoimattoman säteilyn tarkastus ja valvonta" normin mukaisesti. Normissa on tuotu korostetusti esille riskien arviointi, jota työnantajan (toiminnan harjoittajan) tulisi tehdä säteilylaitteita käyttäessään. Direktiivin 2004/40EY mahdollinen kansallinen ratifiointi tulee mitä todennäköisimmin aiheuttamaan muutoksia koko säteilylainsäädäntöön ja sitä kautta myös puolustusvoimien ohjeistukseen.

Nykyiset lainsäädännön määrittelemät perusteet, joilla turvaetäisyydet määritellään perustuvat tieteellisiin pitkä aikaisiin tutkimuksiin, joissa on mukana tiettyjä turvamarginaaleja. Turvamarginaaleja käytetään, koska sähkömag-

neettisten kenttien vaikutuksia kokevissa tiedoissa on aukkoja. Perusteita tai ohjearvoja ei tule mielivaltaisesti tai heppoisin perustein muuttaa.

12.3 Työn tarkoitus ja konkreettiset tuotokset

Työssä määriteltiin Maavoimien taktisiin johtamisjärjestelmiin kuuluvien radio- ja tutkajärjestelmien radiotaajuisen säteilyn (1,5 MHz–300 GHz) riskienhallinnan perusteita. Työn keskeinen tavoite oli tuottaa tilaajan käyttöön sekä työkaluja että menetelmiä edellä mainitun normin soveltamisalueella toimivien laitteiden säteilyturvallisuusriskien hallintaan. Lisäksi oli tarve sellaiselle kirjalliselle perusaineistolle, jossa säteilyturvallisuutta ja säteilyn aiheuttamia riskejä sekä valvonnan asettamia reunaehtoja tarkastellaan maavoimien johtamisjärjestelmien näkökulmasta.

Tätä opinnäytetyötä voidaan käyttää perusteoksena radiotaajuisen säteilyn riskien arvioinnissa. Työ pitää sisällään aineistoa lähtien säteilyn perusperusteista, päättyen radiotaajuisen säteilyn riskien arvioimiseen ja kokonaishallintaan. Konkreettisina työkaluina työssä syntyi muassa systemaattinen prosessi säteilyturvallisuuden riskien hallinnan tueksi, maavoimien säteilylaitetekartoitukset ja laskentataulukkoita, joiden avulla voidaan laskennallisesti arvioida muun muassa järjestelmien aiheuttamia säteilykenttiä sekä turvaetäisyyksiä. Työn tuloksena syntyi runsaasti uutta kuva-aineistoa, jota suoraan hyödyntämällä ja jalostamalla saadaan kehitettyä puolustusvoimien käyttöön soveltuvaa ionisoimattoman säteilyn koulutusmateriaalia. Koulutus ja tiedon lisääminen on hyvin olennaista, koska sitä kautta käyttäjät voivat omaehtoisesti pyrkiä pienentämään altistumista säteilylle.

Lisäksi työssä katselmoitiin puolustusvoimien radiotaajuisen säteilyn normi PVHSM SÄTEILY 001 erityisesti riskienarvioinnin näkökulmasta. Katselmoinnin tarkoitus oli saada perusteita riskienhallinnalle, mutta myös tuoda esille mahdollisia korjausehdotuksia ja ajatuksia pohdittavaksi normin tulevia versioita silmällä pitäen. Katselmoinnin tuloksena esitetään normia kehitettäväksi muun muassa riskienarviointien vastuukysymyksiä selventämisen osalta. Lisäksi normiin esitetään lisättäväksi epäsuorien vaikutusten riskienarvioimista selkeyttävä soveltamisohje. Kun normia seuraavan kerran uudistetaan viimeis-

tään vuonna 2013, voitaisiin muu muassa harkita Stanag 2345:n soveltamista nykyistä enemmän.

12.4 Työn arviointi

Säteilyturvallisuuden riskienarviointi on kaiken kaikkiaan vaativa tehtävä, joka edellyttää laaja-alaista poikkitieteellistä asioiden ymmärrystä ja yhdistämistä. Monien tieteenalojen yhdistäminen aiheuttaa väistämättä sen, että tarkastelu-alueesta tulee laaja. Koska työssä haettiin perusteita, työn aihealueen rajauksen suhteen koettiin jatkuvasti haasteita, sillä kaikki tuntui liittyvän tavallaan kaikkeen.

Laajan tuotosaineiston lisäksi työn aikana syntyi lukusia joko suoraan säteilyturvallisuuteen tai sen hallintaprosessiin liittyviä kehittämiskohteita. Läheskään kaikkia kehittämisideoita ei ole kirjattu kyseiseen työhön. Työn käyttökelpoisuutta kuvaa muun muassa se, että osa työn aikana kehitetyistä ideoista ja työkaluista otettiin kollegoiden piirissä käyttöön ennen loppuraportin valmistamista. Aihepiirin kehittämien jatkunee edelleenkin Maavoimissa. Kehitettävää jäi muun muassa laskentatyökalujen suhteen, joita on tarkoitus kehittää monipuolisemmaksi muun muassa koodaamalla niitä Matlab-ympäristöön. Riskienhallintaprosessi voidaan tehdä kokonaan sähköiseen muotoon, jonka loppuraportti voidaan yhdistää sellaisenaan järjestelmäkohtaiseen TOK- ohjeistukseen. Eräänä käytännön kehittämiskohteena tullaan esittämään ionisoimattoman säteilyturvallisuuskoulutuksen lisäämistä ainakin Maanpuolustuskorkeakoulun kurssivalikoimaan.

Työ oli hyvin ajankohtainen, koska radiotaajuinen säteily ja sen mahdolliset terveysvaikutukset kiinnostavat lähes kaikkia. Radiotaajuinen säteily ja sähkömagneettiset kentät tulevat tulevaisuudessakin olemaan yleisön ja tieteen kiinnostuksen kohteena. Siitä pitää huolen muun muassa matkaviestimien ja tukiasemien maailmanlaajuinen määrällinen kasvu. Radiotaajuinen säteily koetaan lähes kaikissa väestön osissa ainakin jonkinlaisena uhkana ja terveysriskinä.

Ehkä jopa keventävänä jatkoselvityskohteena esitetään myyttien murtajille haasteena selvittää urbaanilegendan asemaan nousut väite, jonka mukaan tutkien kanssa paljon työskennelleet miehet saavat jälkikasvuna vain tyttöjä.

Nimimerkillä kahden tytön isä, tutkamittaaja ILMAVK / IVRAUK III/81.

LÄHTEET

Aamulehti. Su asialiite. Suomi säteilee. 14.11.2010

Alanko, T., Pääkkönen, R. 2006. Maavoimien säteilyturvaohje. Työterveyslaitos. Raportti 2006-40067.

Asetus. A 917/1996. Asetus räjähdysvaarallisiin ilmaseoksiin tarkoitetuista laitteista ja suojausjärjestelmistä (Finlex).

Asetus. 1306/1993. Asetus ionisoimattoman säteilyn valvonnasta. (Finlex).

Asetus. 294/2002. STM:n asetus ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistumisen rajoittamisesta. (Finlex).

Asetus. 400/2008. Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta

Asetus. 423/2000. STM:n asetus säteilyn lääketieteellisestä käytöstä. (Finlex).

Chronic Exposure. This Chronic Exposure website is about mobile phone base stations, masts and health risks. <http://www.chronicexposure.org/index.html>.

EU-direktiivi 2004/108/EY. Sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta (EMC)

EU-direktiivi 2004/40/EY. Terveyttä ja turvallisuutta koskevista vähimmäisvaatimuksista työntekijöiden suojelemiseksi altistumiselta fyysikaalisista tekijöistä (sähkömagneettiset kentät) aiheutuville riskeille (kahdeksastoista direktiivin 89/391/ETY 16 artiklan 1 kohdassa tarkoitettu erityisdirektiivi).

EU-direktiivi 2006/42/EY. Koneista ja direktiivin 95/16/EY muuttamisesta (uudelleenlaadittu).

EU-direktiivi 89/391. Neuvoston direktiivi 89/391/ETY, annettu 12 päivänä kesäkuuta 1989, toimenpiteistä työntekijöiden turvallisuuden ja terveyden parantamisen edistämiseksi työssä.

EU-direktiivi 90/385/ETY. Aktiivit implantoitavat lääkintälaitteet ja – tarvikkeet.

EU-direktiivi 94/9/EY. Räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäviksi tarkoitettuja laitteita ja suojajärjestelmiä koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön lähentämisestä.

EU-ATEX- direktiivin soveltamisohje. Electromagnetic Compatibility 2004/108/EC (EMC).

Hannu, J. Lähi- ja kaukokentän määrittäminen. Viitattu 1.3.2011. <http://www.ee.oulu.fi/~jari/EMCST/LH2-lisamateriaali.pdf>.

Hannuksela, M. 2010. Sähköyliherkkyys. Lääkärikirja Duodecim. Viitattu 1.3.2011. http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00610.

Hansson Mild, K., Repacholi, M., van Deventer, E., Ravazzani, P., 2004. Electromagnetic Hypersensitivity Proceedings International Workshop on EMF

- Heikkilä, A., Murtonen, M., Nissilä, M., Virolainen, 2007. VTT. Tutkimusraportti. Viitattu 1.3.2011.
http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2007/Tutkimusraportti_VTT_R_03718_07.pdf
- Helsingin Yliopisto. Fysiikan laitos. Viitattu 1.3.2011. Luennot.
<http://theory.physics.helsinki.fi/~ed/luennot/>
- Henttonen, T. 2000. Turvallisuuden mittaaminen. Diplomityö. TTKK. Ympäristötekniikan osasto. Viitattu 3.1.2011. <http://www.tukes.fi/Tiedostot/julkaisut/7-2000.pdf>.
- Hypersensitivity Prague, Czech Republic October 25-27, 2004. Viitattu 1.3.2011. http://www.who.int/peh-emf/publications/reports/EHS_Proceedings_June2006.pdf.
- Hänninen O, Kinnunen S, Nilson M, Kassinen A, Tuormaa E, Aztmon I. Matkapuhelinteknologia – mitkä ovat terveystriskit? 2007. EMF books.
- ICNIRP. 1998. Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz-300 GHz). Viitattu 1.3.2011.
<http://www.icnirp.org/documents/RFReview.pdf>.
- ICNIRP. 2010. Activities and news. Viitattu 1.3.2011.
<http://www.icnirp.org/activities.htm>.
- IEC 61508-6. 2004. Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems. Turvallisuuden elinkaarimalli.
- IEC 61511-3. 2003. Guidance for the determination of the required safety integrity levels.
- ICD 10, International Classification of Diseases. 2006. Viitattu 1.3.2011.
http://www.who.int/peh-emf/publications/reports/EHS_Proceedings_June2006.pdf.
- Jokela, K., Puranen, L. 1994. Sähkömagneettisen säteilyn turvallisuusriskit (S4036L). AEL-Insko Kurssimateriaali. Helsinki:Copy-set.
- Jokela, K. 1985. STUK-B63. Radiotaajuiseen säteilyyn liittyviä turvallisuusky-symyksiä, Helsinki: Valtion painatuskeskus.
- Jokela, K. 2006. STUK. Sähkömagneettisten kenttien biologiset vaikutukset ja terveystriskit. Teknologiakeskus Pripoli .Luentomateriaali. Viitattu 1.3.2011. haastattelu Nieminen - Kalliomäki 22.1.2011.
- Kalliomäki. Puhelinhaastattelu 22.1.2011.
- Kamppinen, M., Raivola, Petri., Jokinen, P., Karlsson, H., 1995. Riskit Yhteiskunnassa. Maallikot ja asiantuntijat päätöksentekijöinä. Gaudeamus: Tampere.
- Kosola, J., Solante, T. 2003. Digitaalinen taistelukenttä. Helsinki:Edita.

Kosola, J., Jokinen, J. 2005. Elektroninen sodankäynti osa 2 –toimeenpano sotilasoperaatioissa. MPKK: Helsinki:Edita Prima Oy.

Laitonen, J. 2010. Todennäköisyyspohjainen riskien seuranta ydinvoimalaitosten valvonnassa. Diplomityö. STUK-TR 9. Viitattu 1.3.2011. <http://www.stuk.fi/julkaisut/tr/stuk-tr9.pdf>.

Laki. 16.11.2001/1015. Laki radiotaajuuksista ja telelaitteista. Viitattu 1.3.2011. <http://www.finlex.fi>.

Laki. 592/1991. Säteilylaki. Viitattu 1.3.2011. <http://www.finlex.fi>.

Laki. 738/2002. Työturvallisuuslaki. Viitattu 1.3.2011. <http://www.finlex.fi>.

Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto. Häiriöt kaukokentässä. Luentomateriaali. Viitattu 3.1.2011. <https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bl50a0200/luennot/l3kaukokentta.pdf>

Lehto, A. 2006. Radioaaltojen maailma. Helsinki:Otatiето.

Malmberg, M. 2009. Matkapuhelinsäteily ja SAR-mittaukset. Viitattu 3.1.2011. Theseus. Opinnäytetyö TAMK. <https://publications.theseus.fi/handle/10024/6954>

Manson, Neil A. 2002. Formulating the Precautionary Principle. Environmental Ethics.

Modarres, M. 2006. Risk Analysis in engineering. Taylor & Francis Group LLC.

NATO Stanag 2345. 2003. Evaluation and control of personnel exposure to radio frequency fields 2kHz – 300 GHz. Edition 3.

NATO, AECTP 250. 2011. Electrical and electromagnetic environmental conditions.

NATO, AECTP 550. 2011. Electrical environmental effects test and verification.

Niittylä, A. 2010. EU 2004/40EU direktiivin velvoittamistulkinnoista . STUK. Sähköposti

Nyberg, H., Jokela, K. 2006. Toimittama. Sähkömagneettiset kentät. Hämeenlinna:Säteilyturvakeskus.

Puolustusvoimat. Maavoimien Materiaalilaitoksen Esikunta. Hankinnan ja huollon asiantuntija. Viitattu 1.3.2011. <http://www.puolustusvoimat.fi/fi/>

Puolustusvoimien johtamisjärjestelmäkeskus. Ohje. 2009. SOTLOHJE TUOTANTO 005 – PVJJKTUOTOS. Mastotyön turvallisuusohje. Arkistotunnus HE1083.

Pääesikunta. Määräys. 2008. Normilyhenne PVHSM säteily 001-PETEKNTARKOS. Radio ja tutkalaitteiden ionisoimattoman säteilyn tarkastus ja valvonta. Arkistotunnus HE673.

Pääesikunta. Mastotyön turvallisuusohje 6/12/D/I R999/12/e/II/pe 15.4.2002 (Korvattu ohjeella SOTLOHJE TUOTANTO 005 – PVJJKTUOTOS)

Pääesikunta. PEV-OS PAK 06:03. 1984. Kenttäviestilaitteiden säteilyturvallisuusohje.

Pääkkönen, R., Kyttälä I. 2000. Säteilyt ja sähkömagneettiset kentät työympäristössä. Työterveyslaitos.

Päätös. 1474/1991. STM:n päätös ionisoimattoman säteilyn altistuksen enimmäisarvoista. (Finlex).

Päätös. 976/1994. Valtioneuvoston päätös työpaikkojen turvamerkeistä ja niiden käytöstä

Rahkola, A. 2010. STUK. Mobile phone use and risk of brain tumours. Viitattu 1.3.2011.

http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/tiivistelmat/a_sarja/en_GB/stuk-a246/_files/83589203223118941/default/STUK-A246_final_web.pdf.

Rekula, P., Juusela, M., Tamminen, E. 2003. Sähköä ilmassa. Tallinna:Erja Tamminen.

Räisänen, A., Lehto, A. 2001. Radiotekniikan perusteet. Helsinki:Otatieto.

Sauramäki, T., Keikko, T., Korpinen, L. Tampereen Teknillinen Yliopisto. Väestön altistuminen laajakaistaisille sähkö- ja magneettikentille. Viitattu 1.3.2011. <http://www.leenakorpinen.fi/archive/opukset/vaesto.pdf>.

Salo, A. 2007. Systeemanalyysin laboratorio Teknillinen korkeakoulu. Mat 2.3117 Riskianalyysi, Luennot. Viitattu 1.3.2011. http://www.sal.tkk.fi/vanhat_sivut/Opinnot/Mat-2.117/.

SFS-EN 12198. 2009. Koneturvallisuus. Koneiden säteilypäästöjen riskien arviointi ja vähentäminen.

SFS EN 60601. Sähkökäyttöisten lääkintälaitteiden turvallisuus.

SFS EN 60601-1 (3.rd ed) Medical electrical equipment. Part 1: General requirements for safety and essential performance.

SFS EN 60601-1-4. Medical electrical equipment. Part 1-4: General requirements for safety.

SFS-IEC 60300-3-9. 2000. Luotettavuusjohtaminen osa 3: Käyttöopas. Luku 9: Teknisten järjestelmien riskianalyysi.

Siirilä, T. 2009. Koneturvallisuus. Ohjausjärjestelmät ja laitteet: Keuruu Inspecta koulutus Oy.

Siren, S. 2010 -2011. MAAVMATLE. Keskustelut ionisoimattoman säteilyn käytöstä ja terveysvaikutuksista.

Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisuja 2008:14. Säteilyonnettomuudet. Säteilylle altistuneiden tutkimus ja hoito.

Sotilaallinen aikakauslehti Armada International 6/2010, 7/2010

STUK- A 161. Calculated rise in brain temperature caused by RF radiation. Viitattu 1.3.2011. http://www.stuk.fi/julkaisut/stuk-a/a161_2.pdf.

STUK. ST 1.3. 2006. Ohje. Säteilylähteiden varoitusmerkinnät.

STUK. ST 9.2. 2003. Ohje. Pulssitutkien säteilyturvallisuus.

STUK. ST 9.3. 2003. Ohje. ULA- ja TV-asemien mastotöiden säteilyturvallisuus.

STUK. 2001. Mikroaaltokuivauksen turvallisuus. Säteily ja ydinturvallisuuskatsauksia.

STUK-B-TARO 13. 1988. Radioamatööriaseman aiheuttama radiotaajuinen säteily

STUK. 2009 Radioaallot ympäristössämme. Säteily ja ydinturvallisuuskatsaus.

STUK. Säteilyn terveyshaitat. Viitattu 1.3.2011. http://www.stuk.fi/tutkimus/hankkeet/terveyshaitat/fi_FI/index_1/

STUK. Tiedotearkisto. Viitattu 1.3.2011. http://www.stuk.fi/stuk/tiedotteet/2010/fi_FI/etusivu/.

STUK. 2009. Pohjoismainen kannanotto matkapuhelinten terveysvaikutuksiin. Viitattu 3.1.2011. http://www.stuk.fi/sateilytietoa/sateilyn_terveysvaikutukset/matkapuhelin_terveysvaikutus/fi_FI/matkapuhelin-kannanotto/.

Teknoliateollisuus. Sähkömagneettisten kenttien lainsäädäntö lykkäytyy Viitattu 1.3.2011. <http://www.teknoliateollisuus.fi/fi/a/sahkomagneettiset-kentat.html>

Terveyskirjasto. Viitattu 1.3.2011 http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00610

Terveydenhuollon tuotetekniikan palvelut. Viitattu 1.3.2011. http://www.vtt.fi/service/exp/electrotechnicalproducts/healthcare_technology.jsp

TOTTI. Työpaikkatapaturmajärjestelmä. Viitattu 1.3.2011. <http://213.138.133.27:8080/tottipublic/shortsearch.form>

Työsuojeluhallinnon tapaturmarekisteri TAPS. Viitattu 1.3.2011. <https://eportti.tietopalvelut.com/taps/taps.asp?sulje=1>.

Työturvallisuus ja riskien hallinta. Viitattu 1.3.2011. http://www.ttl.fi/fi/tyoturvallisuus_ja_riskien_hallinta/riskien_hallinta/Sivut/default.aspx.

Työturvallisuuslaitos. Sähkömagneettisille kentille altistumisesta aiheutuvat riskit työpaikoilla. Viitattu 1.3.2011.

http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sateily/ionisoimaton_sateily/sahkomagneettiset_kentat/riskinhallinta_sm_sateily/sivut/default.aspx

VTT Riskianalyysit. Viitattu 1.3.2011. <http://www.vtt.fi/proj/riskianalyysit/>.

Wikipedia. Implantti. Viitattu 1.3.2011. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Implantti>

Wikipedia. Kvanttiteoria. Viitattu 1.3.2011.

<http://fi.wikipedia.org/wiki/Kvanttiteoria>.

Wikipedia. Toimintapotentiaali. Viitattu 16.4.2011

<http://fi.wikipedia.org/wiki/Toimintapotentiaali>

Wikipedia. Varovaisuusperiaate. Viitattu 1.3.2011.

<http://fi.wikipedia.org/wiki/Varovaisuusperiaate>.

LIITTEET

Liite 1.

CASE radiojärjestelmän riskienhallintaesimerkki

Radiojärjestelmän säteilyturvallisuuden riskienhallinta

- Säteilyn käyttösuunnitelma
- Riskigraafit

SÄTEILYN KÄYTTÖSUUNNITELMA *ESIMERKKI*

Käyttösuunnitelma on lyhennetty alkuperäisestä poistamalla siitä epärelevantit kohdat.

MAAVOIMIEN MATERIAALAITOKSEN ESIKUNTA
 JÄRJESTELMÄOSASTO / VIRANOMAISSEKTORI
[Tampere 20.3.2011 / INS Seppo Siren](#)

SUUNNITELMA

SÄHKÖMAGNEETTISEN RADIOTAAJUISEN SÄTEILYN KÄYTTÖSUUNNITELMA
 SÄTEILYTURVALLISUUSLAUSUNTOA VARTEN
Ionisoimaton säteily, 1,5 MHz ... 300 GHz

1 KÄYTTÖSUUNNITELMAN TARKOITUS

Sähkömagneettisen säteilyn käyttösuunnitelman avulla on tavoitteena arvioida työntekijöiden terveyteen ja turvallisuuteen kohdistuvia riskejä, jotka aiheuttavat tai saattavat aiheuttaa altistumista sähkömagneettisille kentille (1,5 MHz -300 GHz) työssä. Arvioinnin perusteella ratkaistaan muun muassa järjestelmäkohtaisen säteilyturvallisuusmittausten tarve.

Käyttösuunnitelma perustuu PVHSM SÄTEILY 001-PETEKNTARKOS RADIO- JA TUTKALAITTEIDEN IONISOIMATTOMAN SÄTEILYN TARKASTUS JA VALVONTA normiin (HE673, 2008) ja erityisesti sen kohtaan 4. Mittaukset ja riskien arviointi.

1.2 YLEISTIEDOT

Yleistiedoissa ilmoitetaan asiaa hoitavien henkilöiden yhteystiedot ja mihin käyttötarkoitukseen säteilyturvallisuuslausuntoa haetaan.

Asian hoitaja: [DI Tötterström](#)
 Suunnitelman käyttötarkoitus:

Yhteystiedot: [MATLE. 0299 460 000 000](#), totterstrom@mil.fi

- Kokeilukäyttö. Pvm:
- Kenttäkoelupa. Pvm: *1.6 - 30.11.2011.*
- Tekninen hyväksyntä.
- Muu syy / Määrittele:

Projekti / hanke	<i>Mittausajoneuvon varustaminen</i>
Hankekoodi	<i>1401234567</i>
PVSAP työnnumero	<i>110000000001</i>
Käyttösuunnitelman kohta	<i>69100696969</i>
Toiminto	<i>14000</i>

Muuta tietoa, kuten muut asiaan vaikuttavat henkilöt yhteystietoineen

[Kapt. P. Himann / PORPR. Vaatimusmäärittelijä. joukot@mil.fi](mailto:joukot@mil.fi)
[Ylii, J.Kotinen / PORPR. Käyttäjä. joukot@mil.fi](mailto:joukot@mil.fi)
[Ltn J. Yrjälä / PORPR. Kenttäkokeidenjohtaja. joukot@mil.fi](mailto:joukot@mil.fi)

3 SÄTEILYLAITTEISTO JA SEN KÄYTTÖYMPÄRISTÖ

Tiedoilla pyritään saamaan riittävä tieto säteilylaitteista ja olosuhteista aiheutuvien riskien tunnistamiseen. Mikäli riskien arviointia ei kyetä näiden tietojen perusteella luotettavasti tekemään, tulee laitteistolle suorittaa säteilytarkastukset ja -mittaukset. Säteilyaltistuksen arvioimiseksi ja turvallisuuden varmistamiseksi tarpeelliset mittaukset on tehtävä luotettavaksi todetulla menetelmällä. Mittaukseen käytettävän säteilymittarin tai säteilyn mittauslaitoksen on oltava asianmukaisesti kalibroitu (Säteilylaki 592/27.3.1991, 23§).

Tarkastukset ja valvonta tulee toteuttaa Säteilyturvakeskuksen (STUK) hyväksymiä menetelmiä ja turvallisuusohjeita noudattaen siten, että laitteiden käyttö täyttää säteilylain (592/1991) mukaiset turvallisuusvaatimukset (STMa 1306/1993, 3§).

3.1 Käyttöympäristö / alusta

Säteilylaitteiston käyttöympäristö voi olla kiinteä rakennelma tai mobiiliratkaisu. Säteilyturvallisuusarvioinnin kohdentamiseksi tarvitaan laitekokonaisuuden nimitys, mihin säteilylaite tai -laitteisto kuuluu ja millaiseen käyttöympäristöön (alusta) laitekokonaisuus on rakennettu. Säteilyturvallisuusarviointia varten annetaan lisätietoina mm. käyttöympäristöä (alustaa) koskevat mitat (leveys, korkeus ja pituus).

- Ajoneuvo / alus. *TYKO johtamisajoneuvo . Mittapiirustus on saatavana asianhoitajalta.*
- Laitesuoja / kontti.
- Rakennus.
- Muu. Määrittele:

3.2 Lisätiedot / Järjestelmän kuvaus

TYKO- ajoneuvoa käytetään tilapäisenä johtamispaikkana ja radio-asemana ja sen alustana toimii panssaroimaton MB Sprinter 516CDI. Ajoneuvossa on kolme varsinaista johtamispaikkaa ja niiden lisäksi paikat viestimiehelle ja kuljettajalle. Ajoneuvo on suunniteltu siten, että siihen voidaan asentaa radiojärjestelmän etäkäyttö- ja hallintajärjestelmä, jolloin se voi toimia miehittämättömänä radioasemana. Lisäksi ajoneuvo tarjoaa erilaisia tehtäväkohtaisia valmiuksia toimia mm. viranomaisten kanssa yhteistoiminnassa. Yhteistoimintatehtäviä varten ajoneuvo on varusteltu esim. viranomaisverkon (VIRVE) päätelaite- ja työasemavalmiuksilla sekä tilannekuvan heijastusmahdollisuudella isolle näytölle.

Yksityiskohtainen TYKO-ajoneuvon toiminnallinen rakenne on esitetty TYKO päällysrakenteen käyttöohjeessa, joka on saatavana asianhoitajalta. Ajoneuvon kuljetaan sivuovista.

4 SÄTEILYLÄHTEET, KÄYTETTÄVÄT TAAJUUSALUEET JA LÄHETYSTEHOT

Säteilylaitteella (säteilylaki 592/27.3.1991, 9§) tarkoitetaan laitetta, joka sähköisesti synnyttää säteilyä. Tällainen säteilylaite tai säteilylähde on radio- ja tutkalaite, johon on liitetty antenni. Koska antenni on säteilylaitteen säteilevä osa, kiinnitetään päähuomio antennien sijoitteluun, mutta tarvittaessa muuhunkin laitteiston osaan. Jos järjestelmä sisältää useita antennia, merkitään ne järjestysnumerolla oheisen taulukon mukaisesti. Antennien numerointia käytetään sitten antennien asennus-layoutin esittämisessä. Luetteloon ei ole tarvetta merkitä vastaanottoantenneja.

Antenni no:	Antennityyppi, nimike	Taajuusalue MHz	Vahvistus dBi (enimmillään)	Tehonkesto (W)	Maksimi lähetysteho (W)	Tyypillinen toimintasuhte	Laskennallinen tai mitattu turvaetäisyys ilman turvakertoimia (Ammatillinen)
1.	HF antenni Tadiran AT-1715, piiska, omni	2,0 -30	0	100	100	1/10	0,8 m (laskettu)
2.	VHF-antenni Cojot WB 3090M, piiska, omni	30 - 108	-1	50	50	1/5	0,5 m (laskettu)
3.	Tetra-antenni WB1040M, omni	380 - 430	-1	25	10	NA / ?	0,25 (laskettu)
4.	Satelliittiantenni Inmarsat Explorer 727, RHCP	1525,0 - 1660,5	13,26	->	EIRP 18 dBW ~ 64 W.	NA / ?	1 m turvaetäisyys (valmistajan ilmoittama). Sivulle ja ylöspäin. Antenni ei säteile alaspäin.
5.	Satelliittiantenni Iridium, omni Hekix	1616 - 1626,5	-1 dBiC	10	7	NA / ?	Valmistajan ilmoittama SAR 1.6 W/kg jos laite on kädessä. Katolla turvaetäisyys on 0,1m
6.							

Lisätiedoissa annetaan selvitys antennien asennuksista mm. antennien korkeudesta käyttötilanteen aikana. Antennin korkeus voidaan määritellä esim. syöttöpisteen tai antennin jalan (sovittimen) korkeutena maasta.

4.1 Lisätiedot / Antenniasennuksen kuvaus

Antennit on asennettuna ajoneuvon katolle.

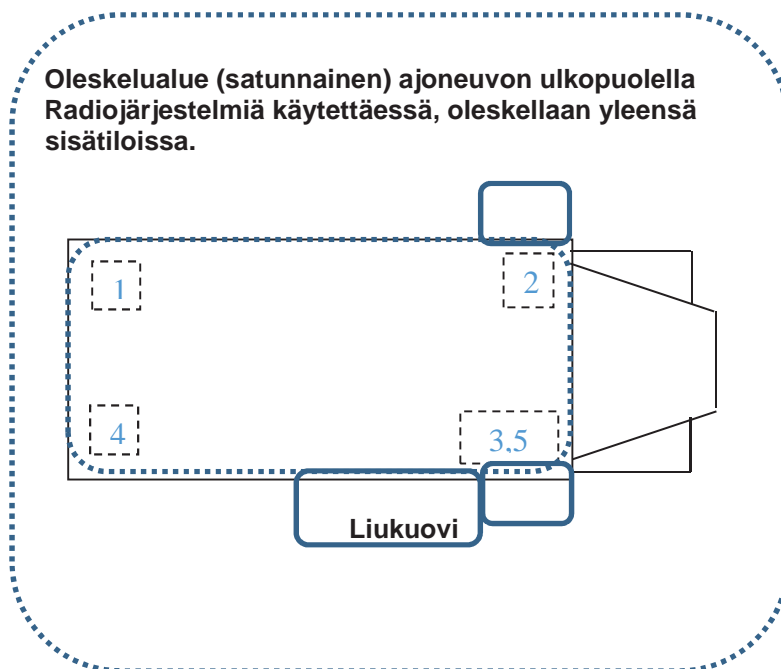
- *HF-antenni (No 1) käytetään sekä kaarella NVIS-toiminnassa (taajuuudet 1.8 - 8 MHz) että pystyssä pinta-aalloilla toimittaessa.*
- *VHF-antenni (No 2) on ajon aikana käännetty 45 asteen kulmaan, jotta ajoneuvon kokonaiskorkeudessa päästään tieliikennelain salliman 4,2 metrin enimmäiskorkeuden alle. Asemapaikassa VHF-antennia käytetään pystyasennossa.*

5. ANTENNIEN ASENNUSLAYOUT JA OLESKELUTILAT

Antennien sijainti esitetään käyttöympäristöä koskevassa piirustuksessa, josta ilmenee antennien keskinäinen sijainti, sijainti oleskelutiloihin ja kulkuaukkoihin nähden sekä antennien korkeus maasta. Käyttöympäristöstä annetut tiedot tukevat mahdollisesti laskennallisesti suoritettavaa säteilyaltistuksen arviointia.

Käyttöympäristöä ja antennien asennus-layoutia koskevat tiedot voidaan antaa seuraavissa yksinkertaistetuissa kaavioissa. Edellä määritelty antennin järjestysnumero sijoitetaan antennin sijaintia osoittavaan ruutuun.

Mikäli yksinkertaistetut kaaviot eivät sovellu käyttöympäristön ja antennien asennus-layoutin esittämiseen, esitetään tiedot erillisessä liitteessä.



AJONEUVO

Antennien paikat

Merkitään viereiseen kuvaan antennia vastaava numero antennin suunniteltuun paikkaan.

Mikäli ajoneuvon rakenne poikkeaa oheisesta kuvasta siten, ettei antennien paikkoja kyetä siinä todenmukaisesti esittämään, esitetään antennien sijoitukset esim. erillisellä piirustuksella (liite).

Oleskelutilat

Oleskelutilat rajataan piirustukseen katkoviivalla.

Ovet

Merkitään operatiiviseen tilaan johtavien ovien paikat.

6 KÄYTTÄJIEN JA / TAI TEKNISEN ASIANHOITAJAN TEKEMÄ RISKIEN ARVIOINTI

Esitetään lyhyt kuvaus mahdollisesti tunnistetuista vaaroista ja haitoista. Tämä on suositeltavaa tehdä vasta sen jälkeen kun turvaetäisyydet on määritelty. Tällöin käyttäjät peilaavat riskejä ja toimintaansa turvarajoihin vertaillen. Toisin sanoen onko riski altistua toiminta-arvoja suuremmille arvoille ylipäätään. Riskien arvioinnissa voidaan käytettäväksi erillistä riskimatriisia.

Käyttöhenkilöstöllä on vaara, että he altistuvat työskennellessään ajoneuvon lähellä enimmäisarvoja suuremmille toiminta-arvoille. Suurin laskennallinen turvaetäisyys on satelliittipuhelimella Explorer 727 (1 m). Säteily kohdistuu kuitenkin yläviistoon sivulle ja ylöspäin, joten maassa työskenneltäessä se ei aiheuta vaaraa käyttäjille.

HF-antennin turvaetäisyys on 0,8m. Hetkellinen altistumisen raja-arvon ylitys pään alueella on mahdollista tilanteessa kun tullaan tai poistutaan ajoneuvosta.

Muut antennit eivät aiheuta säteilyvaaraa käyttäjille.

Ajoneuvon sisälle ei pääse merkittävästi sm-säteilyä.

Ajoneuvon katolla ei oleskella.

7 Laaditut Riskigraafit antenneille, joilla on potentiaalia riskien aiheuttajiksi

Riskigraafin parametrit ja kalibrointi-arvot (HF-radio / antenni 0- 30 MHz, 100W)

Seurauksen vakavuus C (Radiotaajuinen sm-kenttä)

- C1** < 2x altistusrajan hetkellinen ylitys (voi olla oireeton)
- C2** < 5x altistusrajan ylitys (voi olla oireeton). Edellyttää lääkärintarkastusta
- C3** < 10x altistusrajan ylitys (oireita/ voi olla oireeton). Edellyttää lääkärintarkastusta
- C4** < 20x altistusrajan ylitys. Lämmön tuntu kehossa tai kehon osassa, palovammoja tai muita oikeita. Edellyttää lääkärintarkastusta tai potilaan toimittamista sairaalaan.

Vaaralle alttiinaolo F (Oleskelu riskialueella)

- F1** Satunnainen oleskelu (alle 6 min). Lähettimen toimintasuhde max. 1/5 .
- F2** Usein toistuva oleskelu tai jatkuva oleskelu. Radion toimintasuhde max. 1/2.

Vaaran välttämismahdollisuus

- P1** Mahdollista toteuttaa ohjeistuksilla, raja-aidoilla ym.
P1 valitaan kun oleskelu alue on 99% estetty järjestelmän päällä ollessa.
Muussa tapauksessa valitaan P2.
- P2** Ei voida välttää

Vaadetaajuus W

- W1** Tapahtuu kerran 4:ssä viikossa tai harvemmin (kerran kuussa)
- W2** Tapahtuu 2-4 kertaa kuukaudessa
- W3** Tapahtuu päivittäin.

C = Riskin seuraus
F = Alttiinaolo riski alueella
P = Riskin realisoitumisen välttämismahdollisuus
W = Tapahtuman todennäköisyys

	W3	W2	W1
X1	1	-	-
X2	1	1	-
X3	2	1	1
X4	3	2	2
X5	4	3	3
X6	5	4	4

1, 2, 3, 4, 5 = Toimenpidetasot

- = Ei toimenpidevaatimuksia
1 = Otettava huomioon koulutuksessa
2 = Koulutus, ohjeistuksia ja merkinnät
3 = Varoetäisyydet, osittaisia rajoituksia tai käyttökieltoja
4 = Laajamittaisia rajoituksia tai käyttökieltoja
5 = Käyttökielto tai toimintatavan muutos.

HUOM!

Tekstin tulee olla niin suurta, että se on luettavissa turvaetäisyyden takaa.

Yhteenveto / Toimenpidesuositukset: TET luokka 1 -> Vaaditaan toimenpiteitä!
Ei olla yleisillä kehon resonanssialueilla !

Toimenpiteenä:
1. Antenni merkitään sähkömagneettisen säteilyn varoituskylteillä. Kuva yllä. Laitetaan laskennalliseen turvaetäisyyteen 70 cm turvamarginaalia, jolloin turvaetäisyydeksi määräytyy 1,5 m.

Riskigraafin parametrit ja kalibrointiarvot Satelliittipuhelin Inmarsat BGAN Explorer 727

Seurauksen vakavuus C (Radiotaajuinen sm-kenttä)

- C1 < 2x altistusrajan hetkellinen ylitys (voi olla oireeton)
C2 < 5x altistusrajan ylitys (voi olla oireeton). Edellyttää lääkärintarkastusta
 C3 < 10x altistusrajan ylitys (oireita/ voi olla oireeton). Edellyttää lääkärintarkastusta
 C4 < 20x altistusrajan ylitys. Lämmön tuntu kehossa tai kehon osassa, palovammoja tai muita oikeita. Edellyttää lääkärintarkastusta tai potilaan toimittamista sairaalaan.

Vaaralle alttiinaolo F (Oleskelu riskialueella)

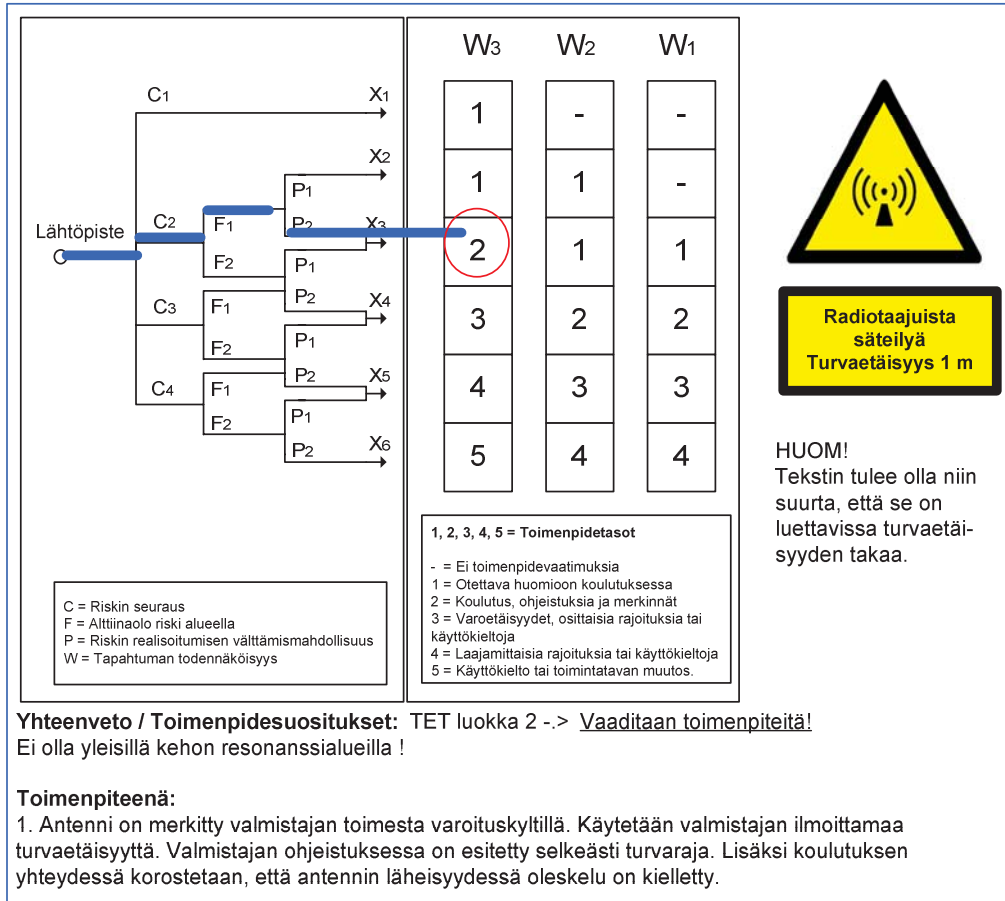
- F1** Satunnainen oleskelu (alle 6 min). Lähettimen toimintasuhde max. 1/5 .
 F2 Usein toistuva oleskelu tai jatkuva oleskelu. Radion toimintasuhde max. 1/2.

Vaaran välttämismahdollisuus

- P1 Mahdollista toteuttaa ohjeistuksilla, raja-aidoilla ym.
 P1 valitaan kun oleskelu alue on 99% estetty järjestelmän päällä ollessa.
 Muussa tapauksessa valitaan P2.
P2 Ei voida välttää

Vaadetaajuus W

- W1 Tapahtuu kerran 4:ssä viikossa tai harvemmin (kerran kuussa)
W2 Tapahtuu 2-4 kertaa kuukaudessa
W3 Tapahtuu päivittäin.



Liite 2. Suureita ja yksiköitä

SUURE	TUNNUS	YKSIKKÖ	YKSIKÖN TUNNUS	HUOMAUTUKSET
Sähkövirta	I	ampeeri	A	
Sähkövaraus	Q	coulombi	C	1 C = 1 As
Jännite	U	voltti	V	
Kapasitanssi	C	faradi	F	1 F = 1 As/V
Sähkömotorinen voima	E		V/m	
Taajuus	f	hertsi	Hz	1 F = 1 As /V
Sähkökentän voimakkuus	E		V/m	
Sähkövuo	Ψ	coulombi	C	
Sähkövuon tiheys	D		C/m ²	
Magneettikentän voimakkuus	H		A/m	
Induktanssi	L	henry	H	1 H = 1Vs/A
Magneettivuo	Φ	weber		1 Wb = 1 Vs
Magneettivuon tiheys	B	tesla	T	1 T = 1 Wb/m ²
Taajuus	f	hertsi	Hz	1/S
Resistanssi	R	ohmi	Ω	V/A
Impedanssi	Z	ohmi	Ω	
Reaktanssi	X	ohmi	Ω	
Konduktanssi	G	siemens	S	
Admittanssi	Y	siemens	S	
Aallonpituus	λ	metri	m	C ₀ /f
Teho (Pätöteho)	P	watti	W	1 W = 1 J/s = 1 VA
Tehotiheys	S tai (P _d)		W/m ² mW/cm ² <small>10 W/m² = 1mW/cm²</small>	P _d =E ² /Z ₀ , $\Phi_d = H^2 Z_0$
Virrantiheys	J		A/m ²	
Ominaisabroptionopeus	SAR		W/kg	
Johtavuus	σ		S/m	
Permeabiliteetti	μ		H/m	

Liite 3. Taulukko. Luonnonvakioita ja kaavoja

Vakio	Tunnus	
Valon nopeus tyhjiössä	C_0	$2,99792458 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$
Planckin vakio	h	$6,626196 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ $4,135714 \cdot 10^{-15} \text{ eVs}$
Alkeisvaraus	e	$1,6021892 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Tyhjön permeabiliteetti	μ_0	$1,2566370614 \cdot 10^{-6} \text{ Hm}^{-1}$
Tyhjön permittiivisyys	ϵ_0	$8,854187817 \cdot 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$
Tyhjön aaltoimpedanssi	Z_0	377Ω
Neperin luku	e	2,718281828459045
Pii	π	3,14159265359

Liite 4. Keskeisien riskikäsitteiden määritelmiä

Vahinko (Harm): Fyysinen vamma tai terveyshaitta tai omaisuus- tai ympäristövahinko.

Vaara (Hazard): Mahdollinen vahingon lähde tai vahingon mahdollistava tilanne.

Vaarallinen tapahtuma (Hazardous event): Tapahtuma, joka voi aiheuttaa vahingon.

Vaaran tunnistaminen (Hazard identification): Prosessi, joka tunnistaa että vaara on olemassa, ja määrittelee sen ominaispiirteet.

Riski (Risk): Määrätyn vaarallisen tapahtuman esiintymistaajuuden, tai -todennäköisyyden, ja seurauksen yhdistelmä. Huom. Riskin käsitteeseen liittyy aina kaksi osatekijää: taajuus tai todennäköisyys, jolla vaarallinen tapahtuma esiintyy, ja vaarallisen tapahtuman seuraus.

Riskianalyysi (Risk analysis): Saatavissa olevan tiedon järjestelmällistä käyttämistä vaarojen tunnistamiseksi sekä ihmisiin tai väestöön, omaisuuteen tai ympäristöön kohdistuvan riskin suuruuden arvioimiseksi. Huom. Riskianalyysi-termin asemesta käytetään myös joskus termejä kuten todennäköisyyspohjainen turvallisuusanalyysi, todennäköisyyspohjainen riskianalyysi, kvantitatiivinen turvallisuusanalyysi tai kvantitatiivinen riskianalyysi.

Riskin arviointi (Risk assessment): Riskianalyysin ja riskin merkityksen arvioinnin kokonaisprosessi.

Riskin suuruuden arviointi (Risk estimation): Prosessi, jolla mitataan analysoitavien riskien taso. Riskin suuruuden arviointi koostuu seuraavista vaiheista: taajuusanalyysi, seurausanalyysi ja niiden yhdistäminen.

Riskin merkityksen arviointi (Risk evaluation): Prosessi, jossa tehdään päätökset riskien siedettävyydestä riskianalyysin perusteella ottamalla huomioon sellaiset tekijät kuten sosio-ekonomiset ja ympäristölliset näkökohdat.

Riskien hallinta (Risk management): Johtamisperiaatteiden, menettelytapojen ja käytäntöjen järjestelmällistä hyväksikäyttämistä riskien analysoimiseksi, merkityksen arvioimiseksi ja valvomiseksi.

Lähde: SFS-IEC-60300-3-9

HAKEMISTO

A

Aallon vaimeneminen.....	17
Aaltoimpedanssi.....	20, 55, 166
Aaltomuodot.....	41
Aaltoputki.....	131, 132, 147
Absorboituminen.....	27, 36
AECPT.....	29, 145
Aikavakio.....	35
Aktiopotentialit.....	30
ALAPR.....	142
ALARP.....	3, 94, 95
ATEX.....	3, 76, 145, 152

B

Biologiset vaikutukset.....	1, 10, 25, 31, 153
-----------------------------	--------------------

C

COSMOS.....	45, 102
COTS.....	3, 110, 112

D

Diaelektrinen kappale.....	30
Diatermilaite.....	124
Dipoli.....	20
DNA.....	3, 13
Dosimetria.....	31
Dosimetrinen altistumissuure.....	26

E

ECM.....	3, 107, 135, 136
EHF.....	3, 22, 112
EIRP.....	3, 132, 160
EMC.....	3, 29, 43, 61, 72, 76, 107, 144, 145, 152
EMP-pulssi.....	99
Epäsuoravaikutus.....	42, 44, 75, 146

F

FDTD.....	3, 27, 60, 62, 63
Fotonin energia.....	13

G

Gammasäteily.....	22
-------------------	----

H

Harmaakaihi.....	37
Hiukkasenergia.....	12, 13
Huipputeho.....	128
Hyötysuhde.....	59, 112, 119, 120, 123
Häirintä.....	107, 137

I

ICD 10.....	3, 42, 153
ICNIRP.....	3, 40, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 153
IFF- tutka.....	113
In vivo.....	35

Induktiosähkökenttä.....	32
Infrapunäsäteily.....	12
Ionisoimaton säteily...3, 10, 12, 13, 14, 65, 158	
Ionisoiva säteily.....	12, 13
ITU.....	3, 22, 23

J

Johtavuus.....	14, 18, 26
----------------	------------

K

Kaistanleveys.....	112
Kammiovärinä.....	32
Keilanleveys.....	112
Kielletty alue.....	130
Kosketusjännite.....	25, 124
Kosketusvirta.....	25
Kudosten lämpeneminen.....	25, 30
Kvantitatiivinen ja kvalitatiivinen riskianalyysi.....	89
Kvasistaattinen alue.....	33

L

LOPA.....	3, 94, 98, 99, 100, 101
Lähi- ja kaukokenttä.....	19
Lähikenttä.....	19, 21
Lämpövaikutus.....	10
Lääkintälaite.....	42

M

Magneettikenttä.....	12, 14
Magneettikentän voimakkuus.....	16, 24, 55
Magneettivuon tiheys.....	24
Magnetofosfeeni.....	32
Maxwellin yhtälöt.....	16
Mikroaaltokuuluminen.....	37
Mikroaaltosäteily.....	12, 37, 56, 104
Modarres.....	82, 83
MRI.....	3, 45

N

Nabla.....	16
NATO.....	3, 29, 53, 68, 70, 75, 114, 145, 154
Nekroosi.....	35
Neperin luku.....	18, 166
Normalisointikerroin.....	27, 28
NVIS.....	3, 126, 161

O

Ominaisabsorptionopeus.....	4, 26, 27
Ominaislämpökapasiteetti.....	35
Optinen säteily.....	12, 35

P

Perfuusio.....	35
Planckin vakio.....	13, 166
Polarisaatio.....	26, 27, 112

- Pulssienergiatiheys 38
 Pulssitehoitiheys..... 56, 116
 PVAH..... 4, 104, 129
 PVSAP 4, 107, 159
 Pyörähdysellipsoidikäyrä 40
- R**
- Radioaktiiviset aineet 12, 132
 Radiotaajuinen kenttä 36
 Reaktiivinen lähikenttä..... 19, 21, 123
 Resonanssiabsorptio 39
 Resonanssialue 38
 Riski 85, 166
 Riskien arviointi 161
 Riskien hallinta 83, 166
 Riskienhallinta 81, 88, 135
 Riskigraafi 96, 98
 Riskikommunikaatio 82, 102, 103, 142
 Riskimatriisi 92
 Riskin arviointi 88, 166
 Röntgensäteily..... 14, 22
- S**
- SAR 4, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 34, 35, 36, 38, 39,
 41, 45, 47, 49, 51, 53, 58, 59, 63, 71, 114,
 119, 154, 160, 165
 SAR_{wba} 4, 28, 39, 63
 SAS..... 4, 119
 SHF..... 4, 22
 Spektrikonflikti 126
 Staattinen magneettikenttä 14
 Staattiset sähkö- ja magneettikentät 12
 STUK 4, 34, 36, 37, 45, 52, 56, 58, 67, 68, 69,
 71, 77, 80, 101, 116, 117, 128, 129, 131,
 132, 146, 153, 154, 155, 156, 159
 Suojaustaso 99
 Suorituskyky 110, 136
 Synapsi..... 32
 Sähköherkkyys..... 41, 42
 Sähkökenttä..... 14
 Sähkömagneettinen spektri 22, 23
 Sähkömagneettinen säteily .1, 2, 10, 15, 16, 17,
 22, 30, 44, 104, 114
 Sähkömagneettiset aallot..... 17
 Sähkömagneettiset kentät 1, 12, 16, 24, 31, 42,
 52, 60, 81, 150, 152, 155
 Säteily 1, 2, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 22, 28,
 34, 41, 46, 63, 64, 65, 67, 69, 70, 72, 73, 74,
 75, 76, 80, 81, 83, 91, 105, 106, 112, 113,
 120, 122, 125, 131, 147, 150, 154, 156
 77, 78, 79, 80, 83, 143, 146, 156, 162
- Säteilykenttä..... 19
 Säteilylaite 53, 106, 159, 160
 Säteilyn eteneminen..... 17
 Säteilypäästöt..... 84
 Säteilyresistanssi 123
 Säteilyteho..... 63, 71, 123, 135, 140
- T**
- TAPS..... 106, 156
 Tasoalto 20
 Tehohäviö..... 26
 Tehotihentymä 39
 Tehotiheys..... 21, 24, 25, 26, 27, 29, 37, 40, 47,
 55, 56, 115, 116, 128, 131, 132, 147, 165
 TEM 4, 17
 Terveysriski..... 44, 127
 Terveysvaikutukset..... 33, 44, 147, 150, 156
 TET 4, 92, 94, 97
 TLJ..... 4, 94, 99
 Toimintasuhde..... 121
 TOT 106
 TOTTI 4, 106, 156
 Tunkeutumissyvyys 18, 37
 Turvaetäisyydet60, 63, 69, 70, 90, 115, 116,
 118, 122, 123, 124, 125, 127, 129, 132, 133,
 142, 147, 148, 161
 Turvaetäisyys.....53, 61, 69, 75, 114, 115, 121,
 122, 123, 132, 140, 160, 162
 Turvamarginaali..... 124
 Työturvallisuus 129
- U**
- UHF..... 22, 109, 110, 112, 125
 Ultraviolettisäteily 12
 Ultraääni..... 13
- V,W**
- Valon nopeus..... 13
 Varovaisuusperiaate 101
 VHF 4, 22, 61, 62, 109, 110, 111, 120, 121, 123,
 125, 133, 160, 161
 Viestintävirasto..... 22
 Virrantiheys ...14, 16, 24, 28, 31, 38, 47,49, 53,
 165
 Vuotosäteily 56, 119, 131, 132, 147