

PULSSITUTKIEN SÄTEILYTURVALLISUUS

1	YLEISTÄ	3
2	LAINSÄÄDÄNTÖ JA VALVONTA	3
3	MIKROALTOALTISTUMISEN RAJOITTAMINEN	4
3.1	Työssä tapahtuvan altistumisen enimmäisarvot	4
3.2	Väestön altistumisen enimmäisarvot	4
3.3	Kuuloaistimukset	4
3.4	Vuotosäteilyraja	4
4	ASENNUS, KÄYTTÖ JA HUOLTO	4
4.1	Tutka-antennin asennus	4
4.2	Käyttö ja huolto	5
5	SÄTEILYMITTAUKSET	5
5.1	Mittalaitteiden tekniset suositukset	5
5.2	Mittausohjeita	6
6	RÖNTGENSÄTEILYLTÄ SUOJAUTUMINEN	7

LIITE A ESIMERKKI ENIMMÄISARVOJEN KÄYTÖSTÄ

LIITE B MIKROALTOOSÄTEILYN TEHOTIHEYDEN LASKEMINEN TUTKA-ANTENNIN
PÄÄKEILASSA

Tämä ohje on voimassa 1.10.2003 alkaen toistaiseksi. Tämä ohje korvaa 11.12.1991 annetun ohjeen ST 9.2 "Pulssitutkien säteilyturvallisuus".

Toinen, uudistettu painos
Helsinki 2003
Dark Oy

ISBN 951-712-714-6 (nid.)
ISBN 951-712-715-4 (pdf)
ISBN 951-712-716-2 (html)
ISSN 0789-466X

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.

1 Yleistä

Tutkalaitteiden toiminta perustuu mikroaaltosäteilyn hyväksikäyttöön. Useimmiten tutkalaitteet käyttävät pulssimuotoista mikroaaltosäteilyä, joka varsinkin suuritehoisissa laitteissa voi olla voimakasta ja ihmiseen kohdistuessaan haitallista terveydelle. Tutkalähtimissä syntyy sivutuotteena myös röntgensäteilyä.

Tässä ohjeessa esitetään tutkalaitteiden mikroaaltosäteilyä koskevat raja-arvot. Lisäksi ohjeessa selostetaan tutkalaitteiden turvallisesa asennuksessa ja käytössä huomioon otettavia näkökohtia, sekä säteilyturvallisuusmittauksia. Ohje on tarkoitettu erityisesti tutkalaitteiden haltijoille ja niille, jotka suorittavat tutkalaitteiden asennuksia ja huoltotöitä.

Tämä 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.

Pulssimuotoisella mikroaaltosäteilyllä tarkoitetaan mikroaaltosäteilyä, jossa pulssin tehotiheys on vähintään satakertainen 100 ms:n ajalta laskettuun tehotiheyden keskiarvoon nähden.

2 Lainsäädäntö ja valvonta

Tutkalaitteiden väestölle aiheuttamaa altistumista koskevat enimmäisarvot ovat sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistumisen rajoittamisesta (294/2002, jäljempänä *STM-asetus*) Työntekijöihin kohdistuvaa altistumista koskevat enimmäisarvot ovat sosiaali- ja terveysministeriön päätöksessä ionisoimattoman säteilyn altistuksen enimmäisarvoista (1474/1991, jäljempänä *STM-päätös*).

Sekä STM-asetus että STM-päätös perustuvat säteilylakiin (592/1991). Säteilylain nojalla on annettu myös asetus ionisoimattoman säteilyn valvonnasta (1306/1993, jäljempänä *valvonta-asetus*), joka säättää Säteilyturvakeskuksen tehtävistä ionisoimattoman säteilyn valvonnassa.

Valvonta-asetuksen 4 §:n mukaan tutkalaitteet, joiden aiheuttama säteilyaltistus huomioon ottaen laitteen teho, sijoituspaikka ja muut käyttöolosuhteet voi ylittää vahvistetut enimmäisarvot, on esitettävä Säteilyturvakeskukselle tarkastettavaksi. Tarkastettavaksi esittämisvelvollisuus määräytyy sekä väestön että työntekijöiden altistumisen perusteella.

Toiminnan harjoittaja eli yleensä tutkalaitteen haltija on vastuussa siitä, että tutkalaitteen käyttö suunnitellaan, järjestetään ja toteutetaan turvallisesti.

Yllä olevan lisäksi tutkalaitteen käyttöpäikän ja käyttöön liittyvien töiden (asennukset, korjaukset, huollot) turvallisuutta koskee työturvallisuuslaki ja työsuojelusäännöstö yleensäkin. Näiden säädösten soveltaminen kuuluu työsuojeluviranomaisille, joiden kanssa Säteilyturvakeskus toimii yhteistyössä työntekijöiden altistumista koskevassa valvonnassa. Säteilyturvakeskuksen lähtökohta on, että se saattaa valvonta-asetuksen 4 §:n mukaisessa tarkastuksessa tekemänsä työntekijöiden turvallisuuden kannalta vartenotettavat havainnot työsuojeluviranomaisten tietoon ja käyttöön. Siinä tapauksessa, että toiminnan harjoittaja ei omaehtoisesti korjaa tarkastuksessa havaittua puutetta työturvallisuudessa, pakottavien määräysten antaminen tilanteen oikaisemiseksi kuuluu ensisijaisesti työsuojeluviranomaisille. Tällaisen tilanteen käsittelyyn Säteilyturvakeskus osallistuu tarpeen mukaan asiantuntijana.

Puolustusvoimat vastaa käytössään olevien tutkalaitteiden tarkastuksesta ja valvonnan järjestämisestä. Puolustusvoimat on velvollinen toteuttamaan tarkastukset ja valvonnan Säteilyturvakeskuksen hyväksymiä menetelmiä ja turvallisuusohjeita noudattaen (valvonta-asetus 3 §).

Mikäli tutkalähtimellä työskentelevät työntekijät voivat altistua röntgensäteilylle siten, että tarvitaan turvallisuus- ja rajoitustoimia, on nämä toimet järjestettävä säteilylaissa (592/1991), erityisesti sen luvussa 9, sekä säteilyasetuksessa (1512/1991) säädettyjen vaatimusten mukaan. Tämän ohjeen luvussa 6 on eräitä käytännön ohjeita.

3 Mikroaaltostumisen rajoittaminen

3.1 Työssä tapahtuvan altistumisen enimmäisarvot

Työntekijään kohdistuvan pulssimuotoisen mikroaaltosäteilyn keskimääräinen tehotiheys ei saa ylittää taulukossa I esitettyjä STM-päätöksessä vahvistettuja enimmäisarvoja.

Keskimääräinen tehotiheys on kuuden minuutin ajalta määritetty tehotiheyden keskiarvo. Vaihtoehtoisesti keskiarvo voidaan määrittää keilausjakson pituiselta ajalta, mikä antaa käytännössä saman tuloksen (ks. liite A).

Taulukko I. Työntekijään kohdistuvan pulssimuotoisen mikroaaltosäteilyn keskimääräisen tehotiheyden enimmäisarvot.

Taajuus MHz	Tehotiheys W/m ²
100–400	10
400–2 000	f/40
2 000–100 000	50
f on taajuuden lukuarvo, kun taajuus on ilmoitettu megahertseinä	

3.2 Väestön altistumisen enimmäisarvot

Väestöön kohdistuvan pulssimuotoisen mikroaaltosäteilyn keskimääräinen tehotiheys ei saa ylittää taulukossa II esitettyjä STM-asetuksella säädettyjä enimmäisarvoja.

Taulukko II. Väestöön kohdistuvan pulssimuotoisen mikroaaltosäteilyn keskimääräisen tehotiheyden enimmäisarvot.

Taajuus MHz	Tehotiheys W/m ²
100–400	2
400–2 000	f/200
2 000–100 000	10
f on taajuuden lukuarvo, kun taajuus on ilmoitettu megahertseinä	

3.3 Kuuloaistimukset

Voimakas pulssimuotoinen mikroaaltosäteily aiheuttaa päähän osuessaan häiritsevän kuuloaistimuksen. Aistimus voi syntyä yksittäisestä pulssista ja aistimuskynnys riippuu pulssin energiatiheydestä. STM-päätöksessä (työntekijät) vahvistetut altistumisen enimmäisarvot rajoittavat keskimääräistä tehotiheyttä, mikä ei kaikissa tapauksissa estä lyhytkestoisten pulssien aiheuttamia kuuloaistimuksia. STM-asetuksessa (väestö) kuuloaistimuksen syntyä estetään pulssienergiatiheysrajalla.

Kuuloaistimuksen estämiseksi työntekijään kohdistuvien, alle 30 µs kestävien, mikroaaltopulssien aiheuttama paikallinen pulssienergiatiheys ei saisi ylittää taajuuksilla 300 MHz–10 GHz arvoa 100 mJ/m². Tehotiheyden hetkellinen huippuarvo ei saisi ylittää taajuuksilla 300 MHz–10 GHz taulukossa I esitettyjä keskimääräisen tehotiheyden enimmäisarvoja enempää kuin tuhatkertaisesti.

STM-asetuksen mukaan väestöön kohdistuvien, alle 30 µs kestävien mikroaaltopulssien aiheuttama paikallinen pulssienergiatiheys ei saa ylittää taajuuksilla 300 MHz–10 GHz arvoa 20 mJ/m². Tehotiheyden hetkellinen huippuarvo ei saa ylittää taajuuksilla 300 MHz–10 GHz taulukossa II esitettyjä keskimääräisen tehotiheyden enimmäisarvoja enempää kuin tuhatkertaisesti.

3.4 Vuotosäteilyraja

Jos lähettimien, aaltoputkiliitosten yms. läheisyydessä esiintyvän vuotosäteilyn keskimääräinen tehotiheys 15 cm:n etäisyydellä laitteen pinnasta on enintään 5 W/m², altistumista ei tarvitse erikseen rajoittaa.

4 Asennus, käyttö ja huolto

4.1 Tutka-antennin asennus

Tutka-antenni on asennettava ja sitä on käytettävä siten, että kohdissa 3.1–3.2 esitettyjä altistumisen enimmäisarvoja ei ylitetä. Ellei näin voida tehdä, antennin säteilyn vaikutusalueelta määritetään ne alueet, joissa kohtien 3.1–3.2

mukaiset enimmäisarvot voidaan ylittää. Lisäksi on suositeltavaa, että alue rajataan niin, että kohdassa 3.3 tarkoitettua kuuloaistimusta ei synny. Alueen määrittämisessä tarvittavat mitaukset esitetään luvussa 5 ja laskentamenetelmästä on esimerkki liitteessä B.

Oleskelu alueella, jolla altistumisen enimmäisarvot ylitetään, estetään esimerkiksi suoja-aitauksella tai lukitseamalla alueelle johtavat ovet. Ellei tämä ole mahdollista, alue merkitään selvästi ja radiotaajuisesta säteilystä varoitetaan standardin SFS 5424 mukaisella varoitusmerkillä (ks. ohje ST 1.3).

Erityisesti on huolehdittava siitä, että tutka-antennin pääkeila ei osu maahan, rakennuksiin yms. paikkoihin, joihin voi helposti päästä. Jos tämä ei ole mahdollista, säteilyteho on katkaistava pääkeilan suuntautuessa kyseisiin paikkoihin.

4.2 Käyttö ja huolto

Jos antennin edessä joudutaan työskentelemään, on säteilyteho katkaistava. Erityisen vaarallista on oleskella säteilevän syöttöantennin läheisyydessä, missä mikroaaltosäteily on niin voimakasta, että se voi lyhyessä ajassa aiheuttaa palovammoja tai harmaakaihin.

Suoritettaessa asennus-, huolto- tai korjaustöitä on säteilymittauksilla tai muilla toimenpiteillä varmistettava, että kohdassa 3.1 esitetyjä altistumisen enimmäisarvoja ei ylitetä työskentelyalueella. Mahdollisuuksien mukaan on pyrittävä toimimaan siten, että kohdassa 3.3 esitettyä kuuloaistimusta ei ilmene. Kun työskennellään tutkalähtetimen sisällä tai kun suoja-ovat ovat auki, säteilyteho ja tarvittaessa myös sähköteho on katkaistava, mikäli mahdollista.

Lähtetimen ja siirtolinjojen sekä niihin liittyvien aaltoputki- tai koaksiaalikomponenttien vuotosäteily mitataan ja havaitut vuotokohdat tiivistetään. Jos vuotosäteily ylittää 15 cm:n etäisyydellä arvon 5 W/m², vuotokohdat on merkittävä laitteeseen. Merkinnästä on tarvittaessa käytävä ilmi etäisyys, jonka ulkopuolella vuotosäteilyn keskimääräinen tehotiheys on pienempi kuin kohdassa 3.1 esitetty enimmäisarvo.

Sähköiskujen välttämiseksi on varottava työntäjästä mitään kehon osaa, työkaluja, säteilymittaria tms. liian lähelle suojaamattomia suurjännitteisiä lähtetimen osia. Sähköturvallisuusmääräysten mukaiset turvaetäisyydet on tunnettava ja niitä on noudatettava.

Ennen mikroaaltotehon kytkemistä on varmistettava, että lähtetimestä antenniin johtavien siirtolinjojen sekä niihin liittyvien aaltoputki- tai koaksiaalikomponenttien liittimet on kiristetty kunnolla. Erityisen tärkeätä on välttää syöttämästä mikroaaltotehoa aaltoputkeen, jonka toinen pää on avoin.

Säteilymittaukset tehdään tutkalaitteiston käyttöönoton yhteydessä tai silloin, kun laitteistoon tehdään säteilyturvallisuuteen vaikuttavia muutoksia tai kun säteilytason jostain muusta syystä voidaan olettaa lisääntyneen. Jos laitekohtaiset ohjeet eivät anna riittävästi tietoa turvallisuudesta työskentelystä, turvallisuuden varmistamiseksi tarpeelliset lisämittaukset on tehtävä aina ennen huoltoa.

Säteilymittauksia ei tarvita silloin, kun laitteen myyjän tai toimittajan antamista tiedoista voidaan luotettavasti määrittää toimenpiteet, joilla varmistetaan työskentelyn turvallisuus.

5 Säteilymittaukset

5.1 Mittalaitteiden tekniset suositukset

Säteilymittauksissa tarvitaan keskimääräisen tehotehotiheyden mittari (keskiarvomittari) ja pulssitehotiheyden mittari (pulssiarvomittari). Keskiarvomittarilla mitataan tehotehotiheyden keskiarvo vähintään muutaman sekunnin ajalta. Pulssiarvomittarilla mitataan pulssin tehotehotiheys. Pulssitehotiheys voidaan mitata kädessä pidettävällä mittarilla tai spektrianalysointilaitteella ja kalibroidusta antennista muodostuvalla mittaussäätelmällä.

Keskiarvomittarin suositeltavat tekniset ominaisuudet ovat:

- taajuusalue 300 MHz–20 GHz
- mittaussäätelmä 1–200 W/m²
- mittarin lukema riippumaton säteilyn tulo-suunnasta (vaihtelu < ± 1 dB)

- mittarin lukema verrannollinen mikroaaltosäteilystä ilmaisimeen absorboituvaan lämpötehoon^{*)}
- mittarin vasteaika vähintään 1 sekunti.

Kädessä pidettävän pulssiarvomittarin suositeltavat tekniset ominaisuudet ovat:

- mittapään antennin taajuusalue 1–12 GHz
- antennin suurin läpimitta alle 20 cm
- mikroaaltoilmaisimen taajuusalue 1–12 GHz
- huippuarvoilmaisimen vasteaika lyhyempi kuin mikroaaltopulssin kestoaika
- mittarin näytön laskuaikavakio vähintään 10 s
- mittausalue 1–20 kW/m².

Spektrianalysointiin perustuvan mittausjärjestelmän suositeltavat tekniset ominaisuudet ovat:

- spektrianalysointin taajuusalue 100 MHz–20 GHz
- välitaajuuskaistan leveys suurempi kuin $2/t_{pw}$, missä t_{pw} on pulssin kestoaika
- antenni kalibroitu ± 2 dB tarkkuudella taajuuksilla 100 MHz–20 GHz
- antennin suurin läpimitta alle 20 cm.

Säteilymittauksissa käytettävät mittarit on kalibroitava vähintään kolmen vuoden välein.

5.2 Mittausohjeita

Ennen mittauksen aloittamista on hyvä kirjata seuraavat tekniset tiedot mitattavasta laitteesta:

- pulssiteho
- keskimääräinen teho
- taajuus
- pulssin kestoaika ja toistotaajuus
- antennin vahvistus
- antennin keilanleveydet vaaka- ja pystysuunnassa
- antennin alin ja tavallisin korotuskulma
- antennin sivukeilataso
antennin keilausjakson aika.

Vuotosäteilyä mitattaessa lähestytään todennäköistä vuotokohtaa ja tarkkaillaan, ettei mita-

rin tehotiheysalue ylity. Jos tehotiheysalue riittää, mitataan vuotosäteilyn tehotiheys, kun mittapään keskipisteen etäisyys vuotokohtasta on 15 cm.

Tutka-antennin säteily mitataan seuraavasti:

- Mittapää tai mittaussäde suunnataan antennia kohti ja suurin lukema merkitään muistiin.
- Jos mittapään tai mittaussäteen vaste riippuu säteilyn tulosuunnasta, mittapäää kierretään vartensa ympäri ja muistiin kirjataan suurin ja pienin lukema. Kokonaistehotiheys saadaan laskemalla nämä lukemat yhteen W/m²-yksiköissä. Desibelilukemat on ennen yhteenlaskua muutettava W/m²-luke-
miksi.

Mittapään tai mittaussäteen ympärillä on oltava joka suuntaan vähintään 1 m vapaata tilaa. Ympäristöstä tapahtuvien heijastusten vuoksi mikroaaltosäteilykenttä ei ole tasainen. Sen vuoksi mittapäää tai mittaussädeä on liikuteltava mittauskohdassa muutama senttimetri lähemmäksi tai kauemmaksi säteilylähteestä ja muistiin kirjataan tehotiheyden maksimiarvo.

VAROITUS

- Varmista, että mittari on toimintakunnossa, ennen kuin menet mikroaaltosäteilykenttään.
- Tarkista mittarin käyttöohjeesta, millaisen pulssitehotiheyden mittapää kestää.
- Mittapää tuhoutuu herkästi mittaussädealueen ylittävillä tehotiheyksillä. Keskimääräistä tehotiheyttä mittaavan mittarin mittapää voi tuhoutua lyhyillä pulsseilla jo ennen mittarin maksimilukemaa.
- Aloita tuntemattoman kentän mittaaminen mahdollisimman kaukaa.
- Älä mene mikroaaltosäteilykenttään ennen kuin tiedät, että sen säteilytaso on turvallinen.
- Lopeta mittaaminen, jos mittarin lukema on lähellä ylimmän asteikon suurinta arvoa.

^{*)} Ilmaisimina voivat olla esim. termoparielementit. Diodi-ilmaisimin varustettuja mittapäitä ei tule käyttää pulssimuotoisen säteilyn mittauksiin.

Taulukko III. Mittarin valinta eri mittaustilanteissa.

Mittaustilanne	Keskiarvomittari	Pulssiarvomittari
Vuotosäteily	kyllä	ei
Hitaasti keilaava tai paikallaan pysyvä antenni	ensisijaisesti	toissijaisesti
Keilaavan antennin säteilykenttä, sivumaksimin S_s suhde päämaksimiin $S_p > -10$ dB (ks. liite A)	kyllä	kyllä
Keilaavan antennin säteilykenttä, sivumaksimin S_s suhde päämaksimiin $S_p < -10$ dB (ks. liite A)	ei	kyllä

Taulukossa III esitetään, millaista mittaria käytetään neljässä erilaisessa tilanteessa.

Suojukset on asennettava paikoilleen huoltotyön päättyessä.

6 Röntgensäteilyltä suojauminen

Eräät tutkalähettimen komponentit (klystroni, tyratroni, magnetroni) synnyttävät myös röntgensäteilyä, joten tutkalähettimien huoltotöissä on otettava huomioon myös röntgensäteilystä aiheutuva säteilyvaara.

Jos tutkalaitteen huolto-ohjeissa ei ole annettu riittävästi tietoa röntgensäteilystä ja siltä suojaumisesta, niin annosnopeudet on mitattava mittarilla, joka soveltuu pienenergisen röntgensäteilyn mittaamiseen ja joka on suojattu sähkö- ja magneettikenttien aiheuttamilta häiriöiltä. Mittausten perusteella on tarvittaessa laadittava huoltotöitä varten suojausohjeet. Lähtökohtana tällöin on, että huoltotyöt on voitava tehdä niin, ettei työntekijöiden efektiivinen annos ylitä 1 mSv vuodessa eikä silmän annos 15 mSv vuodessa.

Jos tutkalähettimiä huoltavan työntekijän efektiivinen annos, ottaen huomioon myös huoltotyöhön liittyvän poikkeuksellisen säteilyaltistuksen mahdollisuus, on tai voi olla suurempi kuin 5 mSv vuodessa, työntekijälle on järjestettävä säteilyaltistuksen seuranta. Seurannasta on säädetty säteilyasetuksessa (1512/1991).

Röntgensäteilyä synnyttävien komponenttien läheisyyteen on kiinnitettävä varoitus ionisoivan säteilyn vaarasta. Jos suojusten poistaminen nostaa säteilyn annosnopeutta, ohjeissa on kiellettävä suojusten aiheeton poistaminen.

Kirjallisuutta

- 1 Chou CK. Microwave hearing effects and thresholds. In: Matthes R, Bernhardt JH, and Repacholi MH (eds.). Biological effects, health consequences and standards for pulsed radio-frequency fields. Proceedings of International Seminar, Erice, Sicily, Italy, 21-25 November 1999. Oberschleissheim: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection; 2001. p. 179–191.
- 2 ICNIRP. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Physics 1998; 74(4): 494–522.
- 3 Puranen L, Lukkarinen A, Jokela K. Pulssitehotiheysmittarin kehittäminen. STUK-B-TARO 20. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 1991.
- 4 Puranen L, Jokela K. Radiation hazard assessment of pulsed microwave radars. The Journal of Microwave Power & Electromagnetic Energy 1996; 31(3): 165–177.
- 5 Watanabe Y, Toshiyuki T, Taki M, Watanabe S. FDTD analysis of microwave hearing effect. IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques 2000; 48(11): 2126–2132.

LIITE A

ESIMERKKI ENIMMÄISARVOJEN KÄYTÖSTÄ

Kuvassa A1 on esimerkki tyypillisen pyörivän valvontatutka-antennin säteilykentässä esiintyvän mikroaaltosäteilyn vaihtelusta ajan funktiona. Mikroaaltosäteily emittoituu antennista kapeista pulsseista muodostuvana jonona, jonka korkeus vaihtelee pyörähdysliikkeen mukana. Pääkeilan ohitus voidaan yleensä erottaa selvästi siitä huolimatta, että pääkeilan maksimi yleensä ylittää havaintopaikan. Oletetaan, että säteilykentälle on määritetty havaintopisteessä seuraavat arvot:

suurin pulssitehotiheys	$S_p = 8 \text{ kW/m}^2$
mikroaaltotaajuus	$f = 3,0 \text{ GHz}$
pulssin kesto aika	$t_{pw} = 2 \text{ } \mu\text{s}$
pulssitaajuus	$f_p = 360 \text{ Hz}$
pääkeilan pyyhkäisy aika	$t_{3dB} = 100 \text{ ms}$
antennin pyörähdys aika	$t_s = 10 \text{ s}$.

Koska pulssin kesto aika on alle $30 \text{ } \mu\text{s}$, sovelletaan työntekijöille energiatiheysrajaa 100 mJ/m^2 ja väestölle 20 mJ/m^2 . Edellisistä arvoista saadaan energiatiheys laskettua kaavalla $S_p \cdot t_{pw} = 8 \text{ kW/m}^2 \cdot 2 \text{ } \mu\text{s} = 16 \text{ mJ/m}^2$, joka alittaa molemmat energiatiheysrajat.

Suurin pulssitehotiheys 8 kW/m^2 alittaa väestöä koskevan tehotiheyden hetkellisen enimmäisarvon 10 kW/m^2 .

Lopuksi tarkastellaan, ylittyvätkö keskimääräisen tehotiheyden enimmäisarvo 50 W/m^2 työntekijöille tai 10 W/m^2 väestölle. Tarkan tuloksen saamiseksi tulisi keskimääräinen tehotiheys S_{ave} laskea tai mitata keskiarvona antennin keilausjakson kattavalta ajalta. Käytännössä voidaan usein käyttää likiarvokaavaa

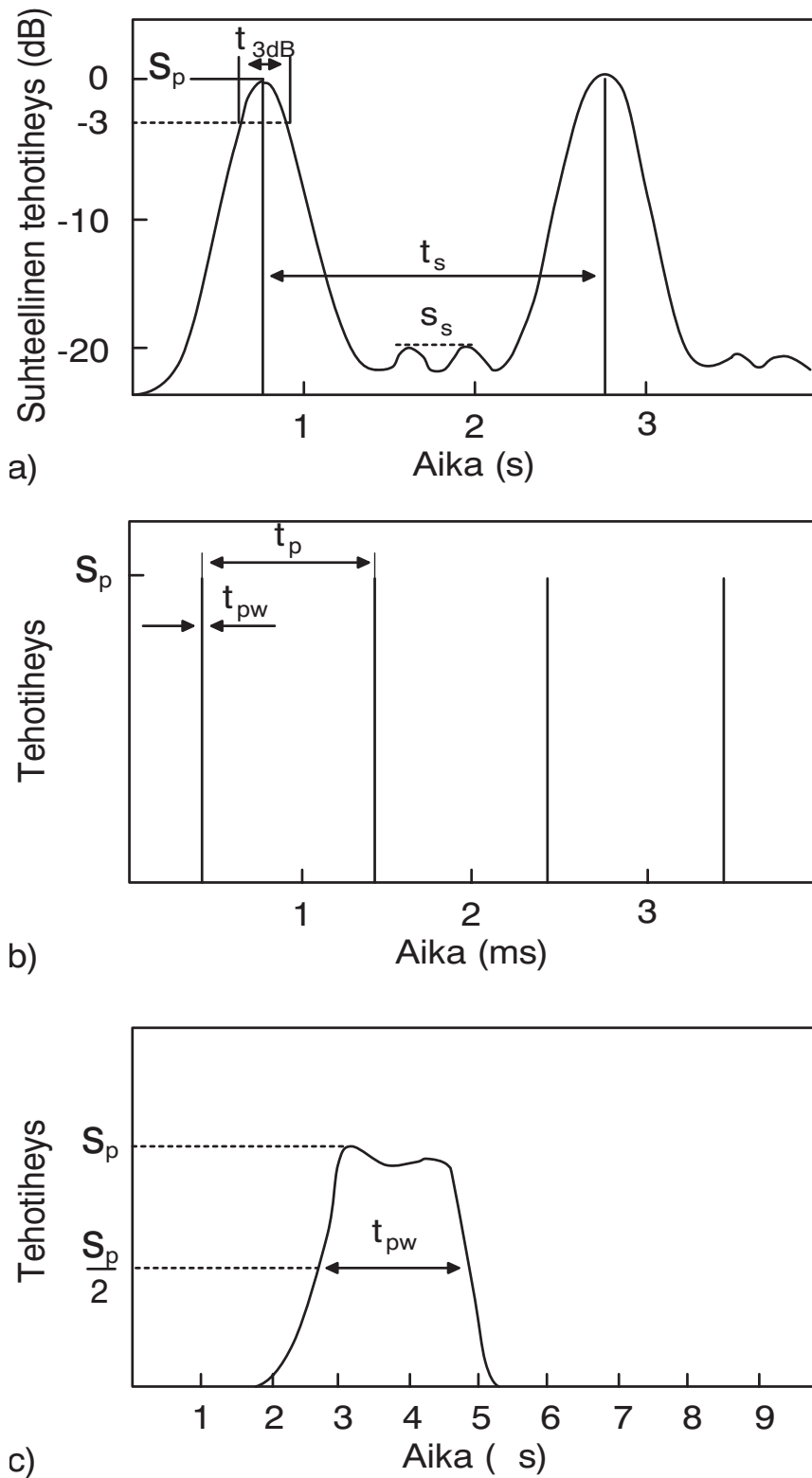
$$S_{ave} = S_p f_p t_{pw} k_{sf} , \quad (\text{A1})$$

missä $f_p t_{pw}$ on toimintasuhde ja k_{sf} on antennin liikkeestä johtuva keilaustekijä

$$k_{sf} = \frac{t_{3dB}}{t_s} . \quad (\text{A2})$$

Sijoittamalla edellä esitetyt arvot näihin kaavoihin saadaan $S_{ave} = 0,06 \text{ W/m}^2$, mikä on paljon pienempi kuin molemmat enimmäisarvot.

LIITE A



Kuva A1. Tehotiheys ajan funktiona pyörivän pulssitutka-antennin säteilykentässä. a) muutaman keilausjakson aikana, b) muutaman pulssijakson aikana ja c) pulssin aikana. S_p on pulssitehotiheys pääkeilassa ja S_s sivukeiloissa, t_s on keilausjakson aika, t_{3dB} on aikaväli, jolla pääkeilan 3 dB:n pisteet ohittavat havaintopaikan, t_p on pulssijaksonaika ja t_{pw} on pulssin kesto-aika.

LIITE B**MIKROAALTOSÄTEILYN TEHOTIHEYDEN LASKEMINEN TUTKA-ANTENNIN PÄÄKEILASSA****1 YLEISTÄ**

Tutka-antennin pääkeilan vaikutusalueella esiintyvän mikroaaltosäteilyn tehotiheys voidaan laskea likimääräisesti lähettimen ja antennin teknisistä tiedoista. Todellinen tehotiheys voi olla paikoitellen arvioitua suurempi, mikä johtuu lähtötietoina käytettävien teknisten tietojen epätarkkuuksista, ympäristöstä tulevista heijastuksista ja säteilytehon epätasaisesta jakautumisesta antennin lähikentässä. Näistä seikoista johtuen laskelmat on aina varmistettava säteilymittauksin.

2 PULSSITEHOTIHEYS PÄÄKEILASSA

Tyypillisen tutka-antennin säteilykentän vaikutusalue voidaan jakaa kolmeen osaan: lähi- ja kaukokenttään sekä näiden väliin jäävään välialueeseen, ks. kuva B1.

Antennista lähtevän säteilytehon voidaan ajatella karkeasti etenevän hajaantumatta lähikentän rajalle r_n tilassa, jonka kannan pinta-ala on antennin tehollinen säteilypinta A_{eff} , joka saadaan kaavasta

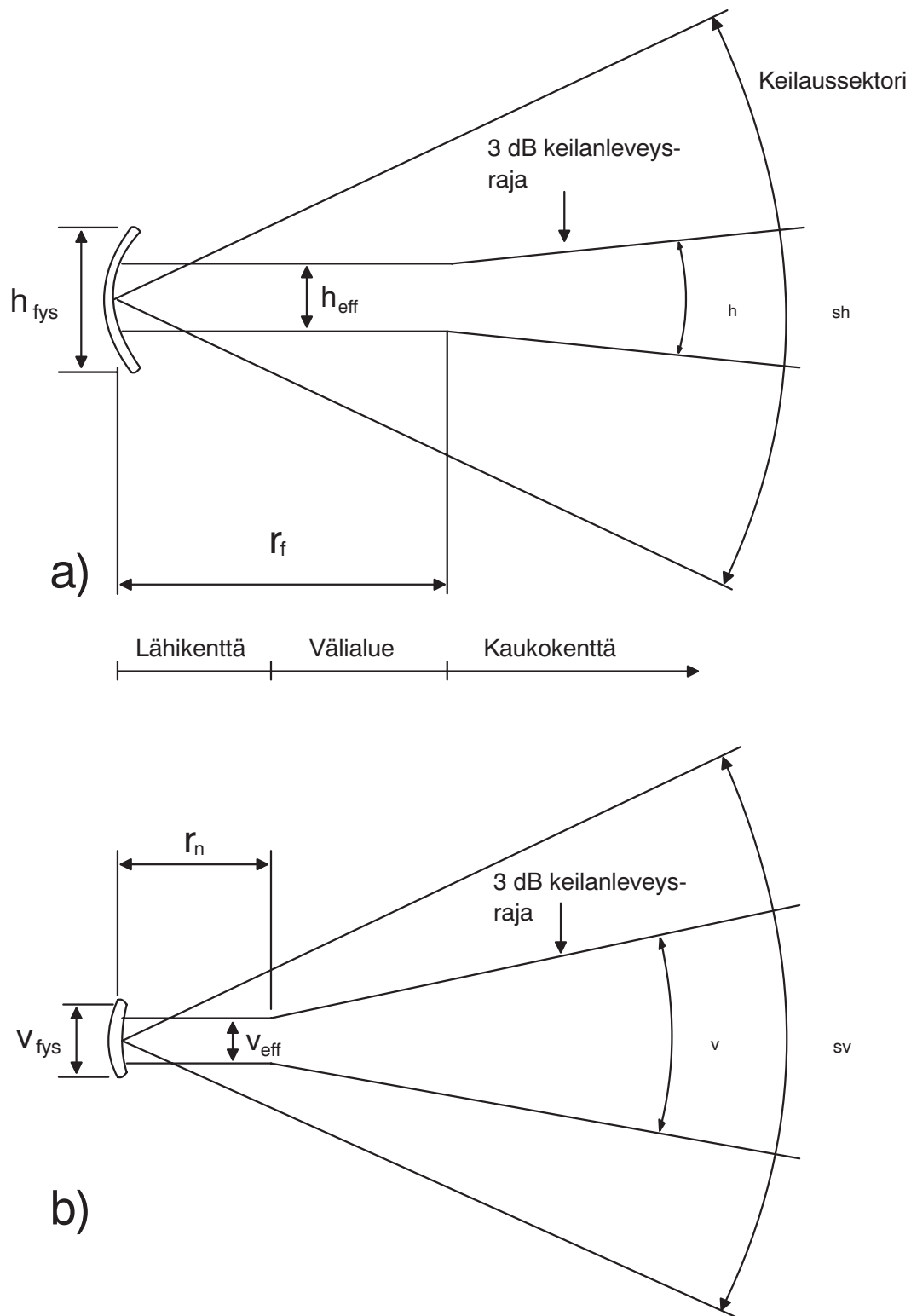
$$A_{eff} = \frac{G\lambda^2}{4\pi} , \quad (B1)$$

missä G on antennin vahvistus kaukokentässä isotrooppisen säteilijän suhteen ja λ on aallonpituus. Jos vahvistusta ei ole ilmoitettu antennin teknisissä tiedoissa, voidaan se arvioida yhtälöstä

$$G = \frac{27000}{\theta_v \theta_h} , \quad (B2)$$

missä θ_v on pääkeilan 3 dB keilanleveys pystytasossa ja θ_h on vastaava vaakatasossa. Kaavassa (B2) keilanleveyden yksikkönä käytetään astetta.

LIITE B



Kuva B1. Tyypillisen tutka-antennin pääkeila a) vaakatasossa b) pystytasossa. h_{fys} on antennin fysikaalinen leveys, v_{fys} on antennin fysikaalinen korkeus, h_{eff} ja v_{eff} ovat säteilykeilan läpimitat vaaka- ja pystytasossa, r_n ja r_f ovat lähi- ja kaukokentän rajoja, θ_h ja θ_v ovat pääkeilan 3 dB:n keilanleveyksiä vaaka- ja pystytasossa, θ_{sh} ja θ_{sv} ovat antennin keilaussektoreita vaaka- ja pystytasossa.

LIITE B

Säteilypinta voidaan olettaa ellipsin muotoiseksi, jonka läpimitta vaakatasossa on h_{eff} ja pystytasossa v_{eff} . Nämä voidaan laskea yhtälöistä:

$$v_{eff} = \sqrt{\frac{4k_a}{\pi} A_{eff}} \quad , \quad (B3)$$

$$h_{eff} = \sqrt{\frac{4}{\pi k_a} A_{eff}} \quad , \quad (B4)$$

missä kerroin k_a on antennin fysikaalisen korkeuden v_{fys} ja leveyden h_{fys} suhde

$$k_a = \frac{v_{fys}}{h_{fys}} \quad (B5)$$

tai vaaka- ja pystysuuntaisen keilanleveyden suhteena

$$k_a = \frac{\theta_h}{\theta_v} \quad . \quad (B6)$$

missä θ_h on antennikeilan vaakasuuntainen 3 dB:n keilanleveys ja θ_v vastaava pystysuuntainen keilanleveys. Keilassa voi esiintyä voimakkaita aaltoilevia vaihteluita etäisyyden funktiona.

Välialueella ($r_n < r < r_f$) säteilyteho etenee keilassa, jonka poikkipinta-ala pienemmän dimension suuntaan kasvaa lineaarisesti etäisyyden funktiona ja suuremman dimension suuntaan pysyy vakiona. Keilassa esiintyy edelleen voimakasta aaltoilua etäisyyden funktiona.

Kaukokenttäalueella ($r > r_f$) tehotiheys etenee keilassa, jonka poikkipinta-ala kasvaa suoraan verrannollisesti etäisyyden neliöön. Mikäli heijastuksia ei ole, tehotiheys laskee tasaisesti etäisyyden funktiona.

Lähikentän raja r_n saadaan yhtälöstä

$$r_n = \frac{\pi}{4} \frac{v_{eff}^2}{\lambda} \quad , \quad (B7)$$

LIITE B

ja kaukokentän raja r_f saadaan vastaavasti yhtälöstä

$$r_f = \frac{\pi}{4} \frac{h_{eff}^2}{\lambda} , \quad (\text{B8})$$

missä λ on aallonpituus. Lisäksi oletetaan, että $v_{eff} < h_{eff}$.

Lähikentässä ($r < r_n$) pulssitehotiheys S_p on

$$S_p = \frac{P_p}{A_{eff}} , \quad (\text{B9})$$

missä P_p on antenniin syötetty pulssiteho ja A_{eff} on antennin säteilypinta.

Välialueella ($r_n < r < r_f$) pulssitehotiheys pienenee verrannollisena etäisyyteen siten, että

$$S_p = \frac{P_p}{A_{eff}} \frac{r_n}{r} , \quad (\text{B10})$$

missä etäisyys r on suurempi kuin lähikentän raja r_n , mutta pienempi kuin kaukokentän raja r_f .

Kaukokentässä ($r > r_f$) tehotiheys pienenee verrannollisena etäisyyden neliöön siten, että

$$S_p = \frac{P_p G}{4\pi r^2} . \quad (\text{B11})$$

3 PÄÄKEILAN KESKIMÄÄRÄINEN TEHOTIHEYS

Edellä esitetyillä kaavoilla saadaan laskettua antennin pääkeilan suurin hetkellinen pulssitehotiheys. Vastaavasti pysäytetyn antennin keskimääräinen tehotiheys saadaan kaavalla

$$S_{ave} = S_p f_p t_{pw} , \quad (\text{B12})$$

missä f_p on pulssitaajuus ja t_{pw} pulssin kesto-aika.

Antennin keilausliike pienentää keskimääräistä tehotiheyttä, jonka arvo keilausjakson ajalta saadaan kertomalla kaavalla (B12) laskettu tehotiheys keilaustekijällä k_{sf} .

LIITE B

Kaukokentässä ja välialueella keilaustekijä on

$$k_{sf} = \frac{\theta_{3dB}}{\theta_s}, \quad (\text{B13})$$

missä θ_{3dB} on 3 dB:n keilanleveys keilaustasossa ja θ_s on keilaussektori, ks. kuva B1. $\theta_{3dB} = \theta_h$ ja $\theta_s = \theta_{sh}$ vaakatasossa ja $\theta_{3dB} = \theta_v$ ja $\theta_s = \theta_{sv}$ pystytasossa. Kaava (B13) on voimassa vaakatasossa etäisyyksillä $r \geq r_f$ ja pystytasossa etäisyyksillä $r \geq r_n$, kun antennin leveys on suurempi kuin korkeus kuten kuvan B1 tapauksessa.

Lähikentässä ja välialueella keilaustekijän karkea likiarvo on

$$k_{sf} = \frac{d_{fys}}{r\theta_s}, \quad (\text{B14})$$

missä d_{fys} on antennin fysikaalinen läpimitta keilaustasossa ja θ_s on keilaussektori radiaaneina. Vaakatason keilauksessa $d_{fys} = h_{fys}$ ja $\theta_s = \theta_{sh}$ ja kaavaa sovelletaan etäisyyksillä $r < r_f$. Pystytason keilauksessa $d_{fys} = v_{fys}$ ja $\theta_s = \theta_{sv}$ ja kaavaa sovelletaan etäisyyksillä $r < r_n$.

4 SIVUKEILOJEN TEHOTIHEYS

Jos antennin säteilykuvio on tiedossa, saadaan kaukokentän ($r > r_f$) tehotiheys kaikissa suunnissa kertomalla kaavasta (B11) laskettu tehotiheys antennin normalisoidusta säteilykuvioista saadulla kertoimella (< 1). Tutka-antennien suurimmat sivukeilatasot ovat käytännössä vähemmän kuin -20 dB pääkeilan tasosta.

5 ANTENNIEN YHTEISVAIKUTUS

Kahdesta tai useammasta antennista tulevan säteilyn yhteisvaikutus huomioidaan laskemalla eri antenneille saadut tehotiheydet yhteen.

ST-OHJEET

Yleiset ohjeet

- ST 1.1 Säteilytoiminta ja sen valvonta, 20.6.1996
 ST 1.3 Säteilylähteiden varoitusmerkinnät, 10.11.1999
 ST 1.4 Säteilyn käyttöorganisaatio, 24.10.1991
 ST 1.5 Säteilyn käytön vapauttaminen turvallisuusluvasta ja ilmoitusvelvollisuudesta, 1.7.1999
 ST 1.6 Säteilysuojelutoimet työpaikalla, 29.12.1999
 ST 1.7 Säteilysuojelukoulutus terveydenhuollossa, 17.2.2003

Sädehoito

- ST 2.1 Sädehoidon laadunvarmistus, 22.5.2003
 ST 2.2 Sädehoitolaiteiden ja -tilojen säteilyturvallisuus, 2.2.2001

Lääketieteellinen röntgentutkimus

- ST 3.1 Hammasröntgenlaitteiden käyttö ja valvonta, 27.5.1999
 ST 3.2 Mammografialaitteet ja niiden käyttö, 13.8.2001
 ST 3.3 Lääketieteelliset röntgentutkimuslaitteet ja niiden käyttö, 27.8.1992
 ST 3.4 Kuvanvahvistin-televisioketjun laadunvalvonta, 24.10.1991
 ST 3.5 Lääketieteellisten röntgentutkimuslaitteiden ja röntgenfilmien kehityksen laadunvalvonta, 3.12.1991
 ST 3.6 Röntgentilojen säteilyturvallisuus, 24.9.2001.
 ST 3.7 Mammografiaan perustuva rintasyöpäseulonta, 28.3.2001

Teollisuus, tutkimus, opetus ja kaupallinen toiminta

- ST 5.1 Umpilähteiden ja niitä sisältävien laitteiden säteilyturvallisuus, 17.2.1999
 ST 5.3 Ionisoivan säteilyn käyttö fysiikan ja kemian opetuksessa, 17.2.1999
 ST 5.4 Säteilylähteiden kauppa, 2.10.2000
 ST 5.6 Säteilyturvallisuus teollisuusradiografiassa, 17.2.1999

- ST 5.8 Säteilylaitteiden asennus-, korjaus- ja huoltotyö, 17.2.1999

Avolähteet ja radioaktiiviset jätteet

- ST 6.1 Radionuklidilaboratorioiden säteilyturvallisuusvaatimukset, 1.7.1999
 ST 6.2 Radioaktiiviset jätteet ja päästöt, 1.7.1999
 ST 6.3 Säteilyn käyttö isotooppilääketieteessä, 18.3.2003

Säteilyannokset ja terveystarkkailu

- ST 7.1 Säteilyaltistuksen seuranta, 25.2.2000.
 ST 7.2 Säteilyaltistuksen enimmäisarvojen soveltaminen ja säteilyannoksen laskemisperusteet, 1.7.1999
 ST 7.3 Sisäisestä säteilystä aiheutuvan annoksen laskeminen, 1.7.1999
 ST 7.4 Säteilyannosten rekisteröinti 25.2.2000.
 ST 7.5 Säteilytyötä tekevien työntekijöiden terveystarkkailu, 29.12.1999

Ionisoimaton säteily

- SS 9.1^{*)} Solariumlaitteiden ja aurinkolamppujen säteilyturvallisuusvaatimukset ja tyyppitarkastus, 1.9.1989
 ST 9.2 Pulssitutkien säteilyturvallisuus, 2.9.2003
 ST 9.3 ULA- ja TV-asemien mastotöiden säteilyturvallisuus, 2.9.2003
 ST 9.4 Yleisoesityksissä käytettävien suuritehoisten laserlaitteistojen säteilyturvallisuus, 8.10.1993

Luonnonsäteily

- ST 12.1 Säteilyturvallisuus luonnonsäteilylle altistavassa toiminnassa, 6.4.2000
 ST 12.2 Rakennusmateriaalien polttoturpeen ja turvetuhkan radioaktiivisuus, 2.2.1993
 ST 12.3 Talousveden radioaktiivisuus, 9.8.1993

^{*)} ST-ohjeet olivat aiemmin nimeltään SS-ohjeita. Ohjeita uudistettaessa kaikki vanhat SS-ohjeet muutetaan vähitellen ST-ohjeiksi.