

SÄTEILYTOIMINTA JA SÄTEILYMITTAUKSET

1	YLEISTÄ	3
2	SÄTEILYMITTAUSTEN TARKKUUSVAATIMUKSET	3
2.1	Mittausepävarmuus ja mittauksen virhe	3
2.2	Työolojen tarkkailuun ja väestön säteilyturvallisuuteen liittyvät säteilymittaukset	4
2.3	Hengitysilman radonpitoisuuden mittaukset	4
2.4	Työntekijöiden annostarkkailuun liittyvät säteilymittaukset	4
2.5	Potilaan säteilyaltistuksen määrittämiseen liittyvät mittaukset	6
2.6	Laadunvarmistusmittaukset	6
3	SÄTEILYMITTAREITA JA -MITTAUSJÄRJESTELMIÄ KOSKEVAT VAATIMUKSET JA HYVÄKSYMINEN	6
3.1	Työolojen tarkkailuun ja väestön säteilyturvallisuuteen liittyvät säteilymittaukset	6
3.1.1	Mittareita koskevat vaatimukset	6
3.1.2	Mittarien hyväksyminen	7
3.2	Hengitysilman radonpitoisuuden mittaukset	7
3.2.1	Mittauksia, mittareita ja mittausmenetelmiä koskevat vaatimukset	7
3.2.2	Mittalaitteiden tai mittausmenetelmien hyväksyminen	7
3.3	Työntekijöiden annostarkkailuun liittyvät säteilymittaukset	8
3.3.1	Annosmittauspalvelua koskevat yleiset vaatimukset	8
3.3.2	Annosmittausjärjestelmää koskevat vaatimukset	9
3.3.3	Annosmittauspalvelun ja -järjestelmän hyväksyminen	9
3.4	Potilaan säteilyaltistuksen määrittämiseen liittyvät mittaukset	10
3.4.1	Mittareita koskevat vaatimukset	10
3.4.2	Mittarien hyväksyminen	11
4	SÄTEILYMITTAUSTEN LAADUNVARMISTUS	11
4.1	Asiantuntijoiden käyttö mittauksissa	11
4.2	Säteilymittarien kalibrointi	11
4.3	Säteilymittarien toimintakunnon tarkistaminen	12

LIITE A SÄTEILYMITTAUKSIIN TARVITTAVAT SUUREET JA YKSIKÖT

LIITE B YHTEENVETO SÄTEILYMITTAUSTEN TARKKUUSVAATIMUKSISTA

Tämä ohje on voimassa 15.12.2016 alkaen toistaiseksi.

Ohje korvaa 17.3.2008 annetun ohjeen ST 1.9, Säteilytoiminta ja säteilymittaukset.

Helsinki 2016

ISSN 0789-4368

ISBN 978-952-309-342-3 (pdf)

ISBN 978-952-309-343-0 (html)

Valtuutusperuste

Säteilytoiminnan turvallisuudesta vastaa säteilylain mukaan säteilytoiminnan harjoittaja. Toiminnan harjoittaja on velvollinen huolehtimaan siitä, että ST-ohjeissa esitetyn mukainen turvallisuustaso toteutetaan ja ylläpidetään.

Säteilyturvakeskus antaa säteilyn käytön ja muun säteilytoiminnan turvallisuutta koskevat yleiset ohjeet, säteilyturvallisuusohjeet (ST-ohjeet), säteilylain (592/1991) 70 §:n 2 momentin nojalla.

Tämä ohje sisältää neuvoston direktiivin 96/29/Euratom; EYVL N:o L 159, 29.6.1996 s. 1 täytäntöönpanoon liittyviä vaatimuksia.

1 Yleistä

Säteilymittauksiin liittyvät yleiset vaatimukset esitetään säteilylain (592/1991) 23 §:ssä, säteilyasetuksen (1512/1991) 11 ja 12 §:ssä ja säteilyn lääketieteellistä käyttöä koskevan sosiaali- ja terveysministeriön (STM) asetuksen (423/2000) 17 §:ssä. Annosmittauspalveluja koskevat säteilylain 12 ja 32 a § sekä radonpitoisuuden määrittämistä STM:n päätös (944/1992). Ydinvoimalaitosten käyttöön liittyviä säteilymittauksia koskevia vaatimuksia on esitetty Säteilyturvakeskuksen julkaisemissa YVL-ohjeissa C.2, C.3 ja C.6.

Tässä ohjeessa esitetään oleelliset vaatimukset säteilymittauksen tarkkuudesta sekä säteilymittarien hyväksymisestä, kalibroinnista ja toimintakunnon tarkistamisesta sekä vaatimukset säteilytyötä tekevien työntekijöiden henkilökohtaisten säteilyannosten mittauspalveluille (nk. hyväksytyille annosmittauspalveluille). Ohjeessa esitetään lisäksi säteilymittauksissa käytettävien suureiden ja yksiköiden määritelmät. Ohjeessa ST 7.2 on esitetty säteilysuojelusuu-reet, joita käytetään säteilyn haittavaikutusten arvioimiseen ja joiden avulla on annettu säteilyaltistuksen enimmäisarvot (ekvivalenttiannos ja efektiivinen annos).

Tämä ohje koskee sellaisia säteilytoimintaan liittyviä ionisoivan säteilyn mittauksia, joiden tuloksia käytetään säteilytyötä tekevien työntekijöiden ja väestön sekä terveydenhuollon säteilyn käytössä potilaiden säteilyaltistuksen määrittämiseen tai joiden perusteella varmistetaan että käytössä olevat laitteet ja niiden käyttötilat tai työntekijöiden työtiloja koskevat turvallisuusvaatimukset täyttyvät. Ohje koskee lisäksi sekä työpaikalla että asunnoissa tehtäviä hengitysilmän aktiivisia ja passiivisia radonpitoisuuden mittauksia. Ohje ei koske lentohenkilöstön säteilyaltistuksen määrittämistä, sisäisestä säteilystä aiheutuvan altistuksen määrittämistä eikä normaalista poikkeavassa säteilytilanteessa tai siihen varauduttaessa väestön suojelemiseksi tehtäviä mittauksia.

2 Säteilymittauksen tarkkuusvaatimukset

2.1 Mittausepävarmuus ja mittauksen virhe

Mittauksissa lopullinen mittaustulos voidaan usein esittää tulona, jossa tekijöinä ovat mittarin näyttämä, kalibrointikerroin ja joukko muita korjauskertoimia. Tässä ohjeessa *mittausepävarmuudella* tarkoitetaan kokonaisepävarmuutta. Se saadaan siten, että arvioidaan kaikki mittausten menetelmään liittyvät virhelähteet, laskeaan niiden vaikutukset (keskihajonnat) yhteen neliöllisesti*) ja kerrotaan näin saatu yhdistetty epävarmuus kattavuuskertoimella. Kattavuuskertoimelle käytetään tässä ohjeessa arvoa 2, mikä vastaa 95 %:n luotettavuustasoa. Tällöin mittaustulos poikkeaa 95 %:n todennäköisyydellä mitattavan suureen oikeasta arvosta enintään arvioidun mittausepävarmuuden verran. Mittausepävarmuus tässä ohjeessa tarkoittaa suhteellista mittausepävarmuutta, eli mittaustuloksen epävarmuus on ilmaistu prosentteina mittaustuloksesta.

Kun mittausepävarmuus arvioidaan tarkasti, siihen vaikuttavat komponentit jaetaan kahteen ryhmään sen mukaan, miten niiden suuruus on arvioitu. Tyypin A epävarmuuskomponenttien suuruus on arvioitu tilastollisin menetelmin ja tyypin B epävarmuuskomponenttien suuruus muilla tavoin. Mittausepävarmuus määritetään kansainvälisen ohjeen [1] mukaan.

Mittauksen *virheellä* tarkoitetaan seuraavassa mittaustuloksen (M_i) ja mitattavan suureen oikean arvon (M_t) erotusta, kun mittaustulokseen on ensin tehty kaikki tunnetut korjaukset. Tässä ohjeessa virheellä tarkoitetaan aina suhteellista virhettä I :

$$I = \frac{M_i - M_t}{M_t} \cdot 100\% \quad (1)$$

Kun mittaristandardeissa tarkastellaan säteilymittarin suorituskykyä, mittarin virheen itseisarvolle ilmoitetaan yleensä yläraja perusoloissa

*) Virhelähteille arvioitujen keskihajontojen neliöllinen yhteenlasku tarkoittaa, että hajontojen neliöt lasketaan yhteen ja lopputuloksesta otetaan neliöjuuri. Menetelmän käyttö edellyttää lisäksi, että virhelähteet ovat toisistaan riippumattomia.

eli standardissa ilmoitetulla säteilyenergialla ja ilmoitetuissa ympäristöolosuhteissa. Perusoloissa määritettyä virhettä kutsutaan *perusvirheeksi*. Erikseen annetaan ylärajat mittarin virheelle mittaustulokseen vaikuttavien muiden suureiden määrittelyillä arvoilla. Näitä ovat nk. vaikutussuureiden, kuten säteilyn energian, säteilyn tulosuunnan ja ympäristön lämpötilan määritetyt arvot.

2.2 Työolojen tarkkailuun ja väestön säteilyturvallisuuteen liittyvät säteilymittaukset

Mittausepävarmuus ei yleensä saisi olla suurempi kuin 60 % säteilytoiminnasta aiheutuvan ulkoisen säteilyn annoksen ja annosnopeuden mittauksissa työtiloissa tai niiden ympäristössä [2]. Annoksella tarkoitetaan tässä vapaata tai suunnattua annosekvivalenttia (ks. liite A, kohta A.1.3.1). Samaa suositusta sovelletaan myös aktiivisuuskatteen mittaukseen (ks. liite A, kohta A.1.3.1). Mittausten tarkoituksena on varmistaa joko työntekijöiden tai väestön säteilyturvallisuus.

Vapaan annosekvivalentin mittaukseen tarkoitettuna annos- ja annosnopeusmittarin suhteellinen vaste (= mittarin näyttämän ja mitattavan suureen todellisen arvon suhteen, eli mittarin vasteen, suhteellinen vaihtelu referenssienergiaan nähden) ei saa olla pienempi kuin 0,71 (-29 %) eikä suurempi kuin 1,67 (+67 %) fotonisäteilyn energia-alueella 20 keV–150 keV tai 80 keV–1,5 MeV. Vaatimus täyttyy, jos suhteellinen vaste on välillä 0,71...1,67 edes toisella näistä energia-alueista [3].

Hälyttävän henkilöannosmittarin perusvirhe ei saa olla suurempi kuin 30 % [16].

2.3 Hengitysilman radonpitoisuuden mittaukset

Hengitysilman radonpitoisuuden mittauksessa mittausepävarmuus ei saa olla suurempi kuin 30 % (ks. liite A, kohta A.1.3.1).

Radonpitoisuuden mittarin perusvirhe ei saa olla suurempi kuin 20 %. Toistomittauksissa mittaustulosten keskihajonta ei saa olla suurempi kuin 10 %, kun radonpitoisuus on 400–600 Bq·m⁻³. Ympäristövaikutussuureiden, kuten kosteuden, lämpötilan tai tausta-annos-

nopeuden, aiheuttama virhe ei saa olla suurempi kuin 10 %.

2.4 Työntekijöiden annostarkkailuun liittyvät säteilymittaukset

Silloin kun testataan työntekijöiden annostarkkailuun käytettävää annosmittausjärjestelmää fotonisäteilyllä, mittaustulos ei saa poiketa oikeasta arvosta 95 %:n luotettavuudella enempää kuin 33 % alaspäin tai 50 % ylöspäin^{*}, kun mittaustulos vastaa suuruudeltaan lähellä vuosiansnosrajaa olevia annoksia. Annoksella tarkoitetaan tässä henkilöannosekvivalenttia $H_p(d)$ (ks. liite A, kohta A.1.3.2). Mittaustuloksen suurin sallittu suhteellinen poikkeama, eli annosmittarin vasteen raja-arvot, eri annoksilla voidaan ilmaista ehtona^{*} [5]:

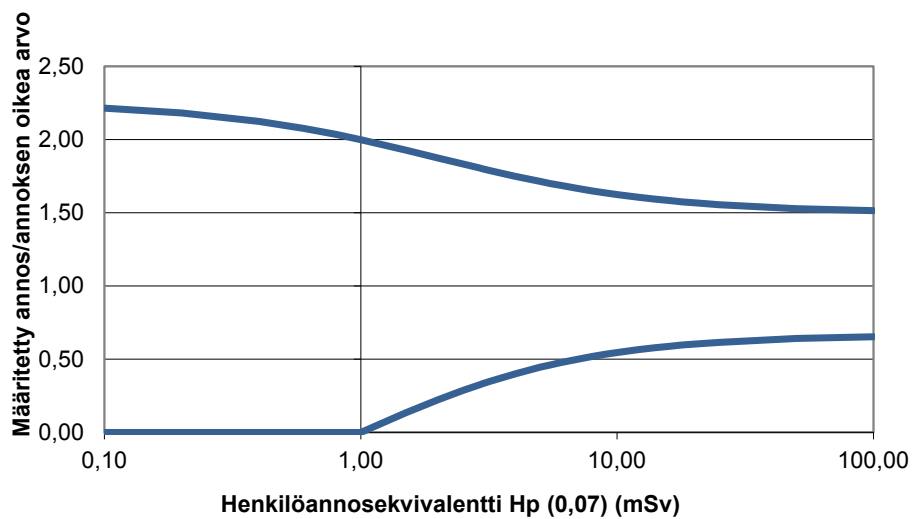
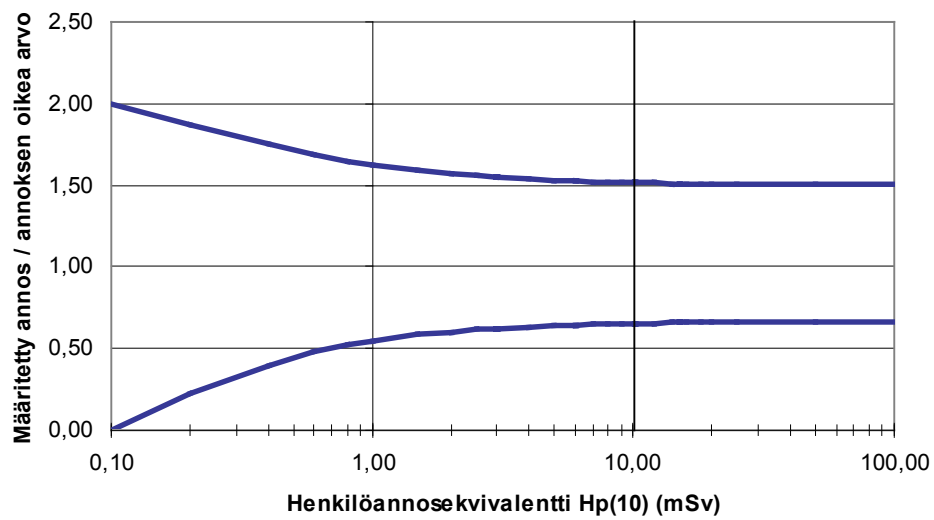
$$\frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{2H_0}{H_0 + H_t}\right) \leq R \leq \frac{3}{2} \cdot \left(1 + \frac{H_0}{2H_0 + H_t}\right) \quad (2)$$

missä $R = H_m/H_t$ on annosmittarin vaste eli annosmittarilla määritetyn annoksen H_m ja annoksen oikean arvon H_t suhde ja H_0 on kirjauskynnys. Kirjauskynnykset on annettu ohjeessa ST 7.4. Kaavan (2) mukaiset nk. trumpettikäyrät on esitetty kuvassa 1 (trumpettikäyrien piirtämisessä on henkilöannosekvivalentti $H_p(10)$:n kuvassa käytetty kirjauskynnykselle arvoa $H_0 = 0,1$ mSv ja henkilöannosekvivalentti $H_p(0,07)$:n kuvassa arvoa $H_0 = 1$ mSv). Mittaustuloksen tarkkuuden on oltava sellainen, että annosmittarilla määritetyn annoksen ja annoksen oikean arvon suhde jää trumpettikäyrien sisäpuolelle.

Annosmittausjärjestelmän laskennallisesti arvioitu mittausepävarmuus (ks. kohta 2.1) ei saa olla suurempi kuin 42 % [5]. Tämä arvo on määritetty kaavassa (2) ilmaistun ehdon perusteella.

Annosmittausjärjestelmän tarkkuutta arvioidessa huomioitavia seikkoja ovat muun muassa mitattavan säteilyn laji ja energia, annosnopeuden ja annoksen vaihteluväli sekä säteilyn mahdollinen pulssimuotoisuus. Mittauksiin ei saa aiheutua merkittävää virhettä ympäristöolosuhteista, kuten ilman lämpötilasta ja kosteu-

^{*} On huomattava, että -33 %:n ja +50 %:n poikkeama pätee vain fotonisäteilylle. Elektroneille ja sellaisille neutroneille, joiden energia on tuntematon, poikkeama voi olla suurempi [6].



Kuva 1. Annosmittarilla määritetyn annoksen ja annoksen oikean arvon suhdetta annoksen funktiona kuvaavat trumpettikäyrät.

desta, sähkömagneettisista kentistä tai muusta säteilystä, jota ei ole tarkoitus mitata.

2.5 Potilaan säteilyaltistuksen määrittämiseen liittyvät mittaukset

Röntgendiagnostiikassa potilaan säteilyaltistuksen (pinta-annos, annoksen ja pinta-alan tulo, keskimääräinen rauhaskudosannos, annoksen ja pituuden tulo sekä TT-annoksen tilavuuskeskiarvo; ks. liite A, kohta A.2.1) mittauserävarmuus ei saa olla suurempi kuin 25 %. Samaa tarkkuusvaatimusta sovelletaan myös silloin, kun laitteessa on laskennallinen potilaan säteilyaltistuksen näyttö. Röntgendiagnostiikkalaitteen säteilytuoton (ilmakerma/sähkömäärä [11]) mittauksissa mittauserävarmuus ei saa olla suurempi kuin 7 %, kun tulosta käytetään potilaan säteilyaltistuksen määrittämiseen [15].

Ulkoisen sädehoidon annosmittauksissa veteen absorboituneen annoksen (ks. liite A, kohta A.2.2) mittauserävarmuus vertailusyvyydellä säteilykentän keskiakselilla vesifantomissa [12] ei saa olla suurempi kuin 3 % fotonisäteilyn mittauksissa ja 4 % elektronisäteilyn mittauksissa. Mittarien ominaisuuksiin sovelletaan SFS-EN-standardin [8] vaatimuksia. Potilaskohtaisessa annosmittauksessa (in-vivo-mittaus) veteen absorboituneen annoksen mittauserävarmuus ei saa olla suurempi kuin 5 %. Tykösädehoidon fotonilähteiden mittauksissa vertailuilmakermanopeuden (ks. liite A, kohta A.2.2) mittauserävarmuus ei saa olla suurempi kuin 5 % eikä beetalähteiden mittauksissa vertailuannosnopeuden (ks. liite A, kohta A.2.2) mittauserävarmuus suurempi kuin 15 % hoidoissa tyypillisillä ilmakerma- tai annosnopeuksilla.

Isotooppitutkimuksissa ja -hoidoissa radioaktiivisten lääkevalmisteiden aktiivisuuden mittauksessa (aktiivisuusmittarilla eli annoskalibraattorilla mitattaessa) perusvirhe ei saa olla suurempi kuin 10 %, kun mitataan suurempia kuin 3,7 MBq:n aktiivisuuksia [9]. Kun mitataan pienempiä kuin 3,7 MBq:n aktiivisuuksia, perusvirhe voi olla suurempi, mutta sen suurin mahdollinen arvo on arvioitava. Kun yhdelle potilaalle annettavan radiolääkeannoksen aktiivisuuden mittausta toistetaan samassa mittausgeometriassa, kymmenen mittauksen sarjassa yksittäisen mittaustuloksen poikkeama tulosten keskiarvon suhteen ei saa olla suurempi kuin 5 % hoidoissa

tyypillisillä aktiivisuuksilla. Aktiivisuusmittarin vasteen epälineaarisuus suurilla aktiivisuuksilla ei saa olla enempää kuin 5 %.

2.6 Laadunvarmistusmittaukset

Säteilylaitteiden toimivuus- ja turvallisuusominaisuuksien mittauksiin ja laadunvalvontaan käytetyn mittarin tarkkuuden on oltava sellainen, että mittaustuloksen epävarmuus ei ylitä mitattavalle suurelle sallittua mittauserävarmuutta.

Röntgendiagnostiikkalaitteen vuoto- ja sirontasäteilyn annosnopeutta mitattaessa mittauserävarmuus ei saa olla suurempi kuin 20 % [7]. Vaatimusta sovelletaan annosnopeuteen, joka vastaa vuoto- ja sirontasäteilyn annosnopeudelle laitestandardeissa asetettuja hyväksyntärajoja.

3 Säteilymittareita ja -mittausjärjestelmiä koskevat vaatimukset ja hyväksyminen

Säteilyaltistuksen arvioimiseksi ja turvallisuuden varmistamiseksi tarpeelliset mittaukset on tehtävä luotettavaksi todetulla menetelmällä ja mittaukseen käytettävän säteilymittarin tai säteilymittauslaitteen on oltava asianmukaisesti kalibroitu (säteilylain 23 §). Säteilyasetuksen 12 §:n mukaan säteilytyötä tekevien työntekijöiden säteilyaltistukseen vaikuttavien työolojen tarkkailu tulee järjestää käyttäen Säteilyturvakeskuksen hyväksymiä menetelmiä.

Säteilymittarien mittaustarkkuuden on oltava luvussa 2 annettujen vaatimusten mukainen. Säteilymittarit tai mittausjärjestelmä on kalibroitava kohdassa 4.2 esitettyjen vaatimusten mukaisesti.

3.1 Työolojen tarkkailuun ja väestön säteilyturvallisuuteen liittyvät säteilymittaukset

3.1.1 Mittareita koskevat vaatimukset

Säteilymittarin on sovelluttava mittauksen kohteena olevan säteilyn mittaukseen niillä mitattavan suureen arvoilla ja säteilyn lajeilla ja energioilla, joita säteilyn käyttöpaikalla tai sen

ympäristössä esiintyy (ks. liite A). Esimerkiksi, jos työpaikalla käytetään beetasäteilijöitä avo- lähteinä, radioaktiivisen pintakontaminaation mittarilla on pystyttävä havaitsemaan beetasäteilyä kyseisten beetasäteilijöiden energioilla ainakin pintakontaminaation enimmäismääriä vastaavilla aktiivisuuskatteen arvoilla. Mittarin soveltavuuteen vaikuttaa myös se, onko mittarilla tarkoitus määrittää säteilysuureen arvo vai ainoastaan havaita mittauksen kohteena olevaa säteilyä.

Hiukkaskiihdytinten säteilymittauksissa on erityisesti varmistettava, että säteilymittari soveltuu kiihdyttimen pulssimuotoisen säteilyn mittaukseen.

Jos on mahdollista, että säteilyn käyttöpaikalla tai sen ympäristössä säteilyn annosnopeus normaalista poikkeavassa tapahtumassa voi ylittää mittarin toiminta-alueen ylärajan, mittarin on tässä tilanteessa osoitettava ylikuormitusta.

Säteilymittarin on rakenteeltaan ja kestävyydeltään sovelluttava säteilyn käyttöpaikalla tai sen ympäristössä vallitseviin olosuhteisiin, muun muassa ilman lämpötilaan ja kosteuteen. Esimerkiksi ulkokäytössä mittarin toimintakyky on varmistettava.

Mittarin toiminta ei saa häiriintyä ulkoisten tekijöiden, kuten sähkö- ja magneettikenttien, tai muun kuin mittauksen kohteena olevan säteilylajin vaikutuksesta enempää kuin vaaditun mittaustarkkuuden perusteella on hyväksyttävää.

3.1.2 Mittarien hyväksyminen

Säteilyturvakeskus hyväksyy säteilymittarit esitettyyn käyttötarkoitukseen turvallisuuslupaa myönnettäessä tai toimintaa tarkastettaessa. Hyväksyttävyyttä arvioidaan mittarin tyyppitarkastustietojen, testaustietojen ja mittarin ominaisuuksia osoittavien muiden luotettavien tietojen perusteella.

3.2 Hengitysilman radonpitoisuuden mittaukset

Työntekijöiden säteilyaltistukseen vaikuttavan radonpitoisuuden tarkkailu on järjestettävä käyttäen Säteilyturvakeskuksen hyväksymiä menetelmiä. Asuntojen hengitysilman radonpitoisuus on määritettävä Säteilyturvakeskuksen hyväksymällä mittausmenetelmällä (sosiaali- ja

terveysministeriön päätös 944/1992 3 § asuntojen hengitysilman radonpitoisuuden enimmäisarvoista).

3.2.1 Mittauksia, mittareita ja

mittausmenetelmiä koskevat vaatimukset

Säteilyasetuksen 27 §:ssä, ohjeessa ST 12.1 ja STM:n päätöksessä (944/1992) annetut radonpitoisuuden toimenpide- ja enimmäisarvot ovat radonpitoisuuden vuosikeskiarvoja. Paras arvio vuosikeskiarvosta saadaan lämmityskaudella tehdyillä pitkillä mittauksilla [26].

Hengitysilman radonpitoisuuden määrittäminen on perustuttava vähintään kahden kuukauden pituisena yhtäjaksoisena aikana tehtyyn integroivaan mittaukseen. Jos integroiva mittaus työpaikalla ei ole mahdollinen mittaussuhteiden (esimerkiksi maanalaiset kaivokset ja louhintatyömaat) tai muiden perusteltujen, työpaikkakohtaisten syiden vuoksi, mittaus voidaan poikkeustapauksissa tehdä myös lyhytaikaisena tai hetkellisenä. Lyhytaikaiseen ja hetkelliseen mittaukseen liittyvä suurempi virhe on huomioitava mittaustuloksen perusteella tehtävissä johtopäätöksissä. Työnaikainen radonpitoisuus on selvittävä mittauksella, joka kestää yhtäjaksoisesti vähintään seitsemän vuorokautta.

Hengitysilman radonpitoisuuden mittalaitteen mittausalueen ylärajan tulee ulottua vähintään radonpitoisuuteen $5\ 000\ \text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, jos laitetta käytetään hengitysilman radonpitoisuuden toimenpide- tai enimmäisarvon ylityksen toteamiseen työpaikalla tai asunnossa ja jos käytetään laitteelle tyyppillistä mittausaikaa. Hengitysilman radonpitoisuuden mittalaitteen mittausalueen ylärajan tulee ulottua vähintään radonpitoisuuteen $10\ 000\ \text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, jos laitetta käytetään työntekijän työolojen tarkkailuun, jossa mittaustuloksesta määritetään laskennallisesti työntekijän annos, ja jos käytetään laitteelle tyyppillistä mittausaikaa. Hengitysilman radonpitoisuutta mittaavan mittalaitteen mittausalueen alaraja saa olla enintään $20\ \text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, jotta radonkorjausten tehokkuus voidaan mitataksikin varmentaa.

3.2.2 Mittalaitteiden tai

mittausmenetelmien hyväksyminen

Hengitysilman radonpitoisuutta mittaavan mittalaitteen tai mittausmenetelmän hyväksymistä on haettava kirjallisesti Säteilyturvakeskuksel-

ta. Hyväksyminen tehdään esitettyjen asiakirjojen ja testitulosten perusteella. Tarvittaessa Säteilyturvakeskus myös testaa mittalaitteen. Hyväksymispäätöksessä annetaan tarvittaessa mittalaitteen tai mittausmenetelmän käyttöä koskevat ehdot ja rajoitukset.

Hengitysilmän radonpitoisuutta mittaavan mittalaitteen tai mittausmenetelmän hyväksyminen tehdään määräajaksi, enintään viideksi vuodeksi kerrallaan. Tämän jälkeen hyväksymistä voidaan jatkaa hakemusten perusteella. Mittalaitetta koskeva päätös on hakija- ja laitetyyppikohtainen. Lisäksi on huomattava, että jokainen laiteyksilö on kalibroitava erikseen (ks. kohta 4.2).

Mikäli radonmittalaitteen hyväksynnän saaja lainaa laitetta eteenpäin, on hän vastuussa siitä, että mittalaite on kunnossa ja kalibroitu. Hyväksynnän saajan on myös huolehdittava laitetta eteenpäin lainatessaan siitä, että lainaaja on tietoinen, että mittauksia asiakkaalle ja viranomaiselle raportoitaessa on viitattava hyväksyntäpäätökseen (hyväksyntäpäätöksen diaarinumero).

3.3 Työntekijöiden annostarkkailuun liittyvät säteilymittaukset

Työntekijöiden annostarkkailun on perustuttava hyväksytyyn annosmittauspalvelun tekemisiin henkilökohtaisiin annosmittauksiin tai muihin henkilökohtaisiin annosmäärityksiin. *Hyväksytyllä annosmittauspalvelulla* tarkoitetaan säteilylain 12 §:n mukaan toimintayksikköä tai palveluntuottajaa, joka vastaa työntekijöiden säteilyaltistuksen seurantaan kuuluvasta henkilökohtaisten säteilyannosten mittaamisesta ja määrittämisestä ja jonka pätevyyden tähän toimintaan Säteilyturvakeskus on todennut.

3.3.1 Annosmittauspalvelua koskevat yleiset vaatimukset

Yleistä

Annosmittauspalvelun toiminta on järjestettävä siten, että sitä voidaan asianmukaisesti tarkastaa ja valvoa Suomessa voimassa olevan lainsäädännön nojalla. Annosmittauspalvelulla on oltava valmiudet palvella asiakkaitaan asianomaisen käyttöpaikan työkielenä käytettävällä kotimaisella kielellä. Yksittäistapauksessa eri-

tyisistä, perustelluista syistä voidaan hyväksyä sellaista kieltä käyttävä annosmittauspalvelu, jota asiakas ymmärtää.

Akkreditointi ja laadunhallinta

Annosmittauspalvelun on oltava akkreditoitu. Tästä voidaan poiketa ainoastaan erityisistä, perustelluista syistä. Tällöin annosmittauspalvelun on pystyttävä osoittamaan, että sillä on standardin SFS-EN ISO/IEC 17025 [10] mukainen sertifioitu laatujärjestelmä.

Annosmittauspalvelulla on oltava kirjallinen laadunvalvontaohjelma. Mittauspalvelun on valvottava annosmittausjärjestelmiensä luotettavuutta soveltuvin menetelmin, ja näiden menetelmien kuvaus on sisällytettävä laadunvalvontaohjelmaan. Laadunvalvontaohjelmassa on kuvattava myös mittausjärjestelmän määräaikaishuoltoon kuuluvat tehtävät. Mahdollisuuksien mukaan mittauspalvelun on osallistuttava myös kansainvälisiin mittausvertailuihin.

Ainakin seuraavien asioiden on sisällyttävä laadunvalvontaohjelmaan:

- määräaikaikalibroinnit ja kalibrointitulosten huomioiminen
- annosmääritysten tulosten oikeellisuuden seuranta
- laadunvalvontaa varten asetettujen toimenpiderajojen ylitysten tarkastus ja seuranta
- annosmittarien ja niihin kuuluvien materiaalien kunnan tarkistus
- annosmittarien ja niihin kuuluvien materiaalien uusimisen huomioiminen.

Laadunvalvontaohjelmassa on esitettävä testien suoritusvälit, toimenpiderajat ja tulosten dokumentointitavat sekä kuvattava toimenpiteet jos rajat ylittyvät.

Tietojen käsittely, tallennus ja tulosten ilmoittaminen

Annosmittauspalvelulla on oltava asianmukaiset tietojärjestelmät työntekijöiden altistustietojen käsittelyä varten.

Annosmittauspalvelun on varmistettava henkilökohtaisten säteilyannosten mittaustulosten luotettavuus ja tarvittaessa pyydettävä toiminnan harjoittajalta lisätietoja tuloksen varmistamista varten. Mittauspalvelulla on oltava kirjalliset menettelyohjeet, jotta tavanomaisesta

poikkeavat mittaustulokset voidaan havaita ja niiden oikeellisuus varmistaa. Mittaustuloksen oikeellisuus on tarvittaessa varmistettava yhteistyössä toiminnan harjoittajan kanssa.

Annosmittauspalvelun on säilytettävä annosmäärityksiin liittyvät tiedot vähintään viiden vuoden ajan, ellei annosmittauspalvelua hyväksyttäessä ole muuta määrätty.

Annosmittauspalvelun on toimitettava toiminnan harjoittajalle tiedot määrittämistään työntekijöiden henkilökohtaisista annoksista viivyttämättä, kuitenkin viimeistään kahden viikon kuluessa annoksen määrityksestä ja viimeistään kolmen viikon kuluessa annosmittarin saapumisesta mittauspalveluun.

Jos annosmittarista määritetty syväannos on suurempi kuin 10 mSv tai sormiannosmittarista määritetty pinta-annos yli 100 mSv, on annosmittauspalvelun ilmoitettava annoksesta toiminnan harjoittajalle viivyttämättä.

Annosmittauspalvelulla on oltava tarvittavat järjestelmät altistustietojen toimittamiseksi Säteilyturvakeskuksen annosrekisteriin. Altistustietojen toimittamisesta on annettu tarkemmat vaatimukset ohjeessa ST 7.4.

3.3.2 Annosmittausjärjestelmää koskevat vaatimukset

Annosmittausjärjestelmällä tarkoitetaan kokonaisuutta, johon kuuluvat henkilökohtaiset annosmittarit, lukijalaitteet ja kaikki oheislaitteet sekä annosten määrittämisessä käytettävät ohjelmat ja menettelyohjeet. Annosmittausjärjestelmää koskevat tiedot on dokumentoitava.

Suureet ja yksiköt

Annosmittausjärjestelmän suureena on käytettävä henkilöannosekvivalenttia $H_p(d)$ (ks. liite A, kohta A.1.3.2). Kovalla säteilyllä suureena on yleensä henkilöannosekvivalentti $H_p(10)$ (syväannos) ja pehmeällä säteilyllä henkilöannosekvivalentti $H_p(0,07)$ (pinta-annos). Myös neutronisäteilystä aiheutuvaa annosta määritettäessä käytetään syväannosta. Sormille aiheutuneita annoksia määritettäessä käytetään pinta-annosta. Silmän annoksia määritettäessä käytetään henkilöannosekvivalenttia $H_p(3)$.

Kaikkien edellä mainittujen suureiden yksikkö on sievert (Sv). Mitatut annokset on ilmoitettava käyttäen sen kerrannaisyksikköä millisievert (mSv).

Kalibrointi

Annosmittausjärjestelmä on kalibroitava ennen sen käyttöönottoa ja sen jälkeen määräajoin siten kuin Säteilyturvakeskus annosmittausjärjestelmän hyväksymisen yhteydessä on määrännyt.

Järjestelmän tekninen suorituskyky

Annosmittausjärjestelmä on ennen sen käyttöönottoa testattava sen teknisen suorituskyvyn arvioimiseksi. Eri mittaustulosten edellyttämät testit ja testien hyväksyttävyyssrajat on esitetty mittaustulosten koskeissa standardeissa (ks. esim. IEC ja ISO). Testaukseen on käytettävä aina uusinta tai viimeisintä soveltuvaa standardia. Mittausjärjestelmästä riippumatta ainakin seuraavat järjestelmän ja siihen kuuluvan annosmittarin ominaisuudet on testattava:

- annosmittarin vasteen riippuvuus annoksesta
- vasteen riippuvuus säteilyn energiasta
- vasteen riippuvuus säteilyn tulosuunnasta
- annosmittarin havaitsemiskynnys
- ympäristöolosuhteiden vaikutus.

Tarkkuus

Vaatimukset annosmittausjärjestelmän tarkkuudelle on esitetty kohdassa 2.4.

Ulkoiset testit

Säteilyturvakeskus tekee annosmittauspalvelun toiminnan valvomiseksi vuosittain sokkotestejä. Sokkotestissä annosmittareihin säteilytetään tunnetut annokset mittarien käyttöolosuhteita vastaavilla säteilylaaduilla (säteilylajeilla ja -energioilla). Mittarit toimitetaan annosmittauspalveluun, joka määrittää annokset tavanomaisen käytäntönsä mukaisesti. Fotonisäteilyn mitattujen ja todellisten annosten suhteen on täytettävä kohdassa 2.4 yhtälössä (2) esitetty ehto. Elektroni- ja neutronisäteilyyn kyseistä ehtoa sovelletaan harkinnan mukaan.

3.3.3 Annosmittauspalvelun ja -järjestelmän hyväksyminen

Annosmittauspalvelun ja -järjestelmän hyväksymistä on haettava kirjallisesti Säteilyturvakeskukselta. Hyväksyntää varten Säteilyturvakeskukselle on toimitettava muun muassa seuraavat tiedot:

- mittauspalvelun toiminimi, mahdollinen yritys- ja yhteisötunnus, mittauspalvelun vastuuhenkilö, yhteystiedot sekä muut mahdolliset mittauspalvelun toimipaikat, mikäli ne poikkeavat mittauspalvelun osoitteesta
- mittausjärjestelmän yksityiskohtainen kuvaus sekä dokumentit kalibroinneista ja testauksista
- kopiot mahdollisesta akkreditointipäätöksestä ja akkreditointipalvelun määräaikaisselvointien pöytäkirjoista.

Lisätietoja ja tarkempia ohjeita hyväksynnän hakemista varten saa Säteilyturvakeskuksesta.

Hyväksymisessä sovelletaan raporttia Radiation Protection 160 [24], standardia SFS-EN ISO/IEC 17025 [10] ja mittausjärjestelmää koskevia kansainvälisiä standardeja. Hyväksyminen tehdään esitettyjen asiakirjojen ja testitulosten sekä Säteilyturvakeskuksen annosmittauspalveluun tekemän tarkastuksen perusteella. Tarvittaessa Säteilyturvakeskus myös testaa annosmittausjärjestelmän. Järjestelmää hyväksyttäessä sitä tarkastellaan kokonaisuutena, jolloin yksittäisen testin tulos ei ole ratkaiseva, vaan testien tulosten merkitys harkitaan aina tapauskohtaisesti. Annosmittausten mittausepävarmuuden tulee kuitenkin täyttää sille asetetut vaatimukset (ks. kohta 2.4).

Annosmittauspalvelu hyväksytään määräajaksi, enintään viideksi vuodeksi kerrallaan. Sen jälkeen hyväksymistä voidaan hakemukselta jatkaa. Uusi hakemus on toimitettava kaksi kuukautta ennen edellisen hyväksynnän päättymistä tai hyväksyntäpäätöksen ehtojen mukaisesti.

3.4 Potilaan säteilyaltistuksen määrittämiseen liittyvät mittaukset

STM:n asetuksen (423/2000) 17 §:ssä säädetään muun muassa, että

- röntgentutkimuksista aiheutuvia säteilyannoksia tulee säännöllisesti mitata tai arvioida laskennallisesti
- isotooppitutkimuksissa potilaalle annettava aktiivisuus tulee mitata aktiivisuusmittarilla.

Asetuksen 31 §:ssä säädetään, että käyttöön otettavassa uudessa röntgentutkimuslaitteessa

tulee tarvittaessa olla potilaan säteilyaltistusta osoittava näyttö tai vastaava laite.

Sädehoitolaitteiden laadunvarmistusohjelmaan tulee kaikissa tapauksissa sisältyä toiminnan harjoittajan suorittama annoskalibrointi (ks. ohje ST 2.1).

3.4.1 Mittareita koskevat vaatimukset

Potilaan säteilyaltistuksen määrittämiseen käytettävän mittarin on sovelluttava

- röntgentutkimuksissa potilaan säteilyaltistusta kuvaavan suureen määrittämiseen kyseisen röntgenkuvaus- tai läpivalaisulaitteen tuottaman röntgensäteilyn energia-alueella
- ulkoisessa sädehoidossa hoitolaitteen tuottaman veteen absorboituneen annoksen mittaukseen käytetyllä säteilylajilla ja säteilyn energia-alueella
- tykösädehoidossa fotonilähteen tuottaman vertailuilmaakermanopeuden ja beetalähteen tuottaman veteen absorboituneen annoksen vertailuannosnopeuden mittaukseen
- isotooppitutkimuksissa ja -hoidoissa potilaalle annettavan radiolääkkeen aktiivisuuden mittaukseen.

Jos röntgentutkimuslaitteessa on laskennallinen potilaan säteilyaltistuksen näyttö, siihen sovelletaan samoja vaatimuksia kuin vastaavaan mittariin.

Mittarin toiminta ei saa häiriintyä ulkoisten tekijöiden, kuten sähkö- ja magneettikenttien tai muun kuin mittauksen kohteena olevan säteilylajin vaikutuksesta enempää kuin vaaditun mitaustarkkuuden perusteella on hyväksyttävää (ks. luku 2). Erityisesti sädehoidossa asetetun tarkkuusvaatimuksen saavuttaminen edellyttää useiden korjaustekijöiden käyttöä, jotta mittaus tulokseen vaikuttavien muiden suureiden vaikutus voidaan ottaa huomioon.

Potilaan säteilyaltistuksen määrittämistä terveydenhuollon röntgentutkimuksissa on käsitelty Säteilyturvakeskuksen julkaisemassa oppaassa [11]. Ulkoisessa sädehoidossa käytettävien sädehoitolaitteiden annosmittauksia on käsitelty Säteilyturvakeskuksen julkaisemassa raportissa [12].

3.4.2 Mittarien hyväksyminen

Säteilyturvakeskus hyväksyy potilaan säteilyaltistuksen määrittämistä koskevan käytännön ja käytettävät säteilymittarit turvallisuusrupaa myönnettäessä tai toimintaa tarkastettaessa. Hyväksyttävyyttä arvioidaan mittarin tyyppitarkastustietojen, testaustietojen ja mittarin ominaisuuksia osoittavien muiden luotettavien tietojen perusteella. Tarvittaessa tehdään vertailumittauksia.

4 Säteilymittausten laadunvarmistus

4.1 Asiantuntijoiden käyttö mittauksissa

Tässä ohjeessa esitetyillä säteilymittauksilla varmistetaan säteilytyötä tekevien työntekijöiden, väestön tai potilaiden säteilyturvallisuus. Näistä mittauksista vastuussa olevilla henkilöillä tulee olla käytetyn mittausmenetelmän ja mittarien hyvä tuntemus sekä asiantuntemus mittausten suorittamiseen. Mittausmenetelmän ja mittarien soveltuvuuden arvioinnissa ja mittausten luotettavuuden varmistamisessa voidaan tarvittaessa käyttää apuna säteilyasiantuntijaa (ks. ohje ST 1.4). Terveydenhuollon säteilymittauksissa edellytetään, että lääketieteellisen fyisiikan asiantuntija on varmistanut käytettävien menetelmien ja säteilymittarien soveltuvuuden (ks. ohje ST 1.4).

4.2 Säteilymittarien kalibrointi

Säteilymittarin kalibroinnilla tarkoitetaan toimenpidettä, jossa tunnetuilla säteilylaaduilla (säteilylajeilla ja -energioilla) määritetään mittarin näyttämän ja mitattavan säteilysuureen todellisen arvon välinen yhteys. Suureen todellinen arvo määritetään mittanormaalilla, joka on tarkka ja luotettava säteilymittari tai säteilylähde. Kalibroinnin tuloksena ilmoitetaan yleensä kalibrointikerroin, joka on suureen todellisen arvon ja mittarin näyttämän suhde. Mittaria käytettäessä tulee mittarin näyttämä kertoa mitattavaa säteilylaatua vastaavalla ka-

librointikertoimella lopullisen mittaustuloksen saamiseksi, ellei uutta kalibrointikerrointa voida asettaa mittariin.

Säteilymittarit on kalibroitava niille säteilysuureille ja säteilylaaduille, joita mittareilla mitataan. Säteilysuureen, kuten annosnopeuden, vaihtelun vaikutus säteilymittarin vasteeseen on joko tunnettava säteilymittarin tyyppiominaisuuksien perusteella tai suureen vaihtelu on huomioitava kalibroinnissa.

Säteilymittari on kalibroitava siten, että kalibroinnin jäljitettävyyttä kansainväliseen mittausjärjestelmään voidaan osoittaa. Jäljitettävyydellä tarkoitetaan mittarin mittaustuloksen yhteyttä mittanormaaleihin sellaisen katkeamattoman vertailuketjun välityksellä, jossa epävarmuudet on ilmoitettu kaikille vertailuille. Säteilyn käyttösovellutuksen mukaan säteilymittarit kalibroidaan joko mittanormaali- tai kalibrointilaboratoriossa tai säteilyn käyttöpäikällä. Sädehoidossa hoitolaitteen annoskalibrointiin (ks. ohje ST 2.1) käytettävä annosmittari on kalibroitava kansainvälisen ekvivalenssisopimuksen^{*)} piiriin kuuluvassa kansallisessa mittanormaalilaboratoriossa tai akkreditoidussa kalibrointilaboratoriossa. Myös työntekijöiden henkilökohtaisten annosten mittausjärjestelmän kalibrointisäteilytykset on tehtävä kansainvälisen ekvivalenssisopimuksen piiriin kuuluvassa kansallisessa mittanormaalilaboratoriossa tai akkreditoidussa kalibrointilaboratoriossa.

Työolojen tarkkailuun käytettävät säteilymittarit on kalibroitava ennen mittarien käyttöönottoa ja sen jälkeen mittarin käytön aikana vähintään joka viides vuosi, ellei Säteilyturvakeskus mittausmenetelmää tai toimintaa hyväksyessään tai muutoin ole toisin määrännyt. Valmistajan suorittama ensikalibrointi on usein riittävä tällaisen säteilymittarin käyttöönottoa varten, jos edellä mainittu kalibroinnin jäljitettävyyttä mittanormaaleihin on varmistettu. Kohdassa 2.2 esitetyt tarkkuusvaatimukset täyttävälle ulkoisen fotonisäteilyn annos- ja annosnopeusmittarille riittää kalibrointi yhdellä säteilylaadulla.

^{*)} Ekvivalenssisopimuksella (Mutual Recognition Arrangement, MRA) tarkoitetaan sopimusta, jonka perusteella sen piirissä olevat kansalliset mittanormaalilaboratoriot tunnustavat toistensa antamat mittaus- ja kalibrointitodistukset tasavertaisiksi.

Hengitysilmän radonpitoisuuden integroiva mittausjärjestelmä on kalibroitava vähintään kerran vuodessa. Kalibroinnin on perustuttava vähintään 20 mittalaitteen altistamiseen. Työpaikkojen hengitysilmän radonpitoisuuden tarkistuksiin hyväksytty jatkuvasti rekisteröivä mittari on kalibroitava uudelleen vähintään joka toinen vuosi.

Työntekijän henkilökohtaisten annosten mittaamiseen käytettävä mittausjärjestelmä on kalibroitava ennen sen käyttöönottoa ja sen jälkeen määräajoin siten kuin Säteilyturvakeskus annosmittausjärjestelmän hyväksymisen yhteydessä on määrännyt (ks. kohta 3.3.2).

Potilaan säteilyaltistuksen määrittämiseen röntgendiagnostiikassa käytettävät mittarit (mukaan lukien laskennalliset näytöt) on kalibroitava ennen mittarien (tai laskennallisten näyttöjen) käyttöönottoa ja sen jälkeen vähintään joka viides vuosi, ellei Säteilyturvakeskus mittausmenetelmää tai toimintaa hyväksyessään tai muutoin ole toisin määrännyt. Ulkoisessa sädehoidossa sädehoitolaitteiden annoskalibrointiin käytettävät mittarit ja tykösädehoidossa säteilylähteiden kalibrointiin käytettävät mittarit tai säteilylähteet on kalibroitava vähintään joka kolmas vuosi. Isotooppilääketieteessä on käytettävä kalibroituja aktiivisuusmittaria. Valmistajan suorittama ensikalibrointi on riittävä, jos kalibroinnin jäljitettävyyden mittanormaaleihin on varmistettu.

4.3 Säteilymittarien toimintakunnon tarkistaminen

Kalibrointiin välillä säteilymittarin toimintakunto on tarkistettava säännöllisin välein. Tähän kuuluvat mittarin yleiskunnon tarkistus ja sopivaa säteilylähdettä käyttäen tehtävä toimintakoe. Annosmittausjärjestelmän (kohta 3.3.2) toimintakuntoa ja sädehoidossa hoitolaitteiden annoskalibrointiin ja muihin laadunvarmistusmittauksiin käytettävän mittauslaitteiston toimintakuntoa on seurattava kirjallisen laadunvalvontaohjelman mukaisesti (ks. ohje ST 2.1).

Mittarin yleiskunnon tarkistus on tehtävä ennen mittarin jokaista käyttöä. Yleiskunnon tarkistuksessa on todettava ainakin, ettei mittari ole silmin nähden vahingoittunut ja että mitta-

rin säätönappit tai painikkeet toimivat normaalisti, taustasäteilyn näyttämä on normaali ja mahdollinen kuivauspatruuna ja paristokäyttöisten mittarien paristot ovat toimintakuntoiset. Mittarin yleiskunnon tarkistuksessa on huomioitava myös kaapeleiden taittumat, eristeiden kulumat ja liittimien puhtaus, jos mittarissa on erillinen, kaapelilla tai liittimellä elektroniikkaosaan liitettävä ilmaisinosi, esimerkiksi elektrometri ja ionisaatiokammio.

Mittarin toimintakokeella tarkoitetaan mittarin koekäyttöä tunnetuissa ja toistettavissa säteilyolosuhteissa. Toimintakoe voidaan tehdä käyttäen hyväksi työpaikalla normaalitoiminnassa esiintyvää säteilyä, esimerkiksi säteilylähteiden vuotosäteilyä. Joihinkin mittareihin kuuluu erillinen tarkistuslähde. Toimintakokeessa saatuja mittaustuloksia on verrattava aikaisempien vastaavien mittausten perusteella tunnettuihin säteilyarvoihin tai tarkistuslähteelle mitattuun vertailuarvoon. Jos poikkeama tunnetuista säteilyarvoista tai vertailuarvosta on suurempi kuin toimintakokeeseen ja vertailuarvoihin liittyvä mittauserävarmuus, on mittarin toimintakunto varmistettava tarkemmilla tutkimuksilla ja tarvittaessa mittari on kalibroitava uudelleen. Toimintakoe on tehtävä säännöllisin väliajoin (sitä useammin, mitä useammin mittaria käytetään) ja aina, kun mittarin yleiskunnon tarkistuksen perusteella tai muuten epäillään muutoksia mittarin toimintakunnossa.

Mittarien toimintakunnon tarkkailua on käsitelty myös STUKin ohjeessa VAL 4, joka koskee pelastustoiminnassa ja väestönsuojelussa käytettäviä säteilymittareita.

Kirjallisuutta

- 1 ISO/IEC Guide 98-3:2008. Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995). Geneva: International Organization for Standardization.
- 2 International Commission on Radiation Units and Measurements. Measurements of dose equivalents from external photon and electron radiation. ICRU Report 47. Bethesda, MD: ICRU; 1992.

- 3 SFS-EN 60846:2014. Radiation protection instrumentation. Ambient and/or directional dose equivalent (rate) meters and/or monitors for beta, X and gamma radiation. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- 4 IEC 61577-2:2014. Radiation protection instrumentation - Radon and radon decay product measuring instruments - Part 2: Specific requirements for ^{222}Rn and ^{220}Rn measuring instruments. Geneva: International Electrotechnical Commission.
- 5 Christensen P, Julius HW, Marshall TO. Technical recommendations for monitoring individuals occupationally exposed to external radiation. Radiation Protection 73. EUR 14852 EN. European Commission; 1994.
- 6 International Commission on Radiological Protection. General principles for the radiation protection of workers. ICRP Publication 75. Annals of the ICRP 1997; 27 (1).
- 7 Wagner LK, Fontenia DP, Kimme-Smith C, Rothenberg N, Shepard J, Boone JM. Recommendations on performance characteristics of diagnostic exposure meters: Report of AAPM Diagnostic X-Ray Imaging Task Group No. 6. Medical Physics 1992; 19: 231–241.
- 8 SFS-EN 60731:2012. Medical electrical equipment. – Dosimeters with ionization chambers as used in radiotherapy. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- 9 IEC 61145:1992. Calibration and usage of ionization chamber systems for assay of radionuclides. Geneva: International Electrotechnical Commission.
- 10 SFS-EN ISO/IEC 17025:2005. Testaus- ja kalibrointilaboratorioiden pätevyys. Yleiset vaatimukset. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- 11 Röntgentutkimuksista potilaalle aiheutuvan säteilyaltistuksen määrittäminen. STUK tiedottaa 1/2004. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2004.
- 12 Kosunen A, Sipilä P, Parkkinen R, Jokelainen I, Järvinen H. Säteihoidon annosmittaukset. Ulkoisen säteihoidon suurenergisten fotonija elektronisäteilykeilojen kalibrointi. STUK-STO-TR 1. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2005.
- 13 International Commission on Radiological Protection. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Annals of the ICRP 1991; 21 (1-3).
- 14 International Commission on Radiological Protection. Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation. ICRP Publication 74. Annals of the ICRP 1996; 26 (3-4).
- 15 International Commission on Radiation Units and Measurements. Patient dosimetry for X rays used in medical imaging. ICRU Report 74. Journal of the ICRU 2006; 5 (2).
- 16 ANSI N42.32:2006. American national standard performance criteria for alarming personal radiation detectors for homeland security. Washington D.C.: American National Standards Institute.
- 17 SFS-EN 60325:2004. Radiation protection instrumentation. Alpha, beta and alpha/beta (beta energy > 60 keV) contamination meters and monitors. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- 18 ISO 12794:2000. Individual thermoluminescence dosimeters for extremities and eyes. Geneva: International Organization for Standardization.
- 19 ISO 21909-1:2015. Passive neutron dosimetry systems – Part 1: Performance and test requirements for personal dosimetry. Geneva: International Organization for Standardization.
- 20 IEC 62387: 2012. Radiation protection instrumentation – Passive integrating dosimetry systems for personal and environmental monitoring of photon and beta radiation. Geneva: International Electrotechnical Commission.
- 21 IEC 61526:2010. Radiation protection instrumentation – Measurement of personal dose equivalents $H_p(10)$ and $H_p(0,07)$ for X, gamma, neutron and beta radiations - Direct reading personal dose equivalent meters. Geneva: International Electrotechnical Commission.
- 22 IEC 60601-2-44:2009 + AMD1:2012 + AMD2: 2016. Medical electrical equipment – Part 2-44: Particular requirements for the basic safety and essential performance of X-ray equipment for computed tomography. Geneva: International Electrotechnical Commission.

- 23 International Commission on Radiation Units and Measurements. Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry. ICRU Report 51. Bethesda, MD: ICRU; 1993.
- 24 European Commission (EC). Technical recommendations for monitoring individuals occupationally exposed to external radiation. Radiation Protection No 160. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2011.
- 25 Toroi P, Järvinen H, Könönen N, Parviainen T, Pirinen M, Tapiovaara M, Tenkanen-Rautakoski P. Potilaan säteilyaltistuksen määrittäminen mammografiassa. STUK-TR 11. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2011.
- 26 International Commission on Radiation Units and Measurements. Measurement and reporting of radon exposures. ICRU report 88. Journal of the ICRU 2012; 12 (2).

LIITE A

Säteilymittauksiin tarvittavat suureet ja yksiköt

Tässä liitteessä esitetään säteilytoimintaan liittyvissä säteilymittauksissa tarvittavat suureet sekä niiden määrittelyssä tarvittavat käsitteet ja suureiden yksiköt. Lisäksi esitetään suureiden määrittelyssä tarpeelliset dosimetriset perussuureet. Laitteiden teknisessä laadunvalvonnassa tarvittavia suureita ei käsitellä. Säteilystäytöksen enimmäisarvojen soveltamisessa ja laskennassa tarvittavat säteilysuojelusuureet esitetään ohjeessa ST 7.2.

Tässä ohjeessa käsitellään vain ionisoivan säteilyn mittausta. Ionisoiva säteily määritellään seuraavasti:

Ionisoiva säteily

Ionisoiva säteily on hiukkasina tai sähkömagneettisina aaltoina enintään 100 nm:n aallonpituudella tai vähintään $3 \cdot 10^{15}$ Hz:n taajuudella tapahtuva energian siirto, joka pystyy tuottamaan ioneja suoraan tai välillisesti.

A.1 Työntekijöiden ja väestön säteilysuojelu

A.1.1 Yleistä

Säteilytoimintaa koskevat työntekijöiden ja väestön säteilyaltistuksen enimmäisarvot (annosrajat) on säteilyasetuksessa annettu ekvivalenttiannoksen ja efektiivisen annoksen (säteilynsuojelusuureet) avulla. Nämä suureet, samoin kuin sisäisestä säteilyaltistuksesta aiheutuvan säteilyannoksen arvioinnissa tarvittavat ekvivalenttiannoksen kertymä ja efektiivisen annoksen kertymä ovat laskennallisia suureita, joita ei voida suoraan mitata. Tämän vuoksi säteilyaltistuksen seurannassa tarvitaan avuksi mitattavia suureita, jotka antavat kyseisille suureille riittävän tarkkoja likiarvoja tai joiden perusteella likiarvot voidaan laskea [2, 13,14].

A.1.2 Perussuureet

Hiukkaskertymä

Hiukkaskertymä Φ on pallon muotoiseen alueeseen osuvien hiukkasten lukumäärä dN jaettuna pallon isoympyrän pinta-alalla da :

$$\Phi = \frac{dN}{da} . \quad (\text{A1})$$

Hiukkaskertymän yksikkö on m^{-2} .

Absorboitunut annos

Absorboitunut annos D on ionisoivasta säteilystä aineen massa-alkioon siirtynyt keskimääräinen energia $d\bar{\epsilon}$ jaettuna alkion massalla dm :

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm} . \quad (\text{A2})$$

Absorboituneen annoksen yksikkö on gray (Gy). $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Annosekvivalentti

Annosekvivalentti H on absorboituneen annoksen D ja laatukertoimen Q tulo:

$$H = Q \cdot D . \quad (\text{A3})$$

Annosekvivalentin yksikkö on sievert (Sv). $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Keskimääräinen absorboitunut annos

Kudoksen tai elimen T keskimääräinen absorboitunut annos D_T on ionisoivasta säteilystä kudokseen tai elimeen siirtynyt kokonaisenergia ϵ_T jaettuna kudoksen tai elimen massalla m_T :

$$D_T = \frac{\epsilon_T}{m_T} . \quad (\text{A4})$$

Keskimääräisen absorboituneen annoksen yksikkö on gray (Gy). $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Laatukerroin*

Laatukerroin Q on säteilyn energiansiirtokyvystä L riippuva tekijä, jolla pyritään ottamaan huomioon eri säteilylaatujen erilainen kyky aiheuttaa terveydellisiä (erityisesti satunnaisia) haittavaikutuksia.

Q :n ja L :n välinen riippuvuus saadaan taulukosta A1.

Taulukko A1. Laatukertoimen Q riippuvuus energiansiirtokyvystä L [13].

Energiansiirtokky L vedessä (keV·μm ⁻¹)	Laatukerroin $Q(L)$
< 10	1
10–100	0,32 $L^{-2,2}$
> 100	300 / \sqrt{L}

Laatukerointa käytetään annosekvivalentin määritelmässä (ks. kaava A3).

Keskimääräinen laatukerroin

Keskimääräinen laatukerroin \bar{Q} kudoksen pisteessä, jossa absorboitunut annos aiheutuu energiansiirtokyvyltään erilaisista hiukkasista. Se voidaan laskea keskiarvona

$$\bar{Q} = \frac{\int_0^{\infty} Q(L) \cdot D_L dL}{\int_0^{\infty} D_L dL}, \quad (\text{A5})$$

missä

$D_L = dD(L)/dL$ on absorboituneen annoksen D jakauma energiansiirtokyvyn L suhteen,

$Q(L)$ on laatukerroin, joka vastaa energiansiirtokkyä L ja

$\int_0^{\infty} D_L dL = D$ on absorboitunut annos tarkastelupisteessä.

Rajaton energiansiirtokky

Rajaton energiansiirtokky L_{∞} on energialtaan E olevan varauksisen hiukkasen väliaineeseen luovuttama keskimääräinen energia dE jaettuna hiukkasen väliaineessa kulkemalla matkalla dl :

$$L_{\infty} = \frac{dE}{dl}. \quad (\text{A6})$$

*) Laatukertoimesta käytetään myös nimitystä laatutekijä.

Rajattoman energiansiirtokyvyn yksikkö on $\text{J}\cdot\text{m}^{-1}$. Yleisesti käytetään yksikköä $\text{keV}\cdot\mu\text{m}^{-1}$.

$$1 \text{ J}\cdot\text{m}^{-1} \approx 6,24 \cdot 10^9 \text{ keV}\cdot\mu\text{m}^{-1}.$$

Tässä liitteessä suuretta L_{∞} nimitetään energiansiirtokkyvyksi ja sille käytetään merkintää L .

Aktiivisuus

Radionuklidin aktiivisuus A on tarkasteltavassa nuklidimäärässä N aikavälillä dt tapahtuvien spontaanien ydinmuutosten lukumäärä dN jaettuna tällä aikavälillä:

$$A = \frac{dN}{dt}. \quad (\text{A7})$$

Aktiivisuuden yksikkö on becquerel (Bq). $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$.

A.1.3 Mitattavat suureet**A.1.3.1 Työolojen tarkkailu****Käsitteitä****ICRU-pallo**

ICRU-pallo on Kansainvälisen säteily-yksiköiden ja -mittausten toimikunnan (International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU) määrittelemä kappale, joka ionisoivan säteilyn energian absorboitumisen suhteen vastaa likimain ihmiskehoa [2]. Se on halkaisijaltaan 30 cm:n suuruinen kudosekvivalentista materiaalista tehty pallo, jonka tiheys on $1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ja jonka koostumuksesta 76,2 % on happea, 11,1 % hiiltä, 10,1 % vetyä ja 2,6 % typpeä.

Laaja kenttä

Laaja kenttä on säteilykenttä, jossa hiukkaskertymä ja sen suunta- ja energiajakauma ovat koko tarkasteltavassa tilavuudessa samat kuin todellisessa kentässä olevassa vertailupisteessä.

Suunnattu laaja kenttä)**

Suunnattu laaja kenttä on säteilykenttä, jossa hiukkaskertymä ja sen energiajakauma ovat samat kuin laajassa kentässä mutta kaikki hiukset tulevat samasta suunnasta.

**) Suunnatusta laajasta kentästä käytetään myös nimityksiä suuntainen laaja kenttä ja laaja, suunnattu kenttä.

Laaja kenttä ja suunnattu laaja kenttä ovat kuvitteellisia säteilykenttiä, jotka on johdettu todellisista säteilykentistä vapaan annosekvivalentin ja suunnatun annosekvivalentin määrittämistä varten.

Suureet

Vapaa annosekvivalentti

Vapaa annosekvivalentti $H^*(d)$ säteilykentän pisteessä on annosekvivalentti, jonka aiheuttaisi vastaava suunnattu laaja kenttä ICRU-pallossa syvyydellä d kentän suuntaisella säteellä säteilyn tulosuunnan puolella.

Suunnattu annosekvivalentti^{*)}

Suunnattu annosekvivalentti $H^*(d, \Omega)$ säteilykentän pisteessä on annosekvivalentti, jonka aiheuttaisi vastaava laaja kenttä ICRU-pallon säteellä syvyydellä d tietyssä suunnassa Ω .

Vapaan ja suunnatun annosekvivalentin yksikkö on sievert (Sv).

Vapaa ja suunnattu annosekvivalentti määritetään kovalla säteilyllä yleensä 10 mm:n syvyydellä ja pehmeällä säteilyllä 0,07 mm:n syvyydellä iholle ja 3 mm:n syvyydellä silmälle. Syvyys mitataan pallon pinnasta sisäänpäin.

Aktiivisuuspitoisuus

Aktiivisuuspitoisuus c on tarkasteltavassa tilavuudessa tai ainemäärässä olevan radioaktiivisen aineen aktiivisuus A jaettuna tällä tilavuudella V tai tämän ainemäärän massalla m :

$$c = \frac{A}{V} \text{ tai } c = \frac{A}{m} . \quad (\text{A8})$$

Aktiivisuuspitoisuuden yksikkö on $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ tai $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Useimmiten aktiivisuuspitoisuutta käytetään mitattaessa ilmassa olevia radioaktiivisia aineita. Hengitysilman radonin aktiivisuuspitoisuutta kutsutaan lyhyesti *radonpitoisuudeksi*.

Tilavuudella jakamalla saatavaa suuretta voi-

daan kutsua myös tilavuusaktiivisuudeksi ja massalla jakamalla saatavaa suuretta massaaktiivisuudeksi.

Aktiivisuuskate

Aktiivisuuskate A_s on tietyllä pinnalla, tarkasteltavalla alueella olevan radioaktiivisen aineen aktiivisuus A jaettuna tämän alueen pinta-alalla S :

$$A_s = \frac{A}{S} . \quad (\text{A9})$$

Aktiivisuuskatteen yksikkö on $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$.

Aktiivisuuskatetta voidaan kutsua myös pintaaktiivisuudeksi.

A.1.3.2 Työntekijöiden annostarkkailu

Henkilöannosekvivalentti

Henkilöannosekvivalentti $H_p(d)$ on annosekvivalentti syvyydellä d olevassa pisteessä kehon pehmytkudoksessa.

Henkilöannosekvivalentin yksikkö on sievert (Sv).

Henkilöannosekvivalentti määritetään kovalla säteilyllä yleensä 10 mm:n syvyydellä, pehmeällä säteilyllä 0,07 mm:n syvyydellä iholle ja 3 mm:n syvyydellä silmälle.

Henkilöannosekvivalenttia $H_p(10)$ nimitetään usein *syväannokseksi* ja henkilöannosekvivalenttia $H_p(0,07)$ *pinta-annokseksi*. Yleisemmin pintaannos tarkoittaa mitä tahansa säteilyannosta kehon tai muun kappaleen pinnalla ja syväannos säteilyannosta tietyllä syvyydellä kudoksessa tai muussa aineessa (ks. esim. kohta A.2.1).

Syväannos on usein hyvä efektiivisen annoksen likiarvo silloin, kun ei käytetä henkilökohtaisia säteilysuojaimia. Jos taas keho on pääosin suojattu ja syväannos mitataan säteilysuojaimen päältä, on efektiivinen annos huomattavasti pienempi kuin syväannos, ja se on tapauskohtaisesti laskettava mitatusta syväannoksesta.

^{*)} Suunnatusta annosekvivalentista käytetään myös nimitystä suuntainen annosekvivalentti.

Pinta-annos on ihon paikallisen ekvivalenttiannoksen likiarvo ja henkilöannosekvivalentti $H_p(3)$ silmän mykiön ekvivalenttiannoksen likiarvo.

Saanti^{*)}

Saanti on kehoon joutuneen radioaktiivisen aineen aktiivisuus.

Saannin yksikkö on becquerel (Bq).

Ohjeessa ST 7.3 on esitetty sisäisestä säteilystä aiheutuvan efektiivisen annoksen kertymän laskeminen saannin perusteella annosmuuntokerroimia käyttäen.

A.2 Potilaan säteilysuojelu

A.2.1 Röntgendiagnostiikka

Ilmakerma

Ilmakerma (K_a) on varauksettomien ionisoivien hiukkasten ilma-alkiossa tuottamien varauksisten hiukkasten syntyhetken liike-energioiden summa jaettuna ilma-alkion massalla.

Ilmakerman yksikkö on gray (Gy).

Ilmakermanopeus on ilmakerman kasvu lyhyellä aikavälillä jaettuna tällä aikavälillä.

Pinta-annos

Pinta-annos (ESD) on ilmaan absorboitunut annos säteilykeilan keskiakselin ja potilaan pinnan leikkauspisteessä sisältäen myös potilaasta tähän pisteeseen siroavan säteilyn.

Pinta-annoksen yksikkö on gray (Gy).

Kirjallisuudessa esiintyy samalla nimellä myös toinen suure, joka tarkoittaa ihokudokseen absorboitunutta annosta edellä mainitussa pisteessä. Käytännössä näitä suureita voidaan pitää lukuarvoiltaan yhtä suurina (muuntokerroin $1,0 \pm 0,05$) röntgenkuvauksissa.

Annoksen ja pinta-alan tulo

Annoksen ja pinta-alan tulo (DAP) määritellään integraalina

$$DAP = \int_{A_M} D(x, y) dx dy, \quad (A10)$$

missä $D(x, y)$ on ilmaan absorboitunut annos säteilykeilan akselia vastaan kohtisuorassa tasossa. Integroimisalue A_M tarkoittaa käytännössä DAP-mittarin pinta-alaa, jonka pitää olla selvästi suurempi kuin säteilykeilan geometrinen poikkileikkaus mittarin kohdalla.

Annoksen ja pinta-alan tulon yksikkö on $Gy \cdot m^2$ (yleisimmin $Gy \cdot cm^2$).

Jos säteilykenttä on tasainen ja tarkkareunainen, DAP on likimäärin yhtä suuri kuin $D \cdot A$, missä D on ilmaan absorboitunut annos alueen keskellä ja A on säteilykeilan poikkileikkauksen pinta-ala tässä tasossa. Jos yhtälössä (A10) käytetään ilmaan absorboituneen annoksen sijasta ilmakermaa $K_a(x, y)$, saadaan *kerman ja pinta-alan tulo* (KAP eli P_{KA}). Käytännön kannalta näillä suureilla ei ole mitään eroa röntgendiagnostiikassa.

Annoksen ja pituuden tulo

Annoksen ja pituuden tulo (DLP) määritellään integraalina^{**)}

$$DLP = \int_{-\infty}^{\infty} D(z) dz, \quad (A11)$$

missä $D(z)$ on tutkimuksen aiheuttama ilmaan absorboitunut annos paikan z funktiona (annosprofiili) röntgenputken pyörähdysakselin suuntaisella suoralla. Tarkasteltava tutkimus voi olla yksittäinen aksiaalikuvaus, röntgenputken yksi kierros helikaalikuvauksessa tai kokonainen pitemmän alueen kuvaus. Yksittäisen aksiaalikuvaus tai yhden kierroksen annosprofiilille käytetään seuraavissa kappaleissa merkintää $D_1(z)$ ja sitä vastaavalle annoksen ja pituuden tulolle merkintää DLP_1 .

Annoksen ja pituuden tulon yksikkö on $Gy \cdot m$ (yleisimmin $mGy \cdot cm$).

^{*)} Saannille on aikaisemmin käytetty nimitystä saanto.

^{**)} Käytännön mittauksissa integrointirajat ovat äärelliset.

Annos $D(z)$ mitataan ilmaan absorboituneena annoksena IEC:n standardin [22] mukaisessa akryylimuovisessa (polymetyyli-metakrylaatti, PMMA) fantomissa [11].

Jos tutkimus koostuu N :stä yksittäisestä aksiaalikuvauksesta tai röntgenputken N :stä kierroksesta, koko tutkimuksen annoksen ja pituuden tulo DLP voidaan laskea myös yksittäisen aksiaalikuvausten tai röntgenputken yhden kierroksen annosprofiilin $D_1(z)$ perusteella:

$$DLP = N \cdot \int D_1(z) dz = N \cdot DLP_1. \quad (A12)$$

Painotettu annoksen ja pituuden tulo

Painotettu annoksen ja pituuden tulo (DLP_w) määritellään seuraavasti:

$$DLP_w = \frac{1}{3} \cdot DLP_c + \frac{2}{3} \cdot DLP_p, \quad (A13)$$

missä DLP_c on IEC:n standardin [22] mukaisen akryylimuovisen fantomin keskellä määritetty annoksen ja pituuden tulo ja DLP_p on kyseisen fantomin pinnalla (10 mm:n syvyydellä, eri suunnissa olevien kohtien keskiarvona) määritetty annoksen ja pituuden tulo [11].

TT-annoksen tilavuuskeskiarvo

Useista yksittäisistä aksiaalikuvauksista tai helikaalikuvauksessa useista röntgenputken kierroksista koostuvassa tietokonetomografiatutkimuksessa (TT-tutkimuksessa) keskimääräinen absorboitunut annos ($CTDI_{vol}$) määritellään yleisesti seuraavalla tavalla:

$$CTDI_{vol} = \frac{1}{d} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} D(z) dz = \frac{1}{d} \cdot DLP \quad (A14)$$

missä $D(z)$ on koko tutkimuksen aiheuttama annosprofiili röntgenputken pyörähdysakselin (z) suunnassa tutkitulla alueella, tarkasteltavalla etäisyydellä pyörähdysakselista, ja d on tutkitun alueen pituus pyörähdysakselin suunnassa.

TT-annoksen tilavuuskeskiarvon yksikkö on Gy (yleisimmin mGy).

$CTDI_{vol}$ voidaan laskea myös yksittäisen aksiaalikuvausten tai helikaalikuvauksessa röntgenputken yhden kierroksen aikana mitatusta annosprofiilista $D_1(z)$ ja sitä vastaavasta pöydän siirrosta Δd seuraavasti*):

$$CTDI_{vol} = \frac{1}{\Delta d} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} D_1(z) dz. \quad (A15)$$

Kun annoksilla $D(z)$ ja $D_1(z)$ tarkoitetaan ilmaan absorboitunutta annosta standardifantomissa, voidaan painotetun annoksen ja pituuden tulon kanssa analogisesti määritellä ja mitata standardifantomissa painotettu keskimääräinen absorboitunut annos $CTDI_{vol}$. Tätä nimitetään *TT-annoksen tilavuuskeskiarvoksi* [11]**).

Kaavojen (A13) ja (A14) perusteella:

$$CTDI_{vol} = \frac{1}{d} \cdot DLP_w. \quad (A16)$$

Keskimääräinen rauhaskudosannos

Keskimääräinen rauhaskudosannos (MGD) kuvaa rinnan rauhaskudoksen annosta. Rauhaskudosannoksen määrittäminen perustuu potilaaseen kohdistuvan säteilyn ilmakerman K_i mittaukseen, säteilyn puoliintumispaksuuden (HVL) arvoon sekä rinnan paksuuteen ja rauhaskudospitoisuuteen. Rauhaskudosannoksen ja HVL:n mittausta on käsitelty esimerkiksi STUKin julkaisemassa raportissa (Toroi ym. 2011 [25]). MGD lasketaan kaavasta:

$$MGD = K_i \cdot g \cdot s \cdot c, \quad (A17)$$

missä g on rauhaskudosannoksen konversiokerroin, joka ottaa huomioon säteilylaadun (HVL-arvon) ja rinnan paksuuden, s -kerroin ottaa huomioon käytetyn anodimateriaalin ja suodatuksen, ja c -kerroin ottaa huomioon rinnan rauhaskudospitoisuuden.

Keskimääräisen rauhaskudosannoksen yksikkö on Gy (yleisimmin mGy).

*) Standardin IEC 60601-2-44 mukaan integrointirajat käytännön mittauksissa ovat ± 50 mm.

**) TT-annoksen tilavuuskeskiarvolle ($CTDI_{vol}$) käytettiin aiemmin merkintää MSADw.

A.2.2 Sädehoito

Veteen absorboitunut annos

Veteen absorboitunut annos (D_w) on ionisoivasta säteilystä vesialkioon siirtynyt keskimääräinen energia jaettuna vesialkion massalla.

Veteen absorboituneen annoksen yksikkö on gray (Gy).

Absorptioannosnopeus (veteen) on (veteen) absorboituneen annoksen kasvu lyhyellä aikavälillä jaettuna tällä aikavälillä. Veteen absorboituneen annoksen *vertailuannosnopeus* tarkoittaa absorptioannosnopeutta vedessä olevassa vertailupisteessä [12].

Ilmakerma

Ilmakerma (K_a) on varauksettomien ionisoivien hiukkasten ilma-alkiossa tuottamien varauksis-

ten hiukkasten syntyhetken liike-energioiden summa jaettuna ilma-alkion massalla.

Ilmakerman yksikkö on gray (Gy).

Ilmakermanopeus on ilmakerman kasvu lyhyellä aikavälillä jaettuna tällä aikavälillä. *Vertailuilmakermanopeus* on ilmakermanopeus yhden metrin etäisyydellä tykösädehoidon säteilylähteestä (ks. ohje ST 2.1).

A.2.3 Isotooppilääketiede

Isotooppilääketieteessä kudokseen absorboituneen annoksen laskennassa tarvitaan lähtötietona potilaalle annetun radioaktiivisen lääkevalmisteen *aktiivisuus* (ks. kohta A.1.2).

LIITE B

Yhteenveto säteilymittausten tarkkuusvaatimuksista *)

Mittauksen tarkoitus tai kohde	Mittattava suure	Tarkkuusvaatimukset	
		Mittausepävarmuus enintään	Muut vaatimukset
Työolojen tarkkailu ja väestön säteilyturvallisuus	vapaa annosekvivalenssi	60 % (suositeltu enimmäisarvo)	Suhteellinen vaste välillä 0,71 (-29 %) - 1,67 (+67 %) fotonisäteilyn energia-alueella 20 keV - 150 keV tai 80 keV - 1,5 MeV (riittää toisella näistä)
	suunnattu annosekvivalenssi	60 % (suositeltu enimmäisarvo)	
	aktiivisuuskate	60 % (suositeltu enimmäisarvo)	
Työntekijöiden annostarkkailu	henkilöannosekvivalenssi	42 %	-33 % tai +50 % (poikkeama oikeasta arvosta, annos lähellä vuosiansrajaa)
Hengitysilman radon	radonpitoisuus	30 %	20 % (perusvirhe) 10 % (virhe, ympäristövaikutussuureet) 10 % (keskihajonta, toistomittaus)
Potilaan säteilyaltistuksen määrittäminen (röntgen diagnostiikka)	ESD, DAP, MGD, DLP, CTDI _{vol}	25 %	
Potilaan säteilyaltistuksen määrittäminen (sädehoito)	säteilytuotto (ilmakerma/sähkö-määrä)	7 %	
	ilmakermanopeus	20 % (laitteen vuoto- ja sirontasäteily)	
	veteen absorboitunut annos	3 % 4 % (elektronit) 5 % (potilaskohtainen in-vivo-mittaus)	
Potilaan säteilyaltistuksen määrittäminen (isotooppilääketiede)	vertailuilmakermanopeus	5 % (tykösädehoito)	
	vertailuannosnopeus	15 % (beetasäteily, tykösädehoito)	
	aktiivisuus		10 % (perusvirhe, aktiivisuus > 3,7 MBq) 5 % (poikkeama kymmenen mittauksen keskiarvosta) 5 % (epälineaarisuus)

*) Vaatimukset koskevat fotonisäteilyä, ellei erikseen ole toisin mainittu.