

## LIITE 1

## Säteilymittauksen luotettavuuden, mittareiden ja mittausjärjestelmien vaatimukset

**Taulukko 1.1.** Mittauksen tarkoitus, mittaussuureet, mittausten tarkkuusvaatimukset sekä säteilymittareille ja mittausjärjestelmille asetetut vaatimukset.

Mittauksen tarkoitus	Mittaussuure	Suurin sallittu mittauserpävarmuus (%) <sup>1)</sup>	Säteilymittarin <sup>2)</sup> tai mittausjärjestelmän vaatimukset
Altistusolosuhteiden tarkkailu. Annoksen tai annosnopeuden mittausta työtiloissa tai niiden ympäristössä <sup>3)</sup>	Vapaa annos-ekvivalentti Vapaa annos-ekvivalenttinopeus	60	Fotonisäteilyllä mittarin vaste <sup>4)</sup> ei saa olla pienempi kuin 0,71 eikä suurempi kuin 1,67 energia-alueella 20 keV–150 keV tai 80 keV–1,5 MeV  Hälyttävän henkilöannos-mittarin perusvirhe saa olla enintään 30 %
Altistusolosuhteiden tarkkailu. Annoksen tai annosnopeuden mittausta työtiloissa tai niiden ympäristössä <sup>3)</sup>	Suunnattu annos-ekvivalentti Suunnattu annos-ekvivalenttinopeus	60	Hälyttävän henkilöannos-mittarin perusvirhe saa olla enintään 30 %
Altistusolosuhteiden tarkkailu. Röntgendiagnostiikkalaitteen vuoto- ja sirontasäteily	Ilmakermanopeus	20	
Altistusolosuhteiden tarkkailu. Radioaktiivisen aineen kontaminaatio työtiloissa tai niiden ympäristössä	Aktiivisuuskate	60	
Henkilökohtainen annostarkkailu. Työntekijän annoksen määrityksessä käytettävä annosmittausjärjestelmä	Henkilöannos-ekvivalentti	42	Vasteen R <sup>4)</sup> suurin vaihteluväli  Fotonisäteilyllä $\bar{E}_{ph} > 10$ keV ja beetasäteilyllä $\bar{E}_{beta} > 0,2$ MeV  $0,71 \cdot \left[ 1 - \frac{2 \cdot H_0/1,33}{H_0/1,33 + H_{ref}} \right] \leq R$ 5)  $1,67 \cdot \left[ 1 + \frac{H_0}{4 \cdot H_0 + H_{ref}} \right] \geq R$  Neutronisäteilyllä sekä fotonisäteilyllä $\bar{E}_{ph} \leq 10$ keV ja beetasäteilyllä $\bar{E}_{beta} \leq 0,2$ MeV  $0,5 \cdot \left[ 1 - \frac{2 \cdot H_0/1,5}{H_0/1,5 + H_{ref}} \right] \leq R \leq 2$

Mittauksen tarkoitus	Mittaussuure	Suurin sallittu mittauserpävarmuus (%) <sup>1)</sup>	Säteilymittarin <sup>2)</sup> tai mittaussijustelmän vaatimukset
Säteilyöntekijän annosmääritys sisäisestä altistuksesta. Aktiivisuusmittaus	Nuklidikohtainen aktiivisuus	Epävarmuus määrittämenetelmää koskevan standardin mukaisesti	Määrittämenetelmää koskevan standardin mukaisesti
Säteilyöntekijän annosmääritys sisäisestä altistuksesta. Annosmääritys	Efektiiisen annoksen kertymä	Epävarmuus määrittämenetelmää koskevan standardin mukaisesti	Määrittämenetelmää koskevan standardin mukaisesti
Rakennusmateriaalien mittaukset	Aktiivisuus-pitoisuus	Epävarmuus määrittämenetelmää koskevan standardin mukaisesti	Rakennusmateriaalien aktiivisuus-pitoisuus on mitattava käyttäen korkean energiaerottelukyvyn (HPGe) gammaspektrometriaa
<p><sup>1</sup> Laajennettu mittauserpävarmuus kattavuuskertoimella 2.  <sup>2</sup> Mittarin on täytettävä soveltuvassa standardissa esitetyt vaatimukset.  <sup>3</sup> Vaatimus koskee ulkoista säteilyaltistusta.  <sup>4</sup> <math>R = \frac{G}{H_{ref}}</math> on annosmittarin vaste, jossa <math>G</math> on annosmittarilla määritetty annos ja <math>H_{ref}</math> on todellinen annos.  <sup>5</sup> <math>H_0</math> on kirjauskynnys.</p>			

**Taulukko 1.2.** Lääketieteellisen altistuksen määrittämiseksi tehtävissä mittauksissa käytettävät suuret ja tarkkuusvaatimukset.

Mittauksen tarkoitus	Mittaussuure	Suurin sallittu mittausepävarmuus (%) <sup>1)</sup>	Säteilymittarin vaatimukset
Röntgentutkimukset ja -toimenpiteet. Röntgenlaitteen säteilyntuotto.	Ilmakerma Sähkömäärä	7	IAEA TRS 457:n <sup>2)</sup> tarkoittamat kriteerit täyttävä mittauslaite
Röntgentutkimukset ja -toimenpiteet	Ilmakerma pinnalla Ilmakerman ja pinta-alan tulo	25 <sup>3)</sup>	IAEA TRS 457:n <sup>2)</sup> tarkoittamat kriteerit täyttävä mittauslaite
TT-tutkimukset ja -toimenpiteet	Ilmakerman ja pituuden tulo Tilavuuden TT-ilmakermaindeksi	25 <sup>3)</sup>	IAEA TRS 457:n <sup>2)</sup> tarkoittamat kriteerit täyttävä mittauslaite
Ulkoisen sädehoito fotonisäteilyllä vertailuolosuhteissa <sup>4)</sup>	Veteen absorboitunut annos	3	IAEA TRS 398:n <sup>5)</sup> tarkoittamat kriteerit täyttävä mittauslaite
Ulkoisen sädehoito elektronisäteilyllä vertailuolosuhteissa <sup>4)</sup>	Veteen absorboitunut annos	4	IAEA TRS 398:n <sup>5)</sup> tarkoittamat kriteerit täyttävä mittauslaite
Ulkoisen sädehoito. Mittaus potilaassa	Veteen absorboitunut annos	5	
Tykosädehoito fotonisäteilylähteellä vertailuolosuhteissa <sup>4)</sup>	Vertailuilmakermanopeus	5	Soveltuva kansainvälinen standardi
Tykosädehoito beetasäteilylähteellä vertailuolosuhteissa <sup>4)</sup>	Veteen absorboituneen annoksen vertailuannosnopeus	15	Soveltuva kansainvälinen standardi

<sup>1)</sup> Laajennettu mittausepävarmuus kattavuuskertoimella 2.

<sup>2)</sup> International atomic energy agency (IAEA). Dosimetry in diagnostic radiology: An international code of practice Technical report series no. 457. Vienna: IAEA, 2007.

<sup>3)</sup> Samaa epävarmuuden enimmäisarvoa käytetään myös silloin, kun laitteessa on laskennallinen potilaan säteilyaltistuksen näyttö.

<sup>4)</sup> Vertailuolosuhteilla tarkoitetaan mittausta vedessä, toistettavassa ja tunnetussa geometriassa ja ympäristöolosuhteissa ja jonka tulosta käytetään potilaan annosmäärityksen ja -suunnittelun perustana.

<sup>5)</sup> International atomic energy agency (IAEA). Absorbed dose determination in External Beam Radiotherapy. An international code of practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water. Technical reports series no. 398, V12, 05 June 2006 tai tätä myöhäisempi julkaisu.

**Taulukko 1.3.** Pelastustoiminnassa ja väestönsuojelussa käytettävät mittaussuureet sekä fotonisäteilyn mittauksille ja säteilymittareille asetetut vaatimukset.

Mittauksen tarkoitus	Mittaussuure	Mittausalue <sup>1)</sup>	Säteilymittarin vaatimukset
Pelastustoiminta	Vapaa annosekvivalenttinopeus <sup>2)</sup>	Annosekvivalenttinopeudelle vähintään 0,1 µSv/h–10 Sv/h	Täyttää standardin IEC 60846-2 vaatimukset <sup>2)</sup>  Pölyn ja vedenpitävyys: Kotelointiluokka IP 65 (standardi SFS-EN 60529)  Jos mittariin voidaan liittää erillinen pintakontaminaatioanturi, sen on täytettävä standardin IEC 60325 vaatimukset
Väestönsuojelu	Vapaa annosekvivalenttinopeus <sup>2)</sup>	Annosekvivalenttinopeudelle vähintään 1 µSv/h–100 mSv/h	Täyttää standardin IEC 60846-1 vaatimukset <sup>2)</sup>  Pölyn ja vedenpitävyys: Kotelointiluokka IP 54 (standardi SFS-EN 60529)
Henkilöannosmittaus	Henkilöannosekvivalentti  Henkilöannosekvivalenttinopeus	Annosekvivalenttinopeudelle vähintään 0,5 µSv/h–1 Sv/h	Täyttää standardin IEC 61526 vaatimukset  Pölyn ja vedenpitävyys: Kotelointiluokka IP 54 (standardi SFS-EN 60529)
<p><sup>1)</sup> Jos koko mittausaluetta ei ole mahdollista kattaa yhdellä säteilymittarilla, voidaan käyttää useita säteilymittareita, joiden yhdistetty mittausalue kattaa tarvittavan mittausalueen.</p> <p><sup>2)</sup> Jos kannetavalla annosnopeusmittarilla on myös annosmittausominaisuus, on mittarin annosmittausominaisuuksien vastattava standardin vaatimuksia.</p>			

**Taulukko 1.4.** Radonpitoisuuden ja radonista aiheutuvan altistuksen mittaukselle asetetut vaatimukset.

Mittauksen tarkoitus ja mittaaminen	Mittaussuure ja mittayksikkö	Suurin sallittu mittausepävarmuus (%)	Säteilymittarin tai mittausjärjestelmän vaatimukset
Työpaikan, asunnon ja muun oleskelutilan sisäilman radonpitoisuuden yhtäjaksoinen vähintään 2 kk:n pituinen integroitu mittaus	Aktiivisuuspitoisuus (Bq/m <sup>3</sup> )	30	<p>Tulosten variaatiokerroin saa olla enintään 10 % aktiivisuuspitoisuutta 300 Bq/m<sup>3</sup> ja 1500 tunnin mittausta vastaavassa altistuksessa. Tulosten jakauman variaatiokerroin määritetään useamman integroivan mittarin lukemista vakioolosuhteissa (tasalaatuisuus)*.</p> <p>Mittausalueen ylärajan on oltava vähintään 5 000 Bq/m<sup>3</sup>, jos mittaria käytetään radonpitoisuuden viitearvoon vertaamiseen työpaikalla tai asunnossa ja mittauksessa käytetään vähintään 60 vuorokauden mittausaikaa.</p> <p>Mittausalueen ylärajan on oltava vähintään 10 000 Bq/m<sup>3</sup>, jos mittaustuloksesta määritetään laskennallisesti työntekijän annos ja mittauksessa käytetään vähintään 60 vuorokauden mittausaikaa.</p>
Sisäilman radonpitoisuuden ajallisen vaihtelun selvittämiseksi tehtävä, vähintään viikon pituinen jatkuvatoiminen mittaus	Aktiivisuuspitoisuus (Bq/m <sup>3</sup> )	30	<p>Mittarin herkkyyden on oltava vähintään 0,01 cph/(Bq/m<sup>3</sup>).</p> <p>Mittarin vasteajan on oltava vähintään 100 min.</p> <p>Mittausalueen ylärajan on oltava vähintään 9 000 Bq/m<sup>3</sup>, jos mittaustuloksesta määritetään työnaikainen ja kokoaikainen radonpitoisuus ja mittauksessa käytetään vähintään 7 vuorokauden mittausaikaa.</p>
Ilman hetkellinen, enintään 1 tunnin pituinen radonpitoisuuden mittaus	Aktiivisuuspitoisuus (Bq/m <sup>3</sup> )	30	<p>Tulosten variaatiokerroin saa olla enintään 10 % aktiivisuuspitoisuudessa 300 Bq/m<sup>3</sup>. Tulosten jakauman variaatiokerroin määritetään mittauksen toistetuista lukemista (toistettavuus)*.</p> <p>Mittausalueen ylärajan on oltava vähintään 10 000 Bq/m<sup>3</sup>, jos mittaustuloksesta määritetään laskennallisesti työntekijän annos.</p>

Mittauksen tarkoitus ja mittaaminen	Mittaussuure ja mittayksikkö	Suurin sallittu mittausepävarmuus (%)	Säteilymittarin tai mittausjärjestelmän vaatimukset
Työntekijän altistuksen radonille selvittämiseksi tehtävä vähintään 2 kk:n pituinen henkilökohtainen integroitu mittaus	Altistus radonille (Bq h/m <sup>3</sup> )	30	Tulosten variaatiokerroin enintään 10 % 500 000 Bq h/m <sup>3</sup> altistuksessa. Tulosten jakauman variaatiokerroin määritetään useamman integroivan mittarin lukemista vakio-olosuhteissa (tasalaatuisuus)*.  Työperäistä radonista aiheutuvaa altistusta mittaavan mittarin ja mittausjärjestelmän mittausalueen ylärajan on oltava vähintään 3 000 000 Bq h/m <sup>3</sup> .
Työntekijän altistuksen radonille selvittämiseksi tehtävä 2 kk:ta lyhyempikestoinen mittaus kannettavalla mittarilla	Aktiivisuuspitoisuus (Bq/m <sup>3</sup> )	30	Mittarin herkkyys vähintään 0,01 cph/(Bq/m <sup>3</sup> ).  Mittausalueen ylärajan on oltava vähintään 10 000 Bq/m <sup>3</sup> , jos mittaustuloksesta määritetään laskennallisesti työntekijän annos ja mittauksessa käytetään 60 vuorokautta lyhyempää mittausaikaa.
* Variaatiokertoimen määrittämisessä ei huomioida radonin hajoamisen aiheuttamaa tilastollista vaihtelua.			

## LIITE 2

**Suureiden määritelmät****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),  $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

Ilmakermanopeus on ilmakerman kasvu lyhyellä aikavälillä jaettuna tällä aikavälillä.

**Annosekvivalentti**

Annosekvivalentti  $H$  on absorboituneen annoksen  $D$  ja laatukertoimen  $Q$  tulo:

$$H = Q \cdot D.$$

Annosekvivalentin yksikkö on sievert (Sv).

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

$Q$ :n ja  $L$ :n välinen riippuvuus saadaan taulukosta 2.1.

**Taulukko 2.1.** Laatukertoimen  $Q$  riippuvuus energiansiirtokyvystä  $L$ .

Energiansiirtokyky $L$ vedessä ( $\text{keV}\mu\text{m}^{-1}$ )	Laatukerroin $Q (L)$
< 10	1
10–100	0,32 $L - 2,2$
> 100	300 / $\sqrt{L}$

Kun absorboitunut annos kudoksen pisteessä aiheutuu energiansiirtokyvyltään erilaisista hiukkasista, voidaan laatukerroin laskea keskimääräinen laatukerroin huomioimalla absorboituneen annoksen jakauma energiansiirtokyvyn suhteen. Energiansiirtokyvyllä tarkoitetaan rajatonta energiansiirtokykyä.

**Suunnattu annosekvivalentti**

Suunnattu annosekvivalentti  $H'(d, \Omega)$  säteilykentän pisteessä on annosekvivalentti, jonka aiheuttaisi vastaava laaja kenttä ICRU-pallon säteellä syvyydellä  $d$  tietyssä suunnassa  $\Omega$ , jossa:

- 1) laaja kenttä on säteilykenttä, jossa hiukkaskertymä ja sen suunta- ja energiajakauma ovat koko tarkasteltavassa tilavuudessa samat kuin todellisessa kentässä olevassa vertailupisteessä;
- 2) ICRU-pallo on Kansainvälisen säteily-yksiköiden ja -mittausten toimikunnan (International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU) määrittelemä pallomainen kudostavanne, joka ionisoivan säteilyn energian absorboitumisen suhteen vastaa likimain ihmiskehoa.

Suunnatun annosekvivalentin yksikkö on sievert (Sv).

**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, jossa:

- 1) suunnattu laaja kenttä on säteilykenttä, jossa hiukkaskertymä ja sen energiajakauma ovat samat kuin laajassa kentässä, mutta kaikki hiukkaset tulevat samasta suunnasta.
- 2) ICRU-pallo on ICRUn määrittelemä pallomainen kudosvastine, joka ionisoivan säteilyn energian absorboitumisen suhteen vastaa likimain ihmiskehoa.

Vapaan annosekvivalentin yksikkö on sievert (Sv).

**Henkilöannosekvivalentti**

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

Henkilöannosekvivalentin yksikkö on sievert (Sv).

**Aktiivisuuskate**

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

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

**Ilmakerma pinnalla**

Ilmakerma pinnalla (*ESAK*) on ilmakerma säteilykeilan keskiakselin ja potilaan pinnan leikkauspisteessä sisältäen myös potilaasta tähän pisteeseen siroavan säteilyn.

Ilmakerma pinnalla -suureen yksikkö on gray (Gy).

**Ilmakerman ja pinta-alan tulo**

Ilmakerman ja pinta-alan tulo (*KAP*) määritellään integraalina

$$KAP = \int_{A_M} K(x, y) dx dy,$$

jossa  $K(x, y)$  on ilmakerma säteilykeilan akselia vastaan kohtisuorassa tasossa ja  $A_M$  on integroimisalue.

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



**Ilmakerman ja pituuden tulo**

Tomografiakuvauksessa ilmakerman ja pituuden tulo ( $KLP$ ) määritellään integraalina

$$KLP = \int_{-\infty}^{\infty} K(z) dz$$

jossa  $K(z)$  on tutkimuksen aiheuttama ilmakerma paikan  $z$  funktiona (ilmakermaprofiili) röntgenputken pyörähdysakselin suuntaisella suoralla.

Ilmakerman ja pituuden tulon yksikkö on Gy·m (yleisimmin mGy·cm).

Yksittäisen aksiaalikuvausten tai röntgenputken yhden kierroksen ilmakermaprofiilin perusteella  $KLP$  on

$$KLP = N \cdot \int K_1(z) dz = N \cdot KLP_1,$$

jossa

$K_1(z)$  on yksittäisen aksiaalikuvausten tai yhden röntgenputken kierroksen ilmakermaprofiili ja  $KLP_1$  sitä vastaava ilmakerman ja pituuden tulo;

$N$  on röntgenputken kierrosten lukumäärä.

**Painotettu ilmakerman ja pituuden tulo**

Painotettu ilmakerman ja pituuden tulo ( $KLP_w$ ) määritellään seuraavasti:

$$KLP_w = \frac{1}{3} \cdot KLP_c + \frac{2}{3} \cdot KLP_p,$$

jossa  $KLP_c$  on tietokonetomografiakuvauksessa käytettävän kudostavastineen keskellä määritetty ilmakerman ja pituuden tulo ja  $KLP_p$  on 10 mm:n syvyydellä kyseisessä kudostavastineessa määritetty ilmakerman ja pituuden tulo.

**Tilavuuden TT-ilmakermaindeksi**

Useista yksittäisistä aksiaalikuvauksista tai helikaalikuvauksissa useista röntgenputken kierroksista koostuvassa tietokonetomografiatutkimuksessa tilavuuden TT-ilmakermaindeksi on:

$$CTKI_{vol} = \frac{1}{d} \int_{-\infty}^{\infty} K(z) dz = \frac{1}{d} KLP,$$

jossa  $K(z)$  on tietokonetomografiakuvauksessa käytettävässä standardikudostavastineessa määritetty koko tutkimuksen aiheuttama ilmakermaprofiili röntgenputken pyörähdysakselin ( $z$ ) suunnassa tutkitulla alueella, tarkasteltavalla etäisyydellä pyörähdysakselista;

$d$  on säteilytetyn alueen pituus pyörähdysakselin suunnassa.

Tilavuuden TT-ilmakermaindeksin yksikkö on Gy (yleisimmin mGy).

Yksittäisen aksiaalikuvausten tai helikaalikuvausten röntgenputken yhden kierroksen aikana mitatusta ilmakermaprofilista  $K(z)$  ja sitä vastaavasta pöydän siirrosta  $\Delta d$  TT-ilmakermaindeksi on:

$$CTKI_{vol} = \frac{1}{\Delta d} \int_{-\infty}^{\infty} K(z) dz$$

Painotetun ilmakerman ja pituuden tulon avulla TT-ilmakermaindeksi on:

$$CTKI_{vol} = \frac{1}{d} KLP_w$$

Käytännön mittauksissa integrointirajat ovat äärelliset.

### **Vertailuilmakermanopeus**

Vertailuilmakermanopeus on ilmakermanopeus yhden metrin etäisyydellä tykösädehoidon säteilylähteestä.