BILAGA 1

Kraven på strålningsmätningarnas tillförlitlighet, mätarna och mätsystemen

Tabell 1.1 Mätningens syfte, mätstorheter, mätningens noggrannhetskrav samt krav på strålningsmätare och mätsystem.

Mätningens syfte	**Mätstorhet**	**Största tillåtna mätosäkerhet (%)[1)]**	**Krav på strålningsmätare[2)] eller mätsystem**
Övervakning av exponeringsförhållanden. Mätning av dos eller dosrat i arbetsutrymmen eller deras omgivning[3)]	Miljödosekvivalent Miljödosekvivalent rat	60	Vid fotonstrålning får mätarens respons[4)] inte vara mindre än 0,71 eller större än 1,67 i energi-området 20 keV—150 keV eller 80 keV—1,5 MeV Grundfel hos en signalerande mätare för individuell dos får vara högst 30 %
Övervakning av exponerings-förhållanden. Mätning av dos eller dosrat i arbetsutrymmen eller deras omgivning[3)]	Riktnings-dosekvivalent Riktnings-dosekvivalentrat	60	Grundfel hos en signalerande mätare för individuell dos får vara högst 30 %
Övervakning av exponerings-förhållanden. Läck- och den spridda strålningen från en röntgendiagnostikapparat	Luftkermarat	20	
Övervakning av exponerings-förhållanden. Kontaminering av radioaktivt ämne i arbetsut-rymmen eller deras omgivning	Ytaktivitet	60	
Individuell dosövervakning. Dosimetrisystem som används för att fastställa en arbetstagares dos	Persondos-ekvivalent	42	Största variationsintervall vid för respons R[4)] Vid fotonstrålning $\overline{E}_{ph} > 10$ keV och vid betastrålning $\overline{E}_{beta} > 0{,}2$ MeV $0{,}71 \cdot \left[1 - \frac{2 \cdot H_0/1{,}33}{H_0/1{,}33 + H_{ref}}\right] \leq R$ [5)] $1{,}67 \cdot \left[1 + \frac{H_0}{4 \cdot H_0 + H_{ref}}\right] \geq R$ Vid neutronstrålning och fotonstrålning $\overline{E}_{ph} \leq 10$ keV och betastrålning $\overline{E}_{beta} \leq 0{,}2$ MeV $0{,}5 \cdot \left[1 - \frac{2 \cdot H_0/1{,}5}{H_0/1{,}5 + H_{ref}}\right] \leq R \leq 2$

Mätningens syfte	**Mätstorhet**	**Största tillåtna mätosäkerhet (%)[1)]**	**Krav på strålningsmätare[2)] eller mätsystem**
Dosbestämning av strålnings-arbetares interna exponering. Aktivitetsmätning	Nuklidspecifik aktivitet	Osäkerhet enligt standarden för beräkningsmetoden	Enligt standarden för beräkningsmetoden
Dosbestämning av strålningsarbetares interna exponering. Dosbestämning	Intecknad effektiv dos	Osäkerhet enligt standarden för beräkningsmetoden	Enligt standarden för beräkningsmetoden
Mätningar av byggmaterial	Aktivitets-koncentration	Osäkerhet enligt standarden för beräkningsmetoden	Aktivitetskoncentrationen i bygg-material ska mätas genom högupplösande gammaspektrometri (HPGe)

[1] Utvidgad mätosäkerhet med täckningskoefficienten 2.
[2] En mätare ska uppfylla kraven som anges i den standard som tillämpas.
[3] Kravet gäller extern strålningsexponering.
[4] $R = \frac{G}{H_{ref}}$är dosmätarens respons, där G är dosen som bestämts med dosmätaren och H_{ref}är den faktiska dosen.
[5] H_0är inteckningströskel.

Tabell 1.2 Storheter och noggrannhetskrav som används vid mätningar för att bestämma medicinsk exponering

Mätningens syfte	**Mätstorhet**	**Största tillåtna mätosäkerhet (%)[1)]**	**Krav på strålningsmätaren**
Röntgenundersökningar och -åtgärder. Röntgenapparatens strålnings-alstring	Luftkerma Elmängd	7	Ett mätinstrument som uppfyller kriterierna enligt IAEA TRS 457[2)]
Röntgenundersökningar och -åtgärder	Luftkerma vid ytan Luftkerma-areaprodukt	25[3)]	Ett mätinstrument som uppfyller kriterierna enligt IAEA TRS 457 [2)]
Datortomografiundersökningar och -behandlingar	Luftkerma-längdprodukt Volumetriskt luftkermaindex vid datortomografi	25[3)]	Ett mätinstrument som uppfyller kriterierna enligt IAEA TRS 457[2)]
Extern strålbehandling med fotonstrålning under referensförhållanden[4)]	I vatten absorberad dos	3	Ett mätinstrument som uppfyller kriterierna enligt IAEA TRS 398[5)]
Extern strålbehandling med elektronstrålning under referensförhållanden[4)]	I vatten absorberad dos	4	Ett mätinstrument som uppfyller kriterierna enligt IAEA TRS 398[5)]
Extern strålbehandling. Mätning i patient	I vatten absorberad dos	5	
Brachyterapi med fotonstrålkälla under referensförhållanden[4)]	Referensluftkermarat	5	Tillämpbar internationell standard
Brachyterapi med betastrålkälla under referensförhållanden[4)]	Den i vatten absorberade dosens referensdosrat	15	Tillämpbar internationell standard

[1] Utvidgad mätosäkerhet med täckningskoefficienten 2.
[2] International atomic energy agency (IAEA). Dosimetry in diagnostic radiology: An international code of practice Technical report series no. 457. Vienna: IAEA, 2007.
[3] Samma maximivärde för osäkerhet används även när apparaten visar en kalkylerad strålningsexponering för patient.
[4] Med referensförhållanden avses mätning i vatten, med en upprepbar och känd geometri och under omgivningsförhållanden och vars resultat används som grund för patientens dosbestämning och -planering.
[5] 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 eller en senare publikation.

Tabell 1.3 Mätstorheter som används i rädddningsverksamhet och civilskydd samt krav på mätning av fotonstrålning och på strålningsmätare.

Mätningens syfte	**Mätstorhet**	**Mätområde[1)]**	**Krav på strålningsmätaren**
Rädddningsverksamhet	Miljödosekvivalentrat[2)]	För dosekvivalentraten minst 0,1 µSv/h–10 Sv/h	Uppfyller kraven i standarden IEC 60846-2[2)] Damm- och vattentäthet: Kapslingsklass IP 65 (standarden SFS-EN 60529) Om mätaren kan kopplas till en separat ytkontaminationsgivare ska den uppfylla kraven i standarden IEC 60325
Civilskydd	Miljödosekvivalentrat[2)]	För dosekvivalentraten minst 1 µSv/h–100 mSv/h	Uppfyller kraven i standarden IEC 60846-1[2)] Damm- och vattentäthet: Kapslingsklass IP 54 (standarden SFS-EN 60529)
Mätning av individuell dos	Persondosekvivalent Persondosekvivalentrat	För dosekvivalentraten minst 0,5 µSv/h–1 Sv/h	Uppfyller kraven i standarden IEC 61526 Damm- och vattentäthet: Kapslingsklass IP 54 (standarden SFS-EN 60529)

[1] Om hela mätområdet inte kan täckas av en enda strålningsmätare kan flera strålningsmätare användas, vilkas sammantagna mätområde täcker det behövliga mätområdet.
[2] Om en bärbar dosratmätare också har en dosmätningsegenskap ska mätarens dosmätningsegenskaper uppfylla kraven i standarden.

Tabell 1.4.- Krav på mätning av radonhalt och exponering för radon.

Mätningens syfte och mätning	**Mätstorhet och mätenhet**	**Största tillåtna mätosäkerhet (%)**	**Krav på strålningsmätaren och mätsystemet**
Integrerande kontinuerlig mätning i minst 2 månader av inomhusluftens radonhalt på arbetsplatser, i bostäder eller i andra vistelseutrymmen	Aktivitetskoncentration (Bq/m^3)	30	Variationskoefficienten för resultaten får vara högst 10 % vid aktivitets-koncentrationen 300 Bq/m^3och en exponering motsvarande en mätning under 1 500 timmar. Variationskoefficienten för resultatens spridning bestäms ur en avläsning av flera integrerande mätare under standardiserade förhållanden (jämn kvalitet)*. Mätområdets övre gräns ska vara minst 5 000 Bq/m^3 om mätaren används för jämförelse med referensvärdet för radonhalt på arbetsplatser eller i bostäder och mätningen utförs under en mättid av minst 60 dygn. Mätområdets övre gräns ska vara minst 10 000 Bq/m^3 om arbetstagarens dos beräknas ur mätresultatet och mätningen utförs under en mättid av minst 60 dygn.
Kontinuerlig mätning under minst en vecka för bestämning av tidsvariationen hos inomhusluftens radonhalt	Aktivitetskoncentration (Bq/m^3)	30	Mätarens känslighet ska vara minst 0,01 $cph/(Bq/m^3)$. Mätarens responstid ska vara minst 100 min. Mätområdets övre gräns ska vara minst 9 000 Bq/m^3 om radonhalten under arbetstid och under den totala tiden bestäms ur mätresultatet och mätningen utförs under en mättid av minst 7 dygn.
Mätning av luftens momentana radonhalt under högst 1 timme	Aktivitetskoncentration (Bq/m^3)	30	Variationskoefficienten för resultaten får vara högst 10 % vid aktivitets-koncentrationen 300 Bq/m^3. Variationskoefficienten för resultatens spridning bestäms ur upprepade avläsningar av en mätning (reproducerbarhet)*. Mätområdets övre gräns ska vara minst 10 000 Bq/m^3 om arbetstagarens dos beräknas ur mätresultatet.

Mätningens syfte och mätning	**Mätstorhet och mätenhet**	**Största tillåtna mätosäkerhet (%)**	**Krav på strålningsmätaren och mätsystemet**
För bestämning av en arbetstagares exponering för radon som utförs med en integrerande individuell mätning under minst 2 månader	Exponering för radon ($Bq \cdot h/m^3$)	30	Variationskoefficienten för resultaten får vara högst 10 % vid exponeringen 500 000 $Bq \cdot h/m^3$. Variationskoefficienten för resultatens spridning bestäms ur en avläsning av flera integrerande mätare under standardiserade förhållanden (jämn kvalitet)*. Mätområdets övre gräns hos mätare och mätsystem som mäter yrkesmässig exponering för radon ska vara minst 3 000 000 $Bq \cdot h/m^3$.
För bestämning av en arbetstagares exponering för radon som utförs med en mätning kortare än 2 månader med en bärbar mätare.	Aktivitetskoncentration (Bq/m^3)	30	Mätarens känslighet ska vara minst 0,01 $cph/(Bq/m^3)$. Mätområdets övre gräns ska vara minst 10 000 Bq/m^3 om arbetstagarens dos beräknas ur mätresultatet och mätningen utförs under en mättid kortare än 60 dygn.
* Vid bestämningen av variationskoefficienten beaktas inte den statistiska variation som orsakas av radonets sönderfall.			

BILAGA 2

Definition av storheter

Luftkerma
Luftkerma (K_a) är den sammanlagda rörelseenergin vid uppkomsttidpunkten hos de laddade partiklar som oladdade joniserande partiklar frigör i ett luftelement, dividerad med luftelementets massa.

Enheten för luftkerma är gray (Gy), 1 Gy = 1 J·kg^{-1}.

Luftkermarat är luftkermats tillväxt under ett kort tidsintervall, dividerad med tidsintervallet.

Dosekvivalent
Dosekvivalent H är produkten av absorberade dosen D kvalitetsfaktorn Q:

$H = Q \cdot D$.

Enheten för dosekvivalent är sievert (Sv).

Kvalitetsfaktorn Q beror på den linjära energiöverföringen L och beaktar att strålning av olika kvalitet har olika förmåga att åstadkomma men för hälsan.

Sambandet mellan Q och L fås ur tabell 2.1.

Tabell 2.1. Sambandet mellan kvalitetsfaktorn Q och linjära energiöverföringen L.

Linjär energiöverföring L i vatten (keV·μm^{-1})	**Kvalitetsfaktor Q (L)**
<10 10—100 >100	1 0,32 L - 2,2 300 / √ L

När den absorberade dosen i en punkt i vävnaden orsakas av partiklar med olika linjära energiöverföringar, kan medelkvalitetsfaktorn beräknas med beaktande av den absorberade dosens fördelning med avseende på den linjära energiöverföringen. Med linjär energiöverföring avses obegränsad linjär energiöverföring.

Riktningsdosekvivalent
Riktningsdosekvivalenten $H'(d,\Omega)$ i en punkt i ett strålfält är den dosekvivalent som skulle alstras av det motsvarande utvidgade fältet på ett djup d i en ICRU-sfär på en radie i riktningen Ω, där

1) ett utvidgat fält är ett strålfält där partikelfluensen och dess riktnings- och energifördelning har samma värden i hela den granskade volymen som de har i referenspunkten i det verkliga fältet
2) en ICRU-sfär är en kropp som har införts av Internationella kommissionen för strålningsenheter och strålmätningar (International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU) för att approximera människokroppen vad gäller energiabsorbering från joniserande strålning.

Enheten för riktningsdosekvivalent är sievert (Sv).

Miljödosekvivalent
Miljödosekvivalenten $H^*(d)$ i en punkt i ett strålfält är den dosekvivalent som skulle alstras av det motsvarande riktade fältet på ett djup d i en ICRU-sfär på en radie i en riktning motsatt det riktade fältet, där

1) ett riktat utvidgat fält är ett strålfält där partikelfluensen och dess energifördelning är desamma som i det utvidgade fältet men där alla partiklar kommer från samma riktning
2) en ICRU-sfär är en kropp som har införts av ICRU för att approximera människokroppen vad gäller energiabsorbering från joniserande strålning.

Enheten för miljödosekvivalent är sievert (Sv).

Persondosekvivalent
Persondosekvivalenten $H_p(d)$ är dosekvivalenten i mjukvävnad i en punkt på djupet d i kroppen.

Enheten för persondosekvivalent är sievert (Sv).

Ytaktivitet
Ytaktiviteten A_s är aktiviteten A hos ett radioaktivt ämne på en yta, dividerad med arean S hos denna yta.

Enheten för ytaktivitet är $Bq \cdot m^{-2}$.

Luftkerma vid ytan
Luftkerma vid ytan (*ESAK*) är luftkerma vid skärningspunkten mellan strålknippets mittaxel och patientens yta och omfattar även strålning som sprids från patienten till denna punkt.

Enheten för storheten luftkerma vid ytan är gray (Gy).

Luftkerma-areaprodukt
Luftkerma-areaprodukten (KAP) definieras som integralen

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

där $K(x,y)$ är luftkerma i ett plan vinkelrätt mot strålknippets mittaxel och A_M integrationsområdet.

Enheten för luftkerma-areaprodukten är $Gy \cdot m^2$ (allmänt $Gy \cdot cm^2$).

STUK
SÄTEILYTURVAKESKUS
STRÅLSÄKERHETSCENTRALEN
RADIATION AND NUCLEAR SAFETY AUTHORITY
Osoite / Address | Laippatie 4, 00880 Helsinki
Postiosoite / Postal address | PL / P.O.Box 14, FI-00811 Helsinki, FINLAND
Puh. / Tel. (09) 759 881, +358 9 759 881 | Fax (09) 759 88 500, +358 9 759 88 500 | www.stuk.fi

Luftkerma-längdprodukt
Vid tomografiundersökning definieras luftkerma-längdprodukten (KLP) som integralen

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

där *K(z)* är den av undersökningen orsakade luftkerma som funktion av läget *z* (luftkermaprofil) längs en rät linje parallell med röntgenrörets rotationsaxel.

Enheten för luftkerma-längdprodukten är Gy·m (allmänt mGy·cm).

På basis av luftkermaprofilen för det enskilda axiella snittet eller varvet av röntgenröret är *KLP*

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

där
$K_1(z)$är luftkermaprofilen för det enskilda axiella snittet eller varvet av röntgenröret och
KLP_1motsvarande luftkerma-längdprodukt
N är antalet varv av röntgenröret.

Viktad luftkerma-längdprodukt
Den viktade luftkerma-längdprodukten (KLP_w) definieras på följande sätt:

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

där KLP_c är on luftkerma-längdprodukten som bestämts i mitten av den vävnadsrespons som används vid en datortomografiundersökning och KLP_p är luftkerma-längdprodukten som bestämts på djup av 10 mm i vävnadsresponsen i fråga.

Volumetriskt luftkermaindex vid datortomografi
Volumetriskt luftkermaindex vid datortomografi i en datortomografiundersökning som består av flera enskilda axiella snitt eller vid spiral-DT av flera varv av röntgenröret är

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

där *K(z)* är den luftkermaprofil i ett standardfantom som används vid datortomografiundersökning som hela undersökningen ger upphov till längs röntgenrörets rotationsaxel (z) i det undersökta området på det granskade avståndet från rotationsaxeln,
d är det undersökta områdets längd i rotations-axelns riktning.

Enheten för volumetriskt luftkermaindex vid datortomografi är Gy (vanligen mGy).

Om luftkermaprofilen $K(z)$ mätts under ett enskilt axiellt snitt eller under ett varv av röntgenröret vid spiral-DT, där $\triangle d$ är motsvarande förflyttning av patientbordet är det volumetriska luftkermaindexet vid datortomografi:

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

Den viktade luftkerma-längdprodukten med hjälp av volumetriskt luftkermaindex vid datortomografi är:

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

Vid praktiska mätningar ät integrationsgränserna ändliga.

Referensluftkermarat
Referensluftkermarat är luftkermaraten på en meters avstånd från brachyterapins strålkälla.