

# STRÅLNINGSVERKSAMHET OCH STRÅLNINGSMÄTNINGAR

1	ALLMÄNT	3
2	KRAV PÅ NOGGRANNHET HOS STRÅLNINGSMÄTNINGAR	3
2.1	Mätosäkerhet och mätfel	3
2.2	Strålningsmätningar i samband med övervakning av arbetsförhållandena och befolkningens strålsäkerhet	4
2.3	Mätning av inandningsluftens radonhalt	4
2.4	Strålningsmätningar i samband med dosövervakning av arbetstagare	4
2.5	Mätningar i samband med bestämning av patienters strålningsexponering	6
2.6	Mätningar för kvalitetssäkring	6
3	KRAV PÅ STRÅLNINGSMÄTARE OCH -MÄTSYSTEM SAMT GODKÄNNANDE	6
3.1	Strålningsmätningar i samband med övervakning av arbetsförhållandena och befolkningens strålsäkerhet	6
3.1.1	Krav på mätare	6
3.1.2	Godkännande av mätare	7
3.2	Mätning av inandningsluftens radonhalt	7
3.2.1	Krav på mätningar, mätare och mätmetoder	7
3.2.2	Godkännande av mätinstrument och mätmetoder	7
3.3	Strålningsmätningar i samband med dosövervakning av arbetstagare	8
3.3.1	Allmänna krav på dosimetritjänst	8
3.3.2	Krav på dosimetrisystemet	9
3.3.3	Godkännande av dosimetritjänst och -system	9
3.4	Mätningar i samband med bestämning av patienters strålningsexponering	10
3.4.1	Krav på mätare	10
3.4.2	Godkännande av mätare	10

Detta direktiv är i kraft från och med den 15.12.2016 tills vidare.

Detta direktiv ersätter direktiv ST 1.9 av den 17.3.2008, Strålningsverksamhet och strålningsmätningar.

Helsingfors 2016

ISBN 978-952-309-344-7 (pdf)

ISSN 0789-4368

ISBN 978-952-309-345-4 (html)

4	KVALITETSSÄKRING AV STRÅLNINGSMÄTNINGAR	11
4.1	Användning av sakkunniga vid mätningarna	11
4.2	Kalibrering av strålningsmätare	11
4.3	Kontroll av strålningsmätarens funktionsduglighet	12
BILAGA A	VID STRÅLNINGSMÄTNINGAR ANVÄNDA STORHETER OCH ENHETER	
BILAGA B	SAMMANDRAG AV NOGGRANNHETSKRAV VID STRÅLNINGSMÄTNINGAR	

## Grund för bemyndigandet

Den som bedriver strålningsverksamhet ansvarar enligt strålskyddslagen för att verksamheten är säker. Verksamhetsutövaren är skyldig att sörja för, att den säkerhetsnivå som framläggs i ST-direktiven förverkligas och upprätthålls.

Strålsäkerhetscentralen ger med stöd av 70 § 2 mom. i strålskyddslagen (592/1991) allmänna anvisningar, strålsäkerhetsanvisningar (ST-direktiv) beträffande säkerheten vid användning av strålning och vid övrig strålningsverksamhet.

## 1 Allmänt

De allmänna kraven gällande strålningsmätningar ges i 23 § strålskyddslagen (592/1991), i 11 och 12 § strålskyddsförordningen (1512/1991) och i 17 § social- och hälsovårdsministeriets förordning om medicinsk användning av strålning (423/2000). Dosimetritjänster behandlas i 12 och 32 a § strålskyddslagen samt bestämning av radonhalten i social- och hälsovårdsministeriets beslut (944/1992). Krav gällande strålningsmätningar i samband med driften av kärnkraftverk ges i Strålsäkerhetscentralens YVL-direktiv C2, C.3 och C.6.

I detta direktiv ges de viktigaste kraven på noggrannheten hos strålningsmätningar, på godkännande och kalibrering av strålningsmätare samt kontroll av deras funktionsduglighet och de krav som ska ställas på dosimetritjänst vilken bestämmer persondosen hos arbetstagare i strålningsarbete (s.k. godkänd dosimetritjänst). I direktivet ges dessutom definitioner på storheter och enheter som används i strålningsmätningar. Strålskyddsstorheterna, vilka används för bedömning av strålningens skadeverknings och som används för att ange maximivärdena för strålningsexponering (ekvivalentdosen och effektiva dosen), redovisas i direktiv ST 7.2.

Detta direktiv gäller sådana mätningar av joniserande strålning i samband med strålningsverksamhet vars resultat används för bestämning av exponeringen för strålning hos arbetstagare i strålningsarbete, hos befolkningen och hos patienter vid användning av strålning inom hälsovården eller med hjälp av vilka verifieras att säkerhetskraven gällande använda apparater med tillhörande driftrum eller arbetstagarnas arbetslokaler uppfylls. Direktivet gäller dessutom aktiva och passiva mätningar av inandningsluftens radonhalt både på arbetsplatser och i bostäder. Direktivet gäller inte bestämning av strålningsexponeringen hos flygpersonal, bestämning av exponering på grund av intern strålning och ej heller mätningar som utförs till skyddet av befolkningen i avvikande strålnings-situationer eller när man bereder sig för sådana.

## 2 Krav på noggrannhet hos strålningsmätningar

### 2.1 Mätosäkerhet och mätfel

Vid mätningar kan det slutliga mätresultatet ofta anges som en produkt, vars faktorer är mätarens utslag, kalibreringskoefficienten och ett antal andra korrektionskoefficienter. *Mätosäkerheten*, varmed i detta direktiv avses den totala osäkerheten, erhålls då så att alla med mätmetoden förbundna felkällor uppskattas, den euklideiska normen\*) av deras effekter (standardavvikelse) beräknas och den så erhållna kombinerade osäkerheten multipliceras med täckningskoefficienten. För täckningskoefficienten används i detta direktiv värdet 2, vilket svarar mot konfidensnivån 95 % och innebär att mätresultatet med 95 % sannolikhet avviker från den mätta storhetens sanna värde med ett belopp som högst är lika med den skattade mätosäkerheten. I detta direktiv avses med mätosäkerhet den relativa mätosäkerheten, dvs. osäkerheten i mätresultatet uttrycks som procent av mätresultatet.

Vid en noggrann bedömning av mätosäkerheten uppdelas de på mätningen inverkan komponenterna i två grupper beroende på hur deras storlek har skattats. Osäkerhetskomponenternas storlek i grupp A har skattats med statistiska metoder och osäkerhetskomponenternas storlek i grupp B har skattats på annat sätt. Mätosäkerheten bestäms enligt en internationell anvisning [1].

Med *mätfelet* avses nedan skillnaden mellan mätresultatet ( $M_i$ ) och den mätta storhetens sanna värde ( $M_t$ ) när alla kända korrekationer först har gjorts i mätresultatet. I detta direktiv avses med fel alltid det relativa felet  $I$ :

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

När en strålningsmätarens prestanda granskas i mätarstandarderna anges vanligen övre gränsen för mätarfelets absolutvärde under referensvillkor, dvs. med den i standarden angivna strålningsenergin och i angivna omgivningsförhållan-

\*) Med den euklideiska normen av de för felkällorna uppskattade standardavvikelse avses kvadratroten ur summan av standardavvikelseernas kvadrater. Metoden förutsätter dessutom att felkällorna är oberoende av varandra.

den. Ett fel som bestämts under referensvillkor kallas *egenfel*. De övre gränserna för mätarfelen vid angivna värden på övriga storheter som inverkar på mätresultatet (s.k. influensstorheter, såsom strålningsenergin, strålningens infallsriktning och omgivningstemperaturen) anges särskilt.

## 2.2 Strålningsmätningar i samband med övervakning av arbetsförhållandena och befolkningens strålsäkerhet

Mätosäkerheten vid mätning av dosen och dosraten från extern strålning som uppstår genom strålningsverksamhet i arbetslokaler eller deras omgivning får normalt inte överstiga 60 % [2]. Med dos förstås här miljödosekvivalent eller riktningdosekvivalent (se bilaga A, punkt A.1.3.1). Samma rekommendation gäller för mätning av ytaktiviteten (se bilaga A, punkt A.1.3.1). Mätningarnas syfte är att säkerställa arbetstagarnas eller befolkningens strålsäkerhet.

Den relativa responsen (= förhållandet mellan det faktiska värdet av den storhet som mätaren visar och den som ska mätas, det vill säga mätarens respons, relativ avvikelse i förhållande till referensenergin) hos en dosmätare eller dosratsmätare som är avsedd för mätning av miljödosekvivalent får inte understiga 0,71 (-29 %) eller överstiga 1,67 (+67 %) i energiområdena 20 keV–150 keV eller 80 keV–1,5 MeV för fotonstrålning. Kravet uppfylls om den relativa responsen ligger inom intervallet 0,71...1,67 i en av dessa energiområdena [3].

Egenfelet hos en larmförsedd persondosmätare får inte överstiga 30 % [16].

## 2.3 Mätning av inandningsluftens radonhalt

Vid mätning av inandningsluftens radonhalt får mätosäkerheten inte överstiga 30 % (se bilaga A, punkt A.1.3.1).

Egenfelet hos en mätare som mäter radonhalten får inte överstiga 20 %. Vid repeterade mätningar får mätresultatens standardavvikelse inte överstiga 10 % vid en radonhalt av 400–600 Bq·m<sup>-3</sup>. Det av influensstorheter (fukthalt, temperatur eller bakgrundsstrålningens dosrat) orsakade felet får inte överstiga 10 %.

## 2.4 Strålningsmätningar i samband med dosövervakning av arbetstagare

När man med fotonstrålning testar det för arbetstagares dosövervakning använda dosimetrisystemet får mätresultatet med 95 % konfidens inte avvika mer från det sanna värdet än 33 % nedåt eller 50 % uppåt\*) när mätresultatet ligger nära den årliga dosgränsen. Med dos avses här persondosekvivalenten  $H_p(d)$  (se bilaga A, punkt A.1.3.2). Mätresultatets största tillåtna relativa avvikelse, det vill säga gränsvärdena för dosmätarens respons vid olika doser kan uttryckas med villkoret\*) [5]:

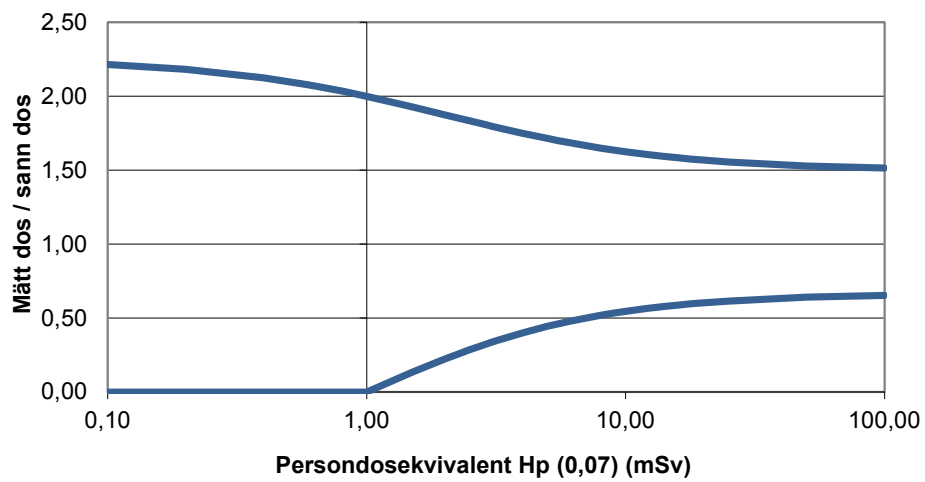
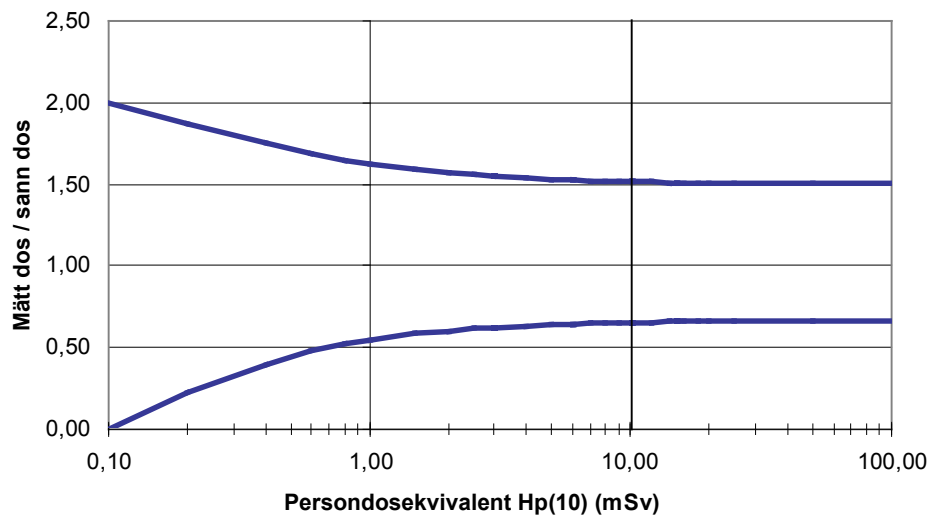
$$\frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{2H_0}{H_0 + H_t}\right) \leq R \leq \frac{3}{2} \cdot \left(1 + \frac{H_0}{2H_0 + H_t}\right) \quad (2)$$

där  $R = H_m/H_t$  är dosmätarens respons, dvs. förhållandet mellan den med mätaren mätta dosen  $H_m$  och dosens sanna värde  $H_t$ .  $H_0$  är registreringströskeln. Tröskelvärdena för registrering ges i direktivet ST 7.4. Bild 1 visar de s.k. trumpetkurvor som erhålls med formel (2) (för persondosekvivalenten  $H_p(10)$  har trumpetkurvorna ritats med värdet  $H_0 = 0,1$  mSv och för persondosekvivalenten  $H_p(0,07)$  med värdet  $H_0 = 1$  mSv). Mätresultatets noggrannhet ska vara sådan att förhållandet mellan den med mätaren mätta dosen och dosens sanna värde ligger mellan trumpetkurvorna.

Dosimetrisystemets kalkylmässigt skattade mätosäkerhet (se punkt 2.1) får inte överstiga 42 % [5]. Värdet har bestämts på grundval av villkoret som uttrycks genom formeln (2).

Vid bedömningen av dosimetrisystemets noggrannhet bör man bland annat beakta den mätta strålningens slag och energi, dosratens och dosens variationsintervall samt strålningens eventuella pulskaraktär. Förhållandena i omgivningen, såsom luftens temperatur och fukthalt, elektromagnetiska fält eller annan strålning som man inte avser mäta, får inte orsaka betydande fel i mätningen.

\*) Man bör observera att -33 % och +50 % avvikelse gäller bara för fotonstrålning. För neutroner med okänd energi och för elektroner kan avvikelsen vara större [6].



**Bild 1.** Trumpetkurvor som avbildar förhållandet mellan mätt dos och sann dos som funktion av dosen.

## 2.5 Mätningar i samband med bestämning av patienters strålningsexponering

Inom röntgendiagnostik får mätosäkerheten i patientens strålningsexponering (ytdos, dosareaprodukt, genomsnittlig körtelvävnadsdos, dos-längdprodukt, tomografidosens volymmedelvärde; se bilaga A, punkt A.2.1) inte överstiga 25 %. Samma noggrannhetskrav tillämpas också då apparaten är försedd med en display som visar patientens kalkylerade strålningsexponering. Vid mätning av en röntgendiagnostikapparats strålningsproduktion (luftkerma/elmängd [11]) får mätosäkerheten inte överstiga 7 % i de fall resultatet används för bestämning av patientens strålningsexponering [15].

Vid mätning av doser i extern strålbehandling får mätosäkerheten hos den i vatten absorberade dosen (se bilaga A, punkt A.2.2) på referensdjupet i ett vattenfantom på strålfältets mittaxel [12] inte överstiga 3 % vid fotonstrålning och 4 % vid elektronstrålning. Mätarnas egenskaper ska uppfylla kraven i SFS-EN-standarderna [8]. Vid dosmätningar på enskilda patienter (in-vivo-mätning) får mätosäkerheten hos den i vatten absorberade dosen inte överstiga 5 %. Vid mätningar på fotonkällor för brachyterapi får mätosäkerheten hos referensluftkermaraten (se bilaga A, punkt A.2.2) inte överstiga 5 % och vid mätningar på betakällor får mätosäkerheten hos referensdosraten (se bilaga A, punkt A.2.2) inte överstiga 15 % vid typiska luftkerma- eller dosrater.

Vid isotopundersökningar och -behandlingar får egenfelet hos mätningen av aktiviteten (vid mätning med aktivitetsmätare dvs. isotopkalibrator) i radioaktiva läkemedelspreparat inte överstiga 10 % när man mäter aktiviteter strörre än 3,7 MBq [9]. När man mäter aktiviteter mindre än 3,7 MBq får egenfelet vara större, men dess största möjliga värde ska uppskattas. När mätningen av aktiviteten hos ett radiofarmakum som ges till en patient upprepas med oförändrad mätgeometri får ett enskilt mätresultat i en serie av tio mätningar inte avvika mer från medelvärdet än 5 % vid de aktivitetsvärden som typiskt förekommer i behandlingen. Vid höga aktiviteter får olinjäriteten hos aktivitetsmätarens respons inte vara större än 5 %.

## 2.6 Mätningar för kvalitetssäkring

Noggrannheten hos mätare som används för mätning av funktionsdugligheten och säkerhetsegenskaper hos strålningsalstrande apparater och kvalitetskontrollen av dem ska vara sådan att osäkerheten i mätresultatet inte överskrider den tillåtna mätosäkerheten för den mätta storheten.

Vid mätning av dosraten hos läck- och den spridda strålningen från en röntgendiagnostikapparat får mätosäkerheten inte överstiga 20 % [7]. Kravet tillämpas på dosrater som svarar mot de acceptansgränser vilka i apparatstandarderna uppställs för läck- och den spridda strålningens dosrat.

# 3 Krav på strålningsmätare och -mätsystem samt godkännande

Mätningar för uppskattning av strålningsexponering och för tryggnad av säkerheten ska utföras med en metod som påvisats vara tillförlitlig (enligt 23 § strålskyddslagen). Strålningsmätare eller mätuppställningar som används vid mätning av strålning ska vara ändamålsenligt kalibrerade. Enligt 12 § strålskyddsförordningen ska övervakningen av arbetsförhållanden som påverkar de arbetstagares strålningsexponering vilka utför strålningsarbete ordnas med hjälp av metoder som godkänts av Strålsäkerhetscentralen.

En strålningsmätarens mätnoggrannhet ska uppfylla i kapitel 2 angivna krav. Strålningsmätaren eller mätsystemet ska kalibreras enligt kraven i punkt 4.2.

## 3.1 Strålningsmätningar i samband med övervakning av arbetsförhållandena och befolkningens strålsäkerhet

### 3.1.1 Krav på mätare

En strålningsmätare ska lämpa sig för mätning av den aktuella strålningen vid de värden på den mätta storheten och de strålslag och -energier som förekommer på eller nära platsen där strålningen används (se bilaga A). Exempelvis om be-

tastrålare används som öppna strålkällor på arbetsplatsen ska en mätare som mäter radioaktiv ytkontamination kunna detektera betastrålning med de energinivåer som betastrålarna alstrar åtminstone vid de värden på ytaktiviteten som svarar mot gränsvärdena för ytkontamination. Mätarens lämplighet påverkas också av om den är avsedd att mäta värdet på strålningsstorheten eller bara detektera den aktuella strålningen.

Vid strålningsmätningar i partikelacceleratorer ska det särskilt säkerställas att strålningsmätaren lämpar sig för mätning av pulsad strålning från acceleratoren.

Om det är möjligt att strålningens dosrat i en avvikande situation på eller nära platsen där strålning används kan överskrida övre gränsen för mätarens mätområde ska mätaren i detta fall indikera överbelastning.

En strålningsmätare ska vara av sådan konstruktion och så robust att den passar för de förhållanden som råder på eller nära platsen där strålning används, bland annat vad gäller temperatur och fukthalt. Exempelvis vid användning utomhus ska mätarens funktionsduglighet säkerställas.

Mätarens funktion får inte störas mer av yttre faktorer, såsom el- och magnetfält eller strålning av annat slag än den mätta, än vad som kan accepteras inom ramen för den erfordrade mätnoggrannheten.

### 3.1.2 Godkännande av mätare

Strålsäkerhetscentralen godkänner strålningsmätare för avsedd användning när säkerhetstillståndet beviljas eller när verksamheten granskas. Godtagbarheten bedöms med ledning av data från mätarens typgranskning och provning samt andra tillförlitliga data som visar mätarens egenskaper.

## 3.2 Mätning av inandningsluftens radonhalt

Övervakningen av de arbetsförhållanden som påverkar arbetstagarnas strålningsexponering från radon ska ordnas med metoder som godkännts av Strålsäkerhetscentralen. Radonhalten i rumsluften ska fastställas genom en av Strålsäkerhetscentralen godkänd mätmetod (social- och hälsovårdsministeriets beslut om maximivärden för radonhalten i rumsluft (944/1992)).

### 3.2.1 Krav på mätningar, mätare och mätmetoder

De i 27 § strålskyddsförordningen, i direktivet ST 12.1 och i social- och hälsovårdsministeriets beslut (944/1992) givna åtgärds- och maximivärdena för radonhalten är årsmedelvärden. Den bästa uppskattningen av årsmedelvärdet fås genom långa mätningar under uppvärmningsperioden [26].

Bestämningen av inandningsluftens radonhalt ska utföras som en integrerande mätning under en sammanhängande tid av minst två månader. Är en integrerande mätning på arbetsplatsen inte möjlig på grund av mätförhållandena (exempelvis underjordiska gruvor och brytningsarbetsplatser) eller av andra motiverade, för den enskilda arbetsplatsen specifika orsaker, kan mätningen undantagsvis också utföras under en kort tid eller momentant. Det större fel som en kortvarig eller momentan mätning är behäftad med ska beaktas när slutsatser dras av mätresultatet. Radonhalten under arbetstid ska bestämmas genom en mätning som varar oavbrutet i minst sju dygn.

Övre gränsen för mätområdet hos mätinstrument som mäter radonhalten i inandningsluften ska sträcka sig till minst värdet 5 000 Bq·m<sup>-3</sup> om instrumentet används för att konstatera överskridning av åtgärds- eller maximivärdet för radonhalten i inandningsluften på arbetsplatsen eller i bostaden och om en för instrumentet typisk mättid används. Övre gränsen för mätområdet hos mätinstrument som mäter radonhalten i inandningsluften ska sträcka sig till minst värdet 10 000 Bq·m<sup>-3</sup> om instrumentet används för övervakning av arbetstagarnas arbetsförhållanden (varvid arbetstagarens dos beräknas ur mätresultatet) och om en för instrumentet typisk mättid används. Den nedre gränsen för mätområdet hos mätinstrument som mäter radonhalten i inandningsluften får inte överstiga 20 Bq·m<sup>-3</sup> så att man kan genom mätningar verifiera effektiviteten av radonreparationer.

### 3.2.2 Godkännande av mätinstrument och mätmetoder

Godkännande av mätinstrument eller mätmetod som mäter radonhalten i inandningsluften ska sökas skriftligen hos Strålsäkerhetscentralen. Godkännandet sker på grundval av företedda handlingar och provresultat. Vid behov provar

också Strålsäkerhetscentralen mätinstrumentet. I godkännandebeslutet anges vid behov villkor och restriktioner gällande användningen av mätinstrumentet eller mätmetoden.

Godkännandet av mätinstrument eller mätmetod som mäter radonhalten i inandningsluften sker för en viss tid som är högst fem år åt gången, varefter godkännandet på ansökan kan förlängas. Beslutet om mätinstrumentet gäller enskilda sökanden och instrumenttyper. Därtill ska man beakta att varje instrument ska kalibrerats separat (se punkt 4.2).

Om den som beviljas godkännande för instrument för radonmätning lånar ut instrumentet vidare ansvarar denne för att mätinstrumentet är i skick och kalibrerat. Denne person ska vid utlåning av instrumentet även se till att den som lånar instrumentet vet att man ska hänvisa till godkännandebeslutet (godkännandebeslutets diarienummer) vid rapportering av mätresultat till kunden och myndigheter.

### 3.3 Strålningsmätningar i samband med dosövervakning av arbetstagare

Dosövervakningen av arbetstagarna ska grunda sig på individuella dosmätningar av en godkänd dosimetritjänst eller på andra individuella bestämningar av doserna. Med *godkänd dosimetritjänst* förstås en i 12 § strålskyddslagen avsedd verksamhetsenhet eller tjänsteproducent som ansvarar för mätande och fastställande av individuella stråldoser vid övervakningen av arbetstagarnas strålningsexponering och vars behörighet för denna verksamhet Strålsäkerhetscentralen har konstaterat.

#### 3.3.1 Allmänna krav på dosimetritjänst

##### Allmänt

Dosimetritjänstens verksamhet ska ordnas så att den på behörigt sätt kan granskas och övervakas med stöd av i Finland gällande lag. Dosimetritjänsten ska ha beredskap att betjäna sina kunder på det inhemska språk som är arbetspråk på den aktuella driftplatsen. I enskilda fall kan en dosimetritjänst av särskilda, grundade skäl godkännas som använder ett språk som kunden förstår.

##### Ackreditering och kvalitetsledning

Dosimetritjänsten ska vara ackrediterad. Avsteg från detta krav kan göras bara av särskilda, grundade skäl. I detta fall ska dosimetritjänsten kunna visa att den tillämpar ett certifierat kvalitetssystem enligt standarden SFS-EN ISO/IEC 17025 [10].

Dosimetritjänsten ska ha ett skriftligt kvalitetssäkringsprogram. Dosimetritjänsten ska övervaka tillförlitligheten hos sina dosimetrisystem med lämpliga metoder, vilka ska beskrivas i kvalitetssäkringsprogrammet. I kvalitetssäkringsprogrammet ska också beskrivas de uppgifter som ingår i det periodiska underhållet av dosimetrisystemen. I mån av möjlighet ska dosimetritjänsten också delta i internationella mätjämförelser.

Kvalitetssäkringsprogrammet ska behandla åtminstone följande frågor:

- periodiska kalibreringar och beaktande av dessas resultat
- övervakning av att resultaten av dosbestämningarna är rättvisande
- granskning och övervakning av överskridningarna av de åtgärdsgränser som uppställts för kvalitetskontrollen
- kontroll av skicket hos dosmätare med tillhörande material
- beaktande av att dosmätare med tillhörande material ska förnyas.

I kvalitetssäkringsprogrammet ska redovisas intervallerna med vilka proven ska utföras, åtgärdsgränserna och sättet för dokumentation av resultaten samt åtgärderna i händelse av att gränserna överskrids.

##### Behandling, förvaring och rapportering av resultaten

Dosimetritjänsten ska ha ändamålsenliga data-system för bearbetning av arbetstagarnas exponeringsdata.

Dosimetritjänsten ska säkerställa att mätningarna av de individuella stråldoserna ger tillförlitliga resultat och vid behov begära mera information av verksamhetsutövaren så att resultatet kan verifieras. Dosimetritjänsten ska ha skriftliga anvisningar för hur man observerar



avvikande mätresultat och verifierar att de är rättvisande. Vid behov ska man i samverkan med verksamhetsutövaren verifiera att mätresultaten är korrekta.

Dosimetritjänsten ska förvara uppgifterna i samband med dosbestämningarna i minst fem år om inget annat bestämts när dosimetritjänsten godkändes.

Dosimetritjänsten ska utan dröjsmål till verksamhetsutövaren inge uppgifterna om de uppmätta arbetstagarnas individuella doser, dock senast inom två veckor efter att dosen mätts och senast tre veckor efter att dosmätaren anlämt till dosimetritjänsten.

Om djupdosen mätt med dosmätare är större än 10 mSv eller ytdosen mätt med fingerdosmätare är större än 100 mSv ska dosimetritjänsten ofördröjligen underrätta verksamhetsutövaren om dosen.

Dosimetritjänsten ska ha de behövliga systemen för att sända exponeringsdata till Strålsäkerhetscentralens dosregister. I direktiv ST 7.4 ges närmare krav gällande insändningen av exponeringsdata.

### 3.3.2 Krav på dosimetrisystemet

Med dosimetrisystem avses en helhet som innefattar persondosmätare, läsare och all kringutrustning samt programvara och anvisningar som används vid bestämning av doserna. Uppgifterna om dosimetrisystemet ska vara dokumenterade.

### Storheter och enheter

I dosimetrisystemet ska persondosekvivalenten  $H_p(d)$  användas som storhet (se bilaga A, punkt A.1.3.2). Vid djupt penetrerande strålning är storheten vanligen persondosekvivalenten  $H_p(10)$  (djupdos) och vid svagt penetrerande strålning persondosekvivalenten  $H_p(0,07)$  (ytdos). Djupdosen används också vid bestämning av dosen från neutronstrålning. Vid bestämning av doser till fingrarna används ytdosen. Vid bestämning av doser till ögat används persondosekvivalenten  $H_p(3)$ .

Enheten för alla ovan nämnda storheter är sievert (Sv). De mätta doserna ska anges i multipelenheten millisievert (mSv).

### Kalibrering

Dosimetrisystemet ska kalibreras innan det tas i drift och därefter med bestämda intervaller på det sätt som Strålsäkerhetscentralen bestämde när dosimetrisystemet godkändes.

### Systemets tekniska prestanda

Dosimetrisystemet ska innan det tas i drift provas för att bedöma dess tekniska prestanda. De prov och acceptansgränser för proven som tillämpas för olika system ges i standarderna om system (se till exempel IEC och ISO). Vid provning ska alltid den nyaste eller senast tillämpade standarden användas. Oavsett system ska åtminstone följande egenskaper hos systemet med tillhörande dosmätare provas:

- dosmätarens respons som funktion av dosen
- responsen som funktion av strålningens energi
- responsen som funktion av strålningens infallsriktning
- dosmätarens detektionsgräns
- inverkan av förhållandena i omgivningen.

### Noggrannhet

Kraven på dosimetrisystemets noggrannhet ges i punkt 2.4.

### Externa prov

Strålsäkerhetscentralen utför årligen blindtest i samband med övervakningen av dosimetritjänstens verksamhet. I blindtestet bestrålas dosmätarna med kända doser av strålkvaliteter (strålslag och -energier) som svarar mot mätarnas driftförhållanden. Mätarna levereras till dosimetritjänsten, som bestämmer doserna enligt sedvanlig praxis. Förhållandet mellan fotonstrålningens mätta och sanna doser ska uppfylla villkoret som uttrycks av ekvation (2) i punkt 2.4. På elektron- och neutronstrålning tillämpas villkoret efter skön.

### 3.3.3 Godkännande av dosimetritjänst och -system

Godkännande av dosimetritjänsten och -systemet ska sökas skriftligen hos Strålsäkerhetscentralen. För godkännandet ska bland annat följande uppgifter tillställas Strålsäkerhetscentralen:

- dosimetritjänstens firmanamn och eventuella FO-nummer, ansvarig person, kontaktuppgifter samt dosimetritjänstens eventuella andra driftställen om de har annan adress än dosimetritjänsten
- detaljerad beskrivning av dosimetrisystemet samt dokumentation av kalibreringar och provningar
- kopior av eventuellt ackrediteringsbeslut och eventuella protokoll över ackrediteringsorganets periodiska bedömningar.

Tilläggsuppgifter och närmare anvisningar om hur godkännande söks fås av Strålsäkerhetscentralen.

Vid godkännandet tillämpas rapporten Radiation Protection 160 [24], standarden SFS-EN ISO/IEC 17025 [10] och internationella standarder om dosimetrisystem. Godkännandet sker på grundval av företedda handlingar och provresultat samt granskning som Strålsäkerhetscentralen företar hos dosimetritjänsten. Vid behov provar Strålsäkerhetscentralen också dosimetrisystemet. Vid handläggningen av godkännandet behandlas systemet som en helhet, varvid resultatet av ett enskilt prov inte är avgörande, utan provresultatets betydelse avgörs alltid från fall till fall. Mätosäkerheten i dosmätningarna ska dock uppfylla ställda krav (se punkt 2.4).

Dosimetritjänsten godkänns för en viss tid som är högst fem år åt gången. Därefter kan godkännandet förlängas på ansökan. En ny ansökan ska lämnas in två månader innan det föregående godkännande upphör eller i enlighet med villkoren i godkännandebeslutet.

### 3.4 Mätningar i samband med bestämning av patienters strålningsexponering

I 17 § social- och hälsovårdsministeriets förordning (423/2000) föreskrivs bland annat att

- stråldoserna till följd av röntgenundersökningar regelbundet ska mätas eller uppskattas kalkylmässigt
- den aktivitet som ges till patienten vid isotopundersökningar ska mätas med en aktivitetsmätare.

I 31 § förordningen bestäms att på ny röntgenutrustning som tas i bruk vid behov ska finnas en ruta, mätare eller motsvarande anordning som

utvisar den strålning patienten exponerats för.

I kvalitetssäkringsprogrammet för en strålningsbehandlingsapparat ska alltid ingå av verksamhetsutövaren utförd doskalibrering (se direktiv ST 2.1).

#### 3.4.1 Krav på mätare

Mätare som används för att bestämma patienters strålningsexponering ska

- vid röntgenundersökningar lämpa sig för bestämning av en storhet som beskriver patientens strålningsexponering i energiområdet för strålningen från röntgenfotograferings- eller genomlysningsskärmen
- vid extern strålbehandling lämpa sig för mätning av den i vatten absorberade dos som produceras av behandlingsapparatens vid det använda strålslaget och energiområdet för strålningen
- vid brachyterapi lämpa sig för mätning av den referensluftkermarat som produceras av en fotonkälla och den referensdosrat (i vatten absorberad dos) som produceras av en betakälla
- vid isotopundersökningar och -behandlingar lämpa sig för mätning av aktiviteten hos ett radiofarmakum som ges till patienten.

Om en röntgenundersökningsapparat är försedd med en display som visar patientens kalkylerade strålningsexponering gäller samma krav för den som för motsvarande mätare.

Mätarens funktion får inte störas mer av yttre faktorer, såsom el- och magnetfält eller strålning av annat slag än det mätta, än vad som kan accepteras inom ramen för den erforderade mätnoggrannheten (se kapitel 2). Särskilt vid strålbehandling uppnås den erforderade noggrannheten bara genom användning av flera korrektionsfaktorer som beaktar inverkan av övriga storheter som påverkar mätresultatet.

Bestämningen av patienters strålningsexponering vid röntgenundersökningar inom hälsovården behandlas i Strålsäkerhetscentralens guide [11]. Dosmätningar på apparater för extern strålbehandling behandlas i Strålsäkerhetscentralens rapport [12].

#### 3.4.2 Godkännande av mätare

Strålsäkerhetscentralen godkänner praxis för bestämning av patienters strålningsexponering och

de använda strålningsmätarna när säkerhetstillståndet beviljas eller när verksamheten granskas. Godtagbarheten bedöms med ledning av data från mätarens typgranskning och provning samt andra tillförlitliga data som visar mätarens egenskaper. Vid behov görs referensmätningar.

## 4 Kvalitetssäkring av strålningsmätningar

### 4.1 Användning av sakkunniga vid mätningarna

Genom de strålningsmätningar som beskrivs i detta direktiv säkerställs strålsäkerheten för arbetstagare i strålningsarbete, för befolkningen eller för patienter. Den person som ansvarar för mätningarna skalvara väl förtrogen med den använda mätmetoden och mätarna och vara insatt i hur mätningarna utförs. Vid bedömningen av mätmetodens och mätarnas lämplighet och vid säkerställandet av mätningarnas tillförlitlighet kan vid behov en strålningssakkunnig anlitas (se direktiv ST 1.4). Vid strålningsmätningar inom hälsovården krävs att en sakkunnig i medicinsk fysik har fastställt de använda metodernas och strålningsmätarnas lämplighet (se direktiv ST 1.4).

### 4.2 Kalibrering av strålningsmätare

Med kalibrering av en strålningsmätare förstås en åtgärd där man med hjälp av kända strålkvaliteter (strålslag och -energier) bestämmer sambandet mellan mätarens utslag och den mätta strålningsstorhetens sanna värde. Storhetens sanna värde bestäms med en mätnormal, som är en noggrann och tillförlitlig strålningsmätare eller strålkälla. Kalibreringens resultat anges vanligen i form av en kalibreringsfaktor som är förhållandet mellan storhetens sanna värde och mätarens utslag. När man mäter med mätaren ska man för att erhålla rätt mätresultat multiplicera dess utslag med den kalibreringsfaktor som svarar mot den mätta strålkvaliteten om inte en ny kalibreringskoefficient kan konfigureras i mätaren.

En strålningsmätare ska kalibreras för de strålningsstorheter och strålkvaliteter som mäts med mätaren. Inverkan av strålningsstorhetens, såsom dosratens, variation på strålningsmätarens respons ska antingen vara känd på grundval av strålningsmätarens typegenskaper eller ska storhetens variation beaktas vid kalibreringen.

Strålningsmätaren ska kalibreras så att kalibreringens spårbarhet till det internationella mätsystemet kan påvisas. Med spårbarhet avses det samband som mätarens mätvärde har med mätnormalerna via en obruten jämförelsekedja som anger samtliga osäkerhetsfaktorer vid jämförelserna. Enligt strålningens användning kalibreras strålningsmätarna antingen i mätnormallaboratorier, i kalibreringslaboratorier eller på den plats där strålningen används. Vid strålbehandling ska dosmätaren som används för doskalibrering av behandlingsapparaten (se direktiv ST 2.1) kalibreras av ett nationellt mätnormallaboratorium som anslutit sig till det internationella MRA-avtalet<sup>\*)</sup> eller av ett ackrediterat kalibreringslaboratorium. Också ska kalibreringsbestrålningar av dosimetrisystemet för mätning av arbetstagarnas individuella doser utföras av ett nationellt mätnormallaboratorium som anslutit sig till det internationella MRA-avtalet eller av ett ackrediterat kalibreringslaboratorium.

Strålningsmätare som används för övervakning av arbetsförhållandena ska kalibreras innan mätarna tas i bruk och därefter minst vart femte år under användningen, om inte Strålsäkerhetscentralen när den godkänt mätmetoden eller verksamheten eller av annan anledning bestämt något annat. Den av tillverkaren utförda första kalibreringen förslår ofta för driftsättningen av en sådan mätare, om kalibreringens ovan nämnda spårbarhet till mätnormalerna är säkerställd. En dos- och dosratsmätare för extern fotonstrålning som uppfyller de i punkt 2.2 nämnda noggrannhetskraven behöver bara kalibreras med en strålkvalitet.

Integrerande mätsystem för inandningsluf-

<sup>\*)</sup> Med MRA-avtalet (Mutual Recognition Arrangement) avses ett avtal enligt vilket nationella mätnormallaboratorier som anslutit sig till avtalet som jämbördiga erkänner mät- och kalibreringsintyg utfärdade av de andra avtalsparterna.

tens radonhalt ska kalibreras minst en gång per år. Kalibreringen ska baseras på exponering av minst 20 mätare. Kontinuerligt registrerande mätare som är godkända för kontroll av inandningsluftens radonhalt på arbetsplatser ska omkalibreras minst vartannat år.

Dosimetrisystem för mätning av arbetstagares individuella doser ska kalibreras innan det tas i drift och därefter med bestämda intervaller på det sätt som Strålsäkerhetscentralen bestämt i samband med godkännandet av systemet (se punkt 3.3.2).

Mätare (inklusive displayer som visar kalkylerade värden) som används för bestämning av patienters strålningsexponering inom röntgendiagnostik ska kalibreras innan mätaren (eller displayer som visar kalkylerade värden) tas i bruk och därefter minst vart femte år om inte Strålsäkerhetscentralen när den godkänt mätmetoden eller verksamheten eller av annan anledning bestämt något annat. Vid extern strålbehandling ska mätare som används för doskalibrering av behandlingsapparaterna och vid brachyterapi ska mätare eller strålkällor som används för kalibrering av strålkällorna kalibreras minst vart tredje år. I isotopmedicin ska kalibrerade aktivitetsmätare användas. Den av tillverkaren utförda första kalibreringen är tillräcklig om kalibreringens spårbarhet till mätnormalerna är säkerställd.

### 4.3 Kontroll av strålningsmätarens funktionsduglighet

Mellan kalibreringarna ska strålningsmätarens funktion provas med jämna mellanrum. Här ingår kontroll av mätarens allmänna skick och ett funktionsprov som görs med en lämplig strålkälla. Funktionsdugligheten hos dosimetrisystem (se punkt 3.3.2) och vid strålbehandling funktionsdugligheten hos mätuppställningar som används för doskalibrering av behandlingsapparaterna och för andra mätningar i kvalitets-säkringssyfte ska övervakas enligt ett skriftligt kvalitetssäkringsprogram (se direktiv ST 2.1).

*Kontrollen av mätarens allmänna skick* ska göras före varje användning av mätaren. Vid denna kontroll ska det åtminstone konstateras att mätaren inte har synliga skador och att dess reglage eller tryckknappar fungerar normalt, att

normalt värde på bakgrundsstrålningen visas och att en eventuell torkpatron och batterier i batteridrivna mätare är i skick. Kontrollen omfattar också kinkar på kablar, nötta partier på isoleringen och att kontaktstiften är rena ifall mätaren är försedd med en separat detektormodul som med kabel eller ett kontaktdon ansluts till elektronikdelen, exempelvis en elektrometer och en jonkammare.

Med mätarens *funktionsprov* avses provdrift av mätaren i kända och reproducerbara strålningsförhållanden. I funktionsprovet kan man utnyttja den strålning som vid normal verksamhet förekommer på arbetsplatsen, exempelvis strålkällornas läckstrålning. Till vissa mätare hör en separat kontrollkälla. De vid funktionsprovet erhållna mätresultaten ska jämföras med strålningsvärden som på basis av tidigare motsvarande mätningar är kända eller med ett med kontrollkällan uppmätt referensvärde. Om avvikelsen från de kända strålningsvärdena eller från referensvärdet är större än den med funktionsprovet eller referensvärdena förbundna mätosäkerheten ska mätarens funktionsduglighet säkerställas genom noggrannare undersökningar och vid behov ska mätaren kalibreras på nytt. Funktionsprovet ska göras med jämna mellanrum (desto oftare ju mer mätaren används) och alltid när kontrollen av mätarens allmänna skick eller andra orsaker ger anledning befara att mätarens funktionsduglighet påverkats.

Kontroll av mätinstruments funktionsduglighet behandlas även i Strålsäkerhetscentralens direktiv VAL 4 om strålningsmätare som används vid räddningsverksamhet och civilskydd.

## Litteratur

- 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  $^{222}\text{Rn}$  and  $^{220}\text{Rn}$  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. Med. Phys. 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 (Allmänna kompetenskrav för provnings- och kalibreringslaboratorier). General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Helsingfors: Finlands Standardiseringsförbund SFS.
- 11 Röntgentutkimuksista potilaalle aiheutuvan säteilyaltistuksen määrittäminen (Bestämning av patienters strålningsexponering vid röntgenundersökningar). STUK informerar 1/2004. Helsingfors: Strålsäkerhetscentralen; 2004.
- 12 Kosunen A, Sipilä P, Parkkinen R, Jokelainen I, Järvinen H. Sädehoidon annosmittaukset. Ulkoisen sädehoidon suurenergisten fotoni- ja elektronisäteilykeilojen kalibrointi (Dosmätningar vid strålbehandling. Kalibrering av högenergetiska foton- och elektronstrålknippen vid extern strålbehandling). STUK-STO-TR 1. Helsingfors: Strålsäkerhetscentralen; 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 (Bestämning av patientens strålningsexponering i mammografin). 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).

## BILAGA A

### Vid strålningsmätningar använda storheter och enheter

I denna bilaga presenteras de storheter som används vid strålningsmätningar i samband med strålningsverksamhet samt storheternas enheter och de begrepp som behövs när storheterna definieras. Dessutom beskrivs de dosimetriska grundstorheter som används vid definitionen av storheterna. Storheter som behövs vid den tekniska kvalitetskontrollen av utrustningen behandlas inte. Strålskyddsstorheter som används vid tillämpningen och beräkningen av maximivärdena för strålningsexponeringen behandlas i direktivet ST 7.2.

I detta direktiv behandlas bara mätning av joniserande strålning. Joniserande strålning definieras på följande sätt:

#### Joniserande strålning

Joniserande strålning är överföring av energi i form av partiklar eller elektromagnetiska vågor med en våglängd av högst 100 nm eller en frekvens av minst  $3 \cdot 10^{15}$  Hz och med förmågan att direkt eller indirekt alstra joner.

### A.1 Strålskydd av arbetstagare och befolkningen

#### A.1.1 Allmänt

Maximivärdena för arbetstagares och befolkningens strålningsexponering (dosgränser) vid strålningsverksamhet uttrycks i strålskyddsförordningen med hjälp av ekvivalentdosen och den effektiva dosen (strålskyddsstorheter). Dessa storheter, liksom storheterna intecknade ekvivalentdosen och intecknade effektiva dosen, vilka används vid uppskattningen av exponeringen för intern strålning, är kalkylerade storheter som inte direkt kan mätas. Vid övervakningen av exponeringen behöver man därför också mätbara storheter som ger tillräckligt exakta närmevärden för de aktuella storheterna eller på grundval av vilka närmevärdena kan beräknas [2,13,14].

#### A.1.2 Grundstorheter

##### Partikelfluens

Partikelfluensen  $\Phi$  är kvoten mellan  $dN$  och  $da$ , där  $dN$  är det antal partiklar som inträder i en sfär vars storcirkel har ytan  $da$ :

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

Enheten för partikelfluens är  $\text{m}^{-2}$ .

##### Absorberad dos

Absorberade dosen  $D$  är kvoten mellan  $d\bar{\varepsilon}$  och  $dm$ , där  $d\bar{\varepsilon}$  är den genomsnittliga energi som den joniserande strålningen överför till masselementet  $dm$ :

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

Enheten för absorberad dos är gray (Gy).  
1 Gy = 1 J·kg<sup>-1</sup>.

##### Dosekvivalent

Dosekvivalenten  $H$  är produkten av absorberade dosen  $D$  och kvalitetsfaktorn  $Q$ :

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

Enheten för dosekvivalent är sievert (Sv).  
1 Sv = 1 J·kg<sup>-1</sup>.

##### Genomsnittlig absorberad dos

Genomsnittliga absorberade dosen  $D_T$  i en vävnad eller ett organ  $T$  är kvoten mellan  $\varepsilon_T$  och  $m_T$ , där  $\varepsilon_T$  är den totala energi som den joniserande strålningen överför till vävnaden eller organet med massan  $m_T$ :

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

Enheten för genomsnittlig absorberad dos är gray (Gy). 1 Gy = 1 J·kg<sup>-1</sup>.

### Kvalitetsfaktor

Kvalitetsfaktorn  $Q$  beror av den linjära energiöverföringen  $L$  (se nedan) och beaktar att strålning av olika kvalitet har olika förmåga att åstadkomma men för hälsan (särskilt stokastiska skadeverkningar).

Sambandet mellan kvalitetsfaktorn  $Q$  och linjära energiöverföringen  $L$  fås ur tabell 1.

**Tabell 1.** Sambandet mellan kvalitetsfaktorn  $Q$  och linjära energiöverföringen  $L$  [13].

Energiöverföring $L$ i vatten (keV·μm <sup>-1</sup> )	Kvalitetsfaktor $Q(L)$
<10	1
10–100	0,32 $L$ –2,2
>100	300/√ $L$

Kvalitetsfaktorn används i definitionen av dosekvivalenten (se formel A3).

### Medelkvalitetsfaktor

Medelkvalitetsfaktorn  $\bar{Q}$  är kvalitetsfaktorns medelvärde i en punkt i vävnaden där den absorberade dosen härrör från partiklar med olika  $L$ -värden.  $\bar{Q}$  fås ur uttrycket:

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

där

$D_L = dD(L)/dL$  är den absorberade dosens ändringshastighet med avseende på linjära energiöverföringen  $L$ ,

$Q(L)$  är kvalitetsfaktorn vid linjära energiöverföringen  $L$ , och

$\int_0^{\infty} D_L dL = D$  är absorberade dosen i den granskade punkten.

### Obegränsad linjär energiöverföring

Den obegränsade linjära energiöverföringen  $L_{\infty}$  är kvoten mellan  $dE$  och  $dl$ , där  $dE$  är den ge-

nomsnittliga energi som en laddad partikel med energin  $E$  avger till ett medium när den tillryggalägger sträckan  $dl$  i mediet:

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

Enheten för obegränsad linjär energiöverföring är J·m<sup>-1</sup>. Vanligen används enheten keV·μm<sup>-1</sup>. 1 J·m<sup>-1</sup> ≈ 6,24·10<sup>9</sup> keV·μm<sup>-1</sup>

I denna bilaga benämns  $L_{\infty}$  linjär energiöverföring och betecknas med  $L$ .

### Aktivitet

Aktiviteten  $A$  hos en radionuklid är antalet spontana kärnförändringar  $dN$  i nuklidmängden  $N$  under tiden  $dt$ , dividerat med detta tidsintervall:

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

Enheten för aktivitet är Bq. 1 Bq = 1 s<sup>-1</sup>.

### A.1.3 Mätbara storheter

#### A.1.3.1 Övervakning av arbetsförhållandena

#### Begrepp

#### ICRU-sfär

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 [2]. Den består av en sfär med diametern 30 cm i ett vävnadsekvivalent material med en densitet av 1 g·cm<sup>-3</sup> vars massa består av 76,2 % syre, 11,1 % kol, 10,1 % väte och 2,6 % kväve.

#### Utvidgat fält

Ett utvidgat fält är ett strålfält där partikel-fluensen och dess riktungs- och energifördelning har samma värden i hela den granskade volymen som de har i referenspunkten i det verkliga fältet.



**Riktat utvidgat fält<sup>\*)</sup>**

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.

Det utvidgade och det riktade utvidgade fältet är fiktiva, ur de verkliga strålfälten härledda fält som används vid definitionerna av miljödosekvivalent och riktningsdosekvivalent.

**Storheter****Miljödosekvivalent**

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

**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  $\Omega$ .

Enheten för miljödosekvivalent och riktningsdosekvivalent är sievert (Sv).

För djupt penetrerande strålning bestäms miljödosekvivalenten och riktningsdosekvivalenten vanligen på ett djup av 10 mm och för svagt penetrerande strålning på ett djup av 0,07 mm för huden och 3 mm för ögat. Djupet mäts inåt från sfärens yta.

**Aktivitetskoncentration**

Aktivitetskoncentrationen  $c$  är aktiviteten  $A$  hos ett radioaktivt ämne i en volym  $V$  eller en massmängd  $m$ , dividerad med denna volym eller massa:

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

Enheten för aktivitetskoncentration är  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  eller  $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

Begreppet aktivitetskoncentration används vanligen vid mätning av radioaktiva ämnen i luften. Aktivitetskoncentrationen hos radonet i inandningsluften benämns kort *radonhalt*.

Aktiviteten dividerad med den granskade volymen kan även kallas volymaktivitet och aktiviteten dividerad med den granskade massan massaktivitet.

**Ytaktivitet**

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

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

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

**A.1.3.2 Dosövervakning av arbetstagare****Persondosekvivalent**

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

Enheten för persondosekvivalent är sievert (Sv).

För djupt penetrerande strålning bestäms persondosekvivalenten vanligen på ett djup av 10 mm och för svagt penetrerande strålning på ett djup av 0,07 mm för huden och 3 mm för ögat.

Persondosekvivalenten  $H_p(10)$  kallas ofta *djupdos* och persondosekvivalenten  $H_p(0,07)$  *ytdos*. Med *ytdos* avses i regel vilken som helst stråldos på kroppens eller ett annat föremåls yta och med *djupdos* en stråldos på ett visst djup i en vävnad eller i ett annat ämne (se t.ex. punkt A.2.1).

Djupdosen är ofta ett gott närmevärde för effektiva dosen när personlig strålskyddsutrustning inte används. Är kroppen däremot i huvudsak skyddad och djupdosen mäts utanpå skyddsutrustningen är den effektiva dosen betydligt mindre än djupdosen och måste i varje enskilt fall beräknas ur den uppmätta djupdosen.

<sup>\*)</sup> Riktat utvidgat fält också kallas för utvidgat, riktat fält.

Ytdosen är ett närmevärde för hudens ekvivalentdos lokalt och persondosekvivalenten  $H_p(3)$  ett närmevärde för ekvivalentdosen till ögats lins.

### Intag

Intag är aktiviteten hos ett radioaktivt ämne som kommit in i kroppen.

Enheten för intag är becquerel (Bq).

Beräkningen av den in-tecknade effektiva dosen från intern strålning med hjälp av intag och dosomvandlingskoefficienter beskrivs i direktivet ST 7.3.

## A.2 Strålskydd av patienter

### A.2.1 Röntgendiagnostik

#### 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).

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

#### Ytdos

Ytdos ( $ESD$ ) är den i luft absorberade dosen i skärningspunkten mellan strålkneppets mittaxel och patientens yta och innefattar också strålning som från patienten sprids till denna punkt.

Enheten för ytdos är gray (Gy).

I litteraturen används även samma namn för den i huden absorberade dosen i nämnda punkt. Vid röntgenfotografering kan dessa storheters talvärden i praktiken anses lika stora (omvandlingskoefficient  $1,0 \pm 0,05$ ).

#### Dos-areaprodukt

Dos-areaprodukten ( $DAP$ ) definieras som integralen

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

där  $D(x,y)$  är den i luft absorberade dosen i ett plan vinkelrätt mot strålkneppets mittaxel. I praktiken är integrationsområdet  $A_M$  lika med  $DAP$ -mätarens area, som ska vara klart större än strålkneppets geometriska tvärsnitt vid mätaren.

Enheten för dos-areaprodukt är  $Gy \cdot m^2$  (vanligen  $Gy \cdot cm^2$ ).

Om strålfältet är homogent och klart avgränsat är  $DAP$  approximativt lika med  $D \cdot A$ , där  $D$  är den i luft absorberade dosen mitt i området och  $A$  strålkneppets tvärsnittsarea i nämnda plan. Om man i formeln (A10) använder luftkerma  $K_a(x,y)$  i stället för den i luft absorberade dosen får man *kerma-areaprodukten* ( $KAP$  eller  $P_{KA}$ ). Vid röntgendiagnostik är det i praktiken ingen skillnad på dessa storheter.

#### Dos-längdprodukt

Dos-längdprodukten ( $DLP$ ) definieras som integralen<sup>\*)</sup>

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

där  $D(z)$  är den av undersökningen orsakade, i luft absorberade dosen som funktion av läget  $z$  (dosprofilen) längs en rät linje parallell med röntgenrörets rotationsaxel. Den granskade undersökningen kan vara ett enskilt axiellt snitt eller ett varv av röntgenröret vid spiral-DT eller en fullständig undersökning av ett längre område. För dosprofilen vid ett enskilt axiellt snitt eller ett varv av röntgenröret används nedan beteckningen  $D_1(z)$  och för motsvarande doslängdprodukt beteckningen  $DLP_1$ .

Enheten för dos-längdprodukt är  $Gy \cdot m$  (vanligen  $mGy \cdot cm$ ).

<sup>\*)</sup> Integrationsgränserna vid praktiska mätningar är ändliga.

Dosen  $D(z)$  mäts som i luft absorberad dos i ett fantom av akrylplast (polymetyl-metakrylat, PMMA) [11] enligt IEC-standard [22].

Om undersökningen består av  $N$  axiella snitt eller  $N$  varv av röntgenröret fås dos-längdprodukten  $DLP$  för hela undersökningen också ur dosprofilen  $D_1(z)$  för det enskilda axiella snittet eller varvet av röntgenröret:

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

### Viktad dos-längdprodukt

Den viktade dos-längdprodukten ( $DLP_w$ ) definieras på följande sätt:

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

där  $DLP_c$  är dos-längdprodukten mitt i ett fantom av akrylplast enligt IEC-standard [22] och  $DLP_p$  är dos-längdprodukten på fantomets yta (på 10 mm djup, beräknat som medelvärde för punkter i olika riktningar) [11].

### Tomografidosens volymmedelvärde

Den genomsnittliga absorberade dosen ( $CTDI_{vol}$ ) vid en datortomografiundersökning (DT-undersökning) bestående av flera axiella snitt eller vid spiral-DT flera varv av röntgenröret definieras vanligen på följande sätt:

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

där  $D(z)$  är den dosprofil som hela undersökningen ger upphov till längs röntgenrörets rotationsaxel ( $z$ ) i det undersökta området på det granskade avståndet från rotationsaxeln, och  $d$  är det undersökta områdets längd i rotationsaxelns riktning.

Enheten för tomografidosens volymmedelvärde är Gy (vanligen mGy).

$CTDI_{vol}$  kan också beräknas på följande sätt ur dosprofilen  $D_1(z)$  som mäts under ett enskilt

axiellt snitt eller under ett varv av röntgenröret vid spiral-DT, där  $\Delta d$  är motsvarande förflyttning av patientbordet<sup>\*\*</sup>:

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

När doserna  $D(z)$  och  $D_1(z)$  avser den i luft absorberade dosen i ett standardfantom kan man analogt med den viktade dos-längdprodukten definiera och mäta den viktade genomsnittliga absorberade dosen  $CTDI_{vol}$  i ett standardfantom. Detta kallas *tomografidosens volymmedelvärde* [11]<sup>\*\*\*</sup>.

Enligt formlerna (A13) och (A14) gäller:

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

### Genomsnittlig körtelvävnadsdos

Genomsnittlig körtelvävnadsdos (MGD) beskriver dosen i körtelvävnaden i bröstet. Bestämningen av körtelvävnadsdosen bygger på mätning av luftkerma  $K_i$  för strålningen som patienten utsätts för, strålningens halvvärdes-skikt (HVL) samt bröstet tjocklek och halten av körtelvävnad. Mätning av körtelvävnadsdos och HVL behandlas till exempel i Strålsäkerhetscentralens rapport (Toroi mm. 2011 [25]). MGD beräknas enligt följande formel:

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

där  $g$  är körtelvävnadsdosens konversionskoefficient som tar i beaktande strålningskvaliteten (HVL-värdet) och bröstets tjocklek,  $s$ -koefficienten tar i beaktande det anodmaterial och den filtrering som använts och  $c$ -koefficienten tar i beaktande halten av körtelvävnad i bröstet.

Enheten för genomsnittlig körtelvävnadsdos är Gy (vanligen mGy·cm).

<sup>\*\*</sup>) Enligt standarden IEC 60601-2-44 är integrationsgränserna vid praktiska mätningar  $\pm 50$  mm.

<sup>\*\*\*</sup>) Tomografidosens volymmedelvärde ( $CTDI_{vol}$ ) hade tidigare märkningen  $MSAD_w$ .

## A.2.2 Strålbehandling

### I vatten absorberad dos

Den i vatten absorberade dosen ( $D_w$ ) är den genomsnittliga energi som den joniserande strålningen överför till ett vattenelement, dividerad med vattenelementets massa.

Enheten för i vatten absorberad dos är gray (Gy).

*Absorberad dosrat* (i vatten) är den (i vatten) absorberade dosens tillväxt under ett kort tidsintervall, dividerad med tidsintervallet. Den i vatten absorberade dosens *referensdosrat* är den absorberade dosraten i en referenspunkt i vatten [12].

### 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).

*Luftkermarat* är luftkermats tillväxt under ett kort tidsintervall, dividerad med tidsintervallet. *Referensluftkermarat* är luftkermaraten på en meters avstånd från en brachyterapiapparats strålkälla (se direktiv ST 2.1).

### A.2.3 Isotopmedicin

I isotopmedicin behövs *aktiviteten* hos det radiofarmakum som givits patienten som utgångsdata för beräkningen av den i vävnaden absorberade dosen (se bilaga A, punkt A.1.2).

## BILAGA B

## Sammandrag av noggrannhetskrav vid strålningsmätningar\*)

Mätningens syfte eller objekt	Mätt storhet	Noggrannhetskrav	
		Mätosakerhet högst	Övriga krav
Övervakning av arbetsförhållandena och befolkningens strålsäkerhet	miljödosekvivalent	60 % (rekommenderat maxvärde)	Relativ respons i intervallet 0,71 (-29,5)–1,67 (+67 %) i energiområdena 20 keV–150 keV eller 80 keV–1,5 MeV för fotonstrålning (en av dessa räckor)
	riktningsdosekvivalent	60 % (rekommenderat maxvärde)	20 % (egenfel)
	ytaktivitet	60 % (rekommenderat maxvärde)	
Dosövervakning av arbetstagare	persondosekvivalent	42 %	-33 % eller +50 % (avvikelse från sanna värdet, dosen nära årliga dosgränsen)
Radon i inandningsluften	radonhalt	30 %	20 % (egenfel)
Bestämning av patienters strålningsexponering (röntgendiagnostik)	ESD, DAP, MGD, DLP, $CTDI_{tot}$	25 %	10 % (fel pga influensstorheter)
	strålningsproduktion (luftkerma/el mängd)	7 %	10 % (standardavvikelse, repeterad mätning)
	luftkermarat	20 % (apparatens läck- och spridda strålning)	
Bestämning av patienters strålningsexponering (strålbekämpning)	i vatten absorberad dos	3 %	
		4 % (elektroner)	
		5 % (in-vivo-mätning på enskilda patienter)	
	referensluftkermarat	5 % (brachyterapi)	
	referensdosrat	15 % (betastrålning, brachyterapi)	
Bestämning av patienters strålningsexponering (isotopmedicin)	aktivitet		10 % (egenfel, aktivitet >3,7 MBq) 5 % (avvikelse från medelvärdet av en mätserie om tio mätningar) 5 % (olinjäritet)

\*) Kraven gäller fotonstrålning om inget annat nämns.