

# Vejledning om strålebeskyttelse ved arbejde med åbne radioaktive kilder

## Indholdsfortegnelse

	Side
1. Forord	2
2. Indledning	2
3. Lovgivning	3
3.1 Tilladelse og ansvarlig leder	3
3.2 Bidrag	5
3.3 Laboratorieindretning	5
3.4 Radioaktivt affald	7
3.5 Transport af radioaktive stoffer	10
3.6 Uheld	10
4. Dosisgrænser og dosisovervågning	11
4.1 Dosisgrænser	11
4.2 Dosisovervågning	13
4.3 Graviditet og amning	15
5. Praktisk strålebeskyttelse af arbejdstagere	18
5.1 Vejledning i håndtering af radioaktive stoffer	18
5.2 Afskærmning	19
5.3 Kontrolmåling og rensning	20
6. Yderligere oplysninger	22
6.1 Bekendtgørelser m.v.	22
6.2 Vejledninger m.v.	22
6.3 Rådgivning om strålebeskyttelse	22
7. Tabeller	23
8. Ordforklaringer	24

## 1. Forord

Statens Institut for Strålehygiejne (SIS) udsender hermed den ottende udgave af vejledningen med råd om strålehygiejne og sikkerhed ved arbejde med radioaktive stoffer i laboratoriet. Denne nye udgave af "Vejledning om strålebeskyttelse ved arbejde med åbne radioaktive kilder" udgives i forbindelse med ændrede regler på transportområdet og ikrafttrædelse af Sundhedsstyrelsens bekendtgørelse nr. 993 af 5. december 2001 om transport af radioaktive stoffer den 1. januar 2002. De ændrede bestemmelser har primært betydning for vejledningens afsnit om transport af radioaktivt affald fra laboratorier, som er ajourført i overensstemmelse hermed.

Ord i *kursiv* er forklaret i kapitel 8.

## 2. Indledning

Statens Institut for Strålehygiejne er en afdeling i Sundhedsstyrelsen, der varetager opgaver af strålebeskyttelsesmæssig karakter inden for de områder, hvor der anvendes ioniserende stråling. SIS forvalter bl.a. lov nr. 94 af 31. marts 1953 om brug m.v. af radioaktive stoffer. I loven hedder det: "Radioaktive stoffer af enhver art, enten de er i fri tilstand eller i blanding med andre stoffer eller indbygget i maskiner og apparater, må kun fremstilles, indføres eller besiddes, såfremt tilladelse er meddelt af Sundhedsstyrelsen". Dette betyder, at Sundhedsstyrelsen som hovedregel skal være bekendt med enhver import, opbevaring, brug m.v. af radioaktive stoffer i Danmark.

SIS er organiseret i to tilsyns-sektioner og tre tekniske sektioner:

- Radioaktivitetstilsynet, der som hovedopgave fører tilsyn med brugen af *åbne* og *lukkede radioaktive kilder* på lærestudier, forskningsinstitutioner og i industrien. Tilsynet har endvidere som arbejdsområde opgaver vedr. naturlig radioaktivitet, forbrugerprodukter indeholdende radioaktive stoffer, transport af radioaktive stoffer, nukleare anlæg og uheldsberedskab.
- Røntgentilsynet, der fører kontrol med alle røntgenanlæg.
- Sektionen for Dosimetri og Radioaktivitetsmåling, der udfører kalibreringer og målinger af radioaktivitet og *ioniserende stråling*. Sektionen måler bl.a. indholdet af radioaktivitet i urinprøver fra *stråleudsat personale* og bestemmer doser til fingre og hænder ved hjælp af termoluminescensdosimetre. Desuden fører sektionen tilsyn med anvendelsen af åbne og lukkede radioaktive kilder og *radioaktive lægemidler* på hospitaler og medicinske forskningsafdelinger.
- Persondosimetrilaboratoriet, der mod betaling tilbyder levering af filmdosimetre til stråleudsat personale.
- Teknisk Service, der løser interne opgaver inden for områderne elektronik, EDB og mekanisk værkstedsarbejde.

### 3. Lovgivning

Grundlaget for vejledningen findes i et antal bekendtgørelser/vejledninger fra Sundhedsstyrelsen; disse er opregnet i kapitel 6 i denne vejledning.

Bekendtgørelserne m.m. kan fås ved henvendelse til SIS eller hentes på [www.sis.dk](http://www.sis.dk).

#### 3.1 Tilladelse og ansvarlig leder

Tilladelse til indkøb og brug af åbne radioaktive kilder skal være givet af Sundhedsstyrelsen, før arbejdet må påbegyndes. Rent praktisk foregår dette ved, at et ansøgningsskema indsendes til SIS. Ansøgningsskemaet skal være udfyldt og underskrevet af den person, som det er hensigten skal være ansvarlig for de strålebeskyttelsesmæssige forhold på laboratorierne. Af ansøgningen skal det fremgå, hvilken uddannelse den *ansvarlige leder* har, hvilket omfang, man ønsker tilladelsen skal have, laboratorieforhold m.v.

Tilladelsen vil være personlig, dvs. at den er gældende, så længe den ansvarlige leder er ansat på virksomheden/institutionen. Såfremt den ansvarlige leder forlader sit job, er det den, der er ansvarlig for virksomheden/institutionen, der skal sørge for, at navnet på den nye ansvarlige leder meddeles SIS i god tid før skiftet, ellers vil tilladelsen til indkøb og brug af radioaktive stoffer være ugyldig.

Af den skriftlige tilladelse vil det fremgå, hvilke anvendelser tilladelsen omfatter (f.eks. rent fysiske og kemiske laboratorieforsøg og/eller dyreforsøg) og hvor store mængder radioaktive stoffer, der må være på lager og, hvor store mængder der må anvendes ad gangen af hver *radionuklidgruppe*.

Det vil desuden fremgå af tilladelsen, hvilke lokaler SIS har godkendt eller registreret til håndtering af åbne radioaktive kilder. Normalt forudsætter en tilladelse til brug af åbne kilder minimum et laboratorium, der kan klassificeres som et type C eller et type B isotoplaboratorium (se kapitel 3.3 om laboratorieindretning).

Tilladelsen er som regel udformet som en standardtilladelse (S1-, S2- eller S3-tilladelse) til indkøb og brug af åbne radioaktive kilder.

En S1-tilladelse har følgende omfang:

S1	RADIONUKLIDGRUPPE		
	2 MBq	3 MBq	4 MBq
Lagerbeholdning	500	5.000	50.000
I brug pr. gang til: <i>Simple våde operationer</i>	50	500	5.000
<i>Våde operationer</i>	5	50	500
Operationer med tørt materiale	0,5	5	50

Der gives normalt ikke tilladelse til arbejde med *radionuklider* i radionuklidgruppe 1. Tabel 1 (kapitel 7) angiver hvilken radionuklidgruppe de mest anvendte radionuklider tilhører. I bekendtgørelse nr. 954/2000 bilag 2 findes der en oversigt over gruppeinddelingen af en lang række radionuklider i gruppe 2, 3 og 4.

For mange laboratorier vil en S1-tilladelse være fuldt tilstrækkelig, men der kan være anvendelser, hvor de anvendte aktiviteter ikke kan holdes inden for rammerne af en S1-tilladelse. Her er der mulighed for at supplere tilladelsen for bestemte radionuklider eller at søge om en S2- eller S3-tilladelse, hvis omfang er henholdsvis 10 og 100 gange større end en S1-tilladelse. Det er bl.a. formålet med anvendelsen og den strålehygiejniske standard af laboratoriet, der afgør, om en S2- eller en S3-tilladelse kan gives. En S1-tilladelse kræver normalt, at arbejdet udføres i et type C isotoplaboratorium, og en S2- eller S3-tilladelse kræver tilsvarende et type B isotoplaboratorium.

Hvis afdelingen ikke i besiddelse af et godkendt isotoplaboratorium, kan man ansøge om en begrænset tilladelse. En sådan tilladelse til håndtering af åbne radioaktive kilder i et almindeligt laboratorium vil altid være radionuklidspecifik, og omfanget vil maksimalt svare til 1/100 S1-tilladelse. Lokalet skal anmeldes og registreres men ikke godkendes af SIS.

Tilladelse til anvendelse af åbne radioaktive kilder udenfor laboratorier, f.eks. ved sporstofundersøgelser i naturen eller lækagesporing på rørinstallationer vil ligeledes altid være radionuklidspecifik.

Ved indkøb af radioaktive stoffer skal reglerne i Sundhedsstyrelsens vejledning vedrørende overførsel af radioaktive stoffer følges. Af denne vejledning fremgår det, at såfremt man skal indkøbe åbne radioaktive kilder fra et EU-land, kan disse umiddelbart indkøbes, dvs. man skal ikke på forhånd have opnået Sundhedsstyrelsens godkendelse af indkøbet. Skal man derimod indkøbe åbne radioaktive kilder fra et land udenfor EU, skal en udfyldt indkøbsformular underskrevet af den ansvarlige leder forinden indsendes til SIS. Såfremt SIS kan godkende ordren, fremsender SIS formularen til den angivne speditør. Er speditøren ikke angivet, sendes formularen retur til den ansvarlige leder, der selv fremsender formularen til speditøren.

Det er den, der er ansvarlig for virksomheden/institutionen, der skal sørge for, at navnet på den ansvarlige leder meddeles Sundhedsstyrelsen. Som ansvarlig leder godkender SIS kun personer,

som har et godt kendskab til strålebeskyttelse og har uddannelse og erfaring i at håndtere åbne radioaktive kilder. SIS har godkendt gennemførelsen af forskellige isotopkurser på de højere læreanstalter, som værende kvalificerende til hvervet som ansvarlig leder. En oversigt over godkendte isotopkurser kan rekvireres hos SIS.

Det er bl.a. den ansvarlige leders pligt at sørge for:

- at betingelserne i tilladelsen overholdes
- at de strålehygiejniske forhold på laboratorierne er tilfredsstillende
- at personalet, som arbejder med radioaktive stoffer, er nøje instrueret
- at der føres fortegnelse over instruerede personer
- at udarbejde instrukser for håndtering af åbne radioaktive kilder til alle personalegrupper
- at der føres fortegnelse over beholdningen af affald
- at der føres protokol over udførte kontrolmålinger
- at udarbejde instruks om forholdsregler i tilfælde af uheld
- at ansvarsfordelingen ved fravær af ansvarlig leder er klargjort
- at arbejdet i øvrigt foregår i overensstemmelse med kravene opstillet i Sundhedsstyrelsens bekendtgørelse nr. 954 af 23. oktober 2000

Det kan endelig nævnes, at der skal gives særskilt tilladelse fra Sundhedsstyrelsen til at viderelevere radioaktive stoffer til andre brugere.

### **3.2 Bidrag**

Sundhedsstyrelsen opkræver et årligt bidrag for tilsyn med sikkerhedsforanstaltninger på radioaktivitetsområdet, jf. Indenrigsministeriets bekendtgørelse nr. 734 af 21. september 1999 om opkrævning af bidrag som ændret ved bekendtgørelse nr. 820 af 18. september 2001.

Opkrævningen sker rent praktisk ved, at SIS én gang årligt, normalt i oktober måned, udsender en opgørelse over forfaldne bidrag med tilhørende girokort. Forfaldne bidrag for en afdeling opgøres efter antallet af tilladelser og antallet af godkendte laboratorier, der på udsendelsestidspunktet er opført i SIS's administrative database.

### **3.3 Laboratorieindretning**

Krav til indretning af isotoplaboratorier afhænger af mængden af åbne radioaktive kilder, der skal opbevares og håndteres i disse. Som led i behandlingen af en ansøgning om tilladelse til indkøb og brug af åbne radioaktive kilder besigtiger SIS lokaliteterne i de tilfælde, hvor en godkendelse er påkrævet.

For at opnå en S1-tilladelse skal afdelingen være udstyret med mindst et laboratorium, der kan klassificeres som et type C isotoplaboratorium.

De vigtigste indretningskrav til et type C isotoplaboratorium er følgende:

- Der skal være et velfungerende stinkskab eller andet særligt ventilationsanlæg, f.eks. en Laminar Air Flow-bænk (LAF-bænk), som er tilsluttet udsugning eller udstyret med filtre, der sikrer at åbne radioaktive kilder ikke recirkuleres til laboratorieluften. LAF-bænke med horizontalt flow, hvor luften blæses imod personalet accepteres ikke.

- Udsugningen fra stinkskaftet skal være jævn og hvirvelløs, og lufthastigheden i stinkskaftets åbning skal være ca. 0,5 m/sekund med fuld arbejdsåbning. Stinkskaftet skal mindst én gang årligt kontrolleres af et afprøvningsfirma eller lignende.
- Alle overflader (vægge, gulve, bordplader, stolesæder m.v.) skal være intakte og så rengøringsvenlige, at mulighederne for permanent forurening med radioaktive stoffer minimeres. Af den grund kan bl.a. bordplader af træ og stolesæder af stof ikke accepteres i et isotoplaboratorium. Der må desuden ikke være svært rengørlige fuger mellem fast-monteret inventar, f.eks. mellem borde og mellem borde og vægge.
- Der skal være mindst én vask i isotoplaboratoriet. Ved mindst én vask skal hanerne kunne betjenes uden brug af hænderne.
- Radioaktivitetsskilt (Dansk Standard 734.2) skal være opsat på alle fungerende indgangsdøre til isotoplaboratoriet, og opbevaringsskaftet til de radioaktive stoffer, f.eks. køleskab, skal ligeledes være afmærket. For at skiltet skal være tilstrækkeligt iøjnefaldende, skal det for et firkantet skilt som minimum svare til R5-format (21 cm x 14,8 cm) og for et trekantet skilt svare til T5-format (22,5 cm sidelængde).
- Der må ikke være kontorplads i isotoplaboratoriet.

For at opnå en S2- eller S3-tilladelse skal afdelingen være udstyret med mindst et type B isotoplaboratorium. De vigtigste indretningskrav til et type B isotoplaboratorium er, i tillæg til ovenfor nævnte krav til et type C isotoplaboratorium, følgende:

- Der skal være et forrum, der fungerer som en sluse til isotoplaboratoriet. Forrummet skal være indrettet med håndvask, nødbruiser og garderobefaciliteter, og standarden skal være som i selve laboratoriet.
- Der skal være separat udsugning fra stinkskaftet i isotoplaboratoriet. Afkastet skal udmunde mindst 2 m over taghøjde af de omliggende bygninger og så langt fra eksisterende indsugningskanaler, at recirkulation ikke kan finde sted.
- Der skal være svagt undertryk i isotoplaboratoriet i forhold til de øvrige rum, og luftskiftet i laboratoriet skal under arbejde være mindst 10 pr. time.
- Mindst én vask i isotoplaboratoriet skal være forbundet til separat faldstamme, der frem til første samlebrønd ikke har andre tilløb.

Såfremt afdelingen er i besiddelse af ét type C isotoplaboratorium, kan afdelingen inden for rammerne af Sundhedsstyrelsens tilladelse håndtere åbne radioaktive kilder i mængder, der maksimalt svarer til 1/100 S1-tilladelse i afdelingens almindelige laboratorier. Til disse lokaler er der hverken krav om godkendelse eller registrering.

Afdelinger, der ikke er udstyret med et type C isotoplaboratorium, kan opnå Sundhedsstyrelsens tilladelse til håndtering af åbne radioaktive kilder i mængder, der maksimalt svarer til 1/100 S1-tilladelse i et almindelig laboratorium. Tilladelsen vil i givet fald være radionuklidspecifik, og lokalet skal anmeldes og registreres hos Sundhedsstyrelsen, før det tages i brug.

Ved almindelige laboratorier forstås lokaler, som har almindelig laboratoriestandard med modstandsdygtige, rengøringsvenlige overflader. Indgangsdøre til laboratorier, hvor der anvendes åbne radioaktive kilder i mængder under 1/100 S1-tilladelse, skal ikke forsynes med advarselsskilte for radioaktivitet.

Isotoplaboratorier og andre lokaler, der enten midlertidigt eller permanent tages ud af drift, skal kontrolmåles for forurening med radioaktive stoffer (se kapitel 5.3 om kontrolmåling og rensning). Isotoplaboratorier og andre lokaler, der permanent tages ud af drift skal desuden skriftligt afmeldes til SIS med henvisning til den udførte kontrolmåling.

Anvendes et lokale kun periodevis til arbejde med åbne radioaktive kilder, skal advarselsskiltningen fjernes uden for sådanne perioder.

Særskilte lokaler, der kun bruges til opbevaring af radioaktive stoffer skal ikke godkendes af SIS, blot registreres i SIS's administrative database. Lokalerne skal derfor anmeldes til SIS før ibrugtagning. Tilsvarende regler gælder, hvis der benyttes særskilte lokaler til opbevaring af radioaktivt affald, jf. bilag 9 i bekendtgørelse nr. 954/2000.

### 3.4 Radioaktivt affald

Et af formålene med bortskaffelsen af det radioaktive affald er at fjerne den aktivitet, som ikke længere skal anvendes, fra laboratorierne, for herved at hindre, at affaldet bliver en kilde til bestråling og forurening. Det er den ansvarlige leders pligt at udarbejde en instruks for bortskaffelsen, og alle særlige forhold og regler ved bortskaffelsen bør fremgå af denne. Bortskaffelsen skal tilrettelægges på en sådan måde, at den del af radioaktiviteten, der bortskaffes ved forbrænding eller med spildevandet fører til mindst mulig bestråling af befolkningen.

Der findes ret detaljerede regler for bortskaffelsen i bekendtgørelse nr. 954/2000, bilag 8. De her givne grænser for den del af affaldet, der kan bortskaffes "direkte", er fastsat ud fra en vurdering af stråledosis til personer uden for laboratoriet, f.eks. de personer som skal transportere affaldet til forbrænding.

For at lette håndteringen og behandlingen af radioaktivt affald er det meget vigtigt, at der sker en sortering allerede i laboratoriet. En stor del af affaldet er "inaktivt" og kan derfor bortskaffes som ikke-radioaktivt affald. Sortering af affald indeholdende radionuklider fra radionuklidgrupperne 2, 3 og 4 kan ske efter principperne i bilag 8 i bekendtgørelse nr. 954/2000, der kort refereres her:

Det radioaktive affald skal opdeles i tre grupper:

- **Fast affald, der kan klassificeres som inaktivt**
- **Affald, der kan bortskaffes direkte via forbrænding eller afløb**
- **Affald, der kræver behandling**

På mange forskningslaboratorier sorterer man i forvejen alt affald og bortskaffer en del som særligt risikoaffald, der er let genkendeligt, fordi det indsamles i gule sække eller kasser. Det kan være en fordel at udnytte, at dette system findes i forvejen, fordi det giver en stor sikkerhed for korrekt bortskaffelse.



### Fast affald, der kan klassificeres som inaktivt

Affaldet kaldes inaktivt, når aktiviteten i affaldet er mindre end 0,01 MBq/kg. Eksempler på denne type affald kan være tom emballage, laboratorieudstyr og andet materiale (handsker, papir m.v.), der har været brugt i laboratoriet. Dette affald kan bortskaffes via normal renovation (de "brune" sække). **Advarselmærker for radioaktivitet skal fjernes eller på anden måde annulleres på tømte beholdere og tømt emballage, inden det bortskaffes som inaktivt affald.**

### Affald, der kan bortskaffes via forbrænding eller afløb

Fast radioaktivt affald, der overholder de nedenfor opstillede krav, kan bortskaffes via forbrænding. Vejen til forbrænding skal være kendt, således at man ikke risikerer, at affaldet ender et forkert sted, f.eks. på en losseplads. Der skal derfor være en aftale med forbrændingsanlægget om modtagelse af denne type affald. Der skal endvidere foreligge aftaler med eventuelle transportører m.v., som sikrer, at affaldet transporteres til det pågældende forbrændingsanlæg. Affaldet kan transporteres som såkaldte undtagelseskolli, og sækkene skal mærkes med UN-nummer 2910 samt bruttovægt, hvis denne er større end 50 kg. Reglerne foreskriver desuden, at ordet "Radioaktiv" skal stå indvendigt, så man får øje på det, når emballagen åbnes, hvad enten dette sker planmæssigt eller ved et uheld. For en sæk betyder det, at hver af de enkelte poser, dåser eller lign., som lægges i sækken og som indeholder radioaktivt affald, skal mærkes med ordet "Radioaktiv".

Hver sæk, der sendes til forbrænding, må højst indeholde:

Radionuklidgruppe	Aktivitetsmængde, MBq
2	5
3	50
4	500

Dosishastigheden må på intet punkt af emballagens (sækkens) yderside overstige 5  $\mu\text{Sv/h}$ . Kan dosishastigheden ikke overholdes, selv om aktiviteten er under grænsen, må affaldet deles, ompakkes eller sættes til henfald. Det anbefales at reducere aktiviteten og dermed dosishastigheden ved henfald, hvis halveringstiden er mindre end 20 dage. Radioaktivt affald, der stilles til henfald, skal mærkes som radioaktivt stof, med oplysninger om radionuklider, aktiviteten på en bestemt dato samt bortskaffelsestidspunkt.

Kan de ovenfor opstillede krav ikke overholdes, og kan aktiviteten eller dosishastigheden ikke reduceres til en værdi under grænserne ved henfald, skal affaldet betragtes som **Affald, der kræver behandling**.

Flydende radioaktivt affald kan bortskaffes via normalt afløb, hvis nedenstående krav til maksimal aktivitetsmængde, der må hældes i laboratorieafløb pr. måned pr. tilladelse, overholdes:

Radionuklidgruppe	Aktivitetsmængde, MBq
2	5
3	50
4	500

Før den radioaktive væske hældes i afløbet, skal den fortyndes til en koncentration på under 0,1 MBq/l. Det er ikke hensigtsmæssigt at hælde den radioaktive opløsning i vasken og derefter skylle efter med vand for at nå ned på den tilladelige koncentration, dels fordi opløsningen ikke bliver ordentligt fortyndet, og dels fordi denne metode kan medføre, at radioaktivitet sprøjter op på personen.

Kan man ikke holde sig under de ovenfor anførte aktivitetsgrænser, må affaldet betragtes som **Affald, der kræver behandling** og må så bortskaffes via et "isotop afløb", opsamles til henfald eller transporteres til Risø.

Affald fra væskescintillationstællinger udgør et specielt problem på grund af indholdet af organiske opløsningsmidler. Hvis koncentrationen i tælleglassene er mindre end 0,1 MBq/l, og opløsningens sammensætning, i henhold til miljølovgivningen, ikke forhindrer dette, kan glassene med indhold sendes til destruktion på forbrændingsanlæg eller, hvis det udelukkende drejer sig om H-3, C-14 eller S-35, til Kommunekemi i Nyborg. Tælleglassene skal emballeres, så der ikke kan trænge væske ud fra knuste glas. Hvis koncentrationen i tælleglassene overstiger 0,1 MBq/l, emballeres glassene i en lukket beholder med sugende materiale (vermiculit, papir eller lignende), og denne lukkede enhed kan så betragtes som fast affald, der kan bortskaffes direkte via forbrænding, hvis aktiviteten er under de ovenfor anførte grænser for fast affald.

### **Affald, der kræver behandling**

Fast radioaktivt affald, der ikke uden videre kan sendes til forbrænding, fordi dosishastigheden på overfladen af emballagen er for stor, eller fordi aktivitetsindholdet er for højt, og hvor henfald ikke er praktisk muligt, kan bortskaffes på en af følgende måder :

- Det kan sendes til Behandlingsstationen på Forskningscenter Risø
- Det kan transporteres til forbrænding på forbrændingsanlæg efter regler fastsat af Sundhedsstyrelsen i det enkelte tilfælde

Flydende radioaktivt affald, hvor aktivitetsmængden er for stor til, at det kan bortskaffes via et almindeligt laboratorieafløb, og henfald ikke er praktisk gennemførligt, kan bortskaffes på en af følgende måder:

- Det kan sendes til Behandlingsstationen på Forskningscenter Risø
- Det kan bortskaffes via et af Sundhedsstyrelsen godkendt afløb. Koncentrationen af radioaktive stoffer i spildevandet ved udledning til offentlig kloak må herved ikke overstige 0,1 MBq/l

Behandlingsstationen på Forskningscenter Risø modtager og oplagrer radioaktivt affald fra danske laboratorier m.m. Aftale skal træffes med Risø på tlf. 46 77 46 77

Luftformigt radioaktivt affald: Behandlingen af radioaktivt affald eller udslip i form af gas giver normalt ikke problemer. I forbindelse med godkendelse af specielle laboratorier, hvor der håndteres store mængder gasformige radioaktive stoffer, vil Sundhedsstyrelsen give regler for håndteringen og eventuelt stille krav om opsamling af gassen.

### **3.5 Transport af radioaktive stoffer**

De generelle regler for transport af radioaktive stoffer findes i Sundhedsstyrelsens bekendtgørelse nr. 993 af 5. december 2001 om transport af radioaktive stoffer. I denne bekendtgørelse, der kan fås ved henvendelse til SIS, henvises til de specifikke bestemmelser for de enkelte transportmåder.

Det er ikke tilladt at sende radioaktive stoffer med posten.

Nærmere vejledning kan fås ved henvendelse til SIS.

### **3.6 Uheld**

På laboratoriet skal forefindes en detaljeret instruks for, hvorledes personalet skal forholde sig i tilfælde af uheld med radioaktive stoffer, og den skal kendes og følges af alle. Det er den ansvarlige leders pligt at udarbejde en sådan uheldsinstruks.

Uheld, som kan have medført utilsigtet bestråling af personale eller andre personer, bortkomne radioaktive kilder og større forurening af personer, lokaler, udstyr eller miljø, skal straks meldes til den ansvarlige leder og til Statens Institut for Strålehygiejne på tlf. 44 94 37 73 (døgnvagt).

## 4. Dosisgrænser og dosisovervågning

### 4.1 Dosisgrænser

Ioniserende stråling er relativt let at måle og påvise i meget små mængder, og inden for strålehygiejnen er der tradition for en meget "kvantitativ" holdning med måling og udregning af doser og angivelse af risici i tal. Af nedenstående figur kan man se, at middelværdien af den naturlige baggrundsstråling i Danmark er 3 mSv pr. år. 2 mSv skyldes indånding af den naturligt forekommende radionuklid radon, og den resterende 1 mSv stammer fra den kosmiske stråling, gammastråling fra undergrunden og byggematerialer samt den naturlige radioaktivitet i vore fødevarer. Undersøgelser med røntgen og radioaktive lægemidler giver patienten en dosis af størrelsesordenen 0,01 til 10 mSv pr. undersøgelse og alle danskere en gennemsnitsdosis på 1 mSv pr. år. Alle disse doser er *effektive doser*.

Den Internationale Kommission for Strålebeskyttelse (ICRP) har siden 1929 udsendt anbefalinger vedr. strålebeskyttelse. Disse anbefalinger har "via" EF/EU-direktiver dannet udgangspunkt for den danske lovgivning på området. Det grundlæggende formål med ICRP's anbefalinger er at forhindre akutte skader (*deterministiske skader*) som f.eks. stråleforbrænding af hud samt at begrænse forekomsten af senskader (*stokastiske skader*) dvs. forskellige kræftformer og genetiske skader. Hovedprincipperne i ICRP's system til dosis-begrænsning er:



- at al anvendelse af ioniserende stråling skal være berettiget
- at alle stråledoser skal holdes så lave som rimeligt opnåeligt under hensyntagen til økonomiske og øvrige samfundsmæssige forhold
- at ingen personer må modtage doser, der overstiger dosisgrænserne

Baggrundsmateriale for ICRP's bedømmelse af risikofaktoren for kræft ved bestråling er først og fremmest de overlevende fra Hiroshima og Nagasaki samt patienter, der i forbindelse med behandling af diverse sygdomme har været udsat for ioniserende stråling, eksempelvis strålebehandlede kræftpatienter. ICRP vurderede i 1990 på baggrund af dette materiale risikofaktoren for en dødelig kræftsygdom som følge af stråleudsættelse til  $4 \times 10^{-5}$  pr. mSv, dvs., at hvis 100.000 personer hver især blev udsat for 1 mSv ioniserende stråling, kunne man forvente fire dødelige kræfttilfælde som følge af stråleudsættelsen i pågældende gruppe. ICRP bruger som baggrund for beregning af dosisgrænsen for stråleudsat personale et maksimalt acceptabelt risikoniveau på  $1 \times 10^{-3}$ , dvs. man kan acceptere ét dødsfald i en population på 1000 udsatte; dette niveau er almindeligt accepteret indenfor mange andre brancher. Dette indebærer således, at ICRP anbefaler, at dosisgrænsen skal være 20 mSv pr. år for at sikre acceptable forhold. ICRP anlægger desuden det synspunkt, at beskyttelsen af fosteret skal være den samme som for den almene befolkning, Derfor er dosisgrænsen for fostre anbefalet til 1 mSv pr. år. På baggrund af ICRP's anbefalinger kom der i 1996 et EU basisdirektiv vedr. strålebeskyttelse, og dette direktiv har dannet grundlag for Sundhedsstyrelsens bekendtgørelse nr. 823 af 31. oktober 1997 om dosisgrænser for ioniserende stråling. Bekendtgørelsen kan fås ved henvendelse til SIS.

Hovedprincipperne i det danske system til begrænsning af stråledoser fra kontrollerbar bestråling, er:

- **Berettigelse:** Ved enhver anvendelse af ioniserende stråling skal fordelene opveje eventuelle risikomomenter.
- **Optimering:** Alle doser skal holdes så lave som rimeligt opnåeligt.
- **Dosisbegrænsning:** Ingen personer må modtage doser, der overstiger de i bekendtgørelse nr. 823/1997 fastsatte grænser.

Dosisgrænserne for stråleudsat personale er som følger:

Effektiv dosis (tidligere: helkropsdosis)	20 mSv pr. år
Huden	500 mSv pr. år <sup>1)</sup>
Hænder, underarme, fødder og ankler	500 mSv pr. år
Øjets linse	150 mSv pr. år
Fosterdosis ved en arbejdstagers graviditet	1 mSv <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Denne grænse gælder for gennemsnittet til  $1 \text{ cm}^2$  af huden.

<sup>2)</sup> Denne grænse gælder for tidsrummet fra meddelelse om graviditet er givet til fødslen.

Foruden grænsen for effektiv dosis er der således opstillet en grænse for dosis til huden og hænderne på 500 mSv pr. år og en grænse for øjets linse på 150 mSv pr. år. Hvor grænsen for effektiv dosis som nævnt er sat for at begrænse forekomsten af senskader, er dosisgrænserne til huden og linsen sat for at forhindre forekomsten af akutte skader. For bestråling af huden, f.eks. på fingrene, gælder grænsen for et område på  $1 \text{ cm}^2$ . Dette betyder i praksis, at det er den maksimale dosis (målt over  $1 \text{ cm}^2$ ), der skal være under grænsen. Stråledoser til enkelte organer og væv i øvrigt begrænses tilstrækkeligt af dosisgrænsen for effektiv dosis. (Se bilag 3 til den ovenfor omtalte bekendtgørelse nr. 823/1997).

En person kan blive bestrålet på 2 måder: Man kan udsættes for en *ekstern bestråling*, hvis det radioaktive stof befinder sig uden for kroppen, og man kan udsættes for *intern bestråling*, hvis det radioaktive stof er blevet optaget i kroppen. Optagelse kan ske ved spisning, indånding, gennem ubeskadiget hud eller gennem sår. De opstillede dosisgrænser gælder for den totale bestråling af kroppen, dvs. summen af dosis ved den eksterne og dosis ved den interne bestråling. Ved bestemmelse af den totale dosis medregnes ikke den bestråling, personen evt. har fået som patient og normalt heller ikke bidrag fra den naturlige baggrundsstråling, med mindre denne er usædvanligt stor.

Mens den eksterne dosis kan måles med et dosimeter anbragt uden på kroppen, er det ikke muligt direkte at måle dosis fra intern bestråling. Man må i stedet bestemme størrelsen af indtaget af radioaktive stoffer og herudfra beregne dosis. For at gøre dette muligt har ICRP beregnet såkaldte *dosiskoefficienter*, der angiver den akkumulerede effektive dosis pr. indtaget Bq. Man kan heraf beregne hvilket indtag, der ville svare til dosisgrænsen på 20 mSv pr. år. I tabel 1 (kapitel 7) er givet værdier for dosiskoefficienterne samt de derudfra beregnede indtag for et udvalg af radionuklider. (I denne tabel er for hver radionuklid brugt den mest restriktive (dvs. den største) værdi af de forskellige værdier, der er angivet for den pågældende radionuklid). En tabel indeholdende alle beregnede dosiskoefficienter er indeholdt i direktivteksten, som er offentliggjort i De Europæiske Fællesskabers Tidende, L 159, 29. juni 1996. Yderligere oplysninger herom kan fås ved henvendelse til SIS.

Dosiskoefficienterne er tabelleret for over 1000 radionuklider og med dem som udgangspunkt klassificeres radionukliderne i 4 radionuklidgrupper (se tabel 1). Jo større dosiskoefficient, jo lavere radionuklidgruppe og jo farligere for organismen.

Man kan få et indtryk af, hvilke eksterne doser stråleudsatte personer faktisk får, ved at kigge på de statistikker, der udarbejdes for de ca. 11.000 personer, der bliver overvåget ved hjælp af persondosimetre i Danmark. I 2000 modtog 468 personer en årlig dosis på 1 mSv eller mere, 42 personer 5 mSv eller mere og 7 personer modtog 10 mSv eller mere. Middeldosis til alle overvågede personer lå i 2000 på 0,15 mSv. Middeldoserne varierer noget inden for de forskellige arbejdsfelter, f.eks. modtog personale på nuklearmedicinske afdelinger, hvor patienter undersøges med forholdsvis store mængder radioaktive stoffer, en middeldosis på 0,83 mSv i 2000, mens personalet på isotoplaboratorier på sygehuse og forskningsinstitutionerne modtog en middeldosis på 0,01 mSv.

Anvender man risikofaktoren på  $4 \times 10^{-5}$  pr. mSv finder man, at risikoen forbundet med en stråleudsættelse på 1 mSv om året vil være af samme størrelse som risikoen ved arbejde i andre "sikre" beskæftigelsesområder, dvs. mindre end 1 dødsfald pr. år pr. 10000 arbejdstagere:  $10^{-4}$  pr. år. På de fleste forskningslaboratorier er doserne så lave, at den reelle risiko ved omgang med radioaktive stoffer ofte bliver overvurderet i forhold til den risiko, der er forbundet med at omgås mange af de almindeligt forekommende kemikalier i et normalt laboratorium.

## 4.2 Dosisovervågning

Individuel dosisovervågning er, som anført i Sundhedsstyrelsens bekendtgørelse nr. 823 af 31. oktober 1997 om dosisgrænser for ioniserende stråling, påbudt, såfremt stråleudsatte arbejdstagere arbejder under forhold, hvor de vil kunne modtage doser, der overstiger 3/10 af de årlige dosisgrænser. Ved ekstern bestråling med *gennemtrængende stråling* skal dosisovervågningen ske med et persondosimeter leveret fra et godkendt persondosimetri-laboratorium. Ud fra kendskab til de forskellige radionuklidernes fysiske egenskaber kan man

opstille kriterier for de aktivitetsmængder, der må håndteres pr. operation i laboratoriet, før det er påbudt at bære persondosimeter. Disse kriterier fremgår af bilag 4 til Sundhedsstyrelsens bekendtgørelse nr. 823 af 31. oktober 1997 om dosisgrænser for ioniserende stråling. Afhængig af arbejdets omfang fastsættes måleperioden for persondosimetret til enten 1 eller 3 måneder. Skal man f.eks. håndtere mere end 5 MBq P-32 eller mere end 1000 MBq I-125 ad gangen, er brugen af persondosimeter påbudt, og måleperioden er 1 måned. På laboratorier, der normalt kun indkøber mindre mængder, f.eks. 10 MBq P-32, kan man give den person, som dispenserer, et persondosimeter, mens de der arbejder med aktiviteter under de 5 MBq ikke behøver at bære et sådant.

SIS anvender et filmdosimeter som persondosimeter. Filmens følsomhed varierer meget med strålingens energi; filmen kan f.eks. ikke måle den bløde beta-stråling fra H-3, C-14 og S-35, og følsomheden for blød gammastråling (og røntgenstråling) er meget større end den er for gammastråling med energi over 100 keV. Filmholderne er derfor konstrueret således, at man udover måling af doser også i nogen grad kan afgøre, fra hvilke radionuklider, stråleudsættelsen kommer. Dette kan også hjælpe i opklaringen af, hvorledes eksponeringen er sket. Film dosimetrene kan ud over at blive eksponeret af en ekstern strålekilde blive forurenet med f.eks. dråber fra en radioaktiv opløsning. Dette vil vise sig som sorte pletter på filmen og kan give oplysning om, at håndteringen af radioaktive stoffer på afdelingen ikke foregår strålehygiejnisk hensigtsmæssigt. På resultatlisten markeres dette med koden "K" for kontamineret.

Den nedre målegrænse for filmdosimetret er 0,1 mSv. Bæreren bliver informeret om resultaterne ca. 1 måned efter, at filmen er modtaget til vurdering. Har en film været udsat for en større eller en usædvanlig eksponering, anmodes den ansvarlige leder om en forklaring på eksponeringen.

Den opsummerede dosis for hver enkelt overvåget person følges løbende, og såfremt dosis inden for de sidste 12 måneder har overskredet 10 mSv, vurderes det, om der er behov for at starte et nærmere udredningsarbejde med det formål at forbedre strålehygiejnen på laboratorierne. Dette sker også i situationer, hvor der observeres pludseligt markante stigninger i personaledoserne på et bestemt laboratorium, eller hvis en større del af filmene fra et laboratorium er forurenede.

Ved de typer arbejde, hvor der er mulighed for at modtage større eksterne doser, kan man supplere filmdosimetret med et elektronisk dosimeter, der kan måle gennemtrængende stråling og direkte angive dosis i  $\mu\text{Sv}$ . Herved får man dels et akustisk signal, der kan fortælle om intensiteten ved forskellige arbejdsprocedurer, og dels en differentieret måling af den integrerede dosis, som vil vise, hvilken del af arbejdet, der giver det største bidrag til personens bestråling. Foruden målinger af "helkropsdosis" med filmdosimetret kan man måle dosis til "ekstremiteterne" med termoluminiscensdosimetre (TLD). TLD kan fås ved henvendelse til SIS (uden betaling) i form af fingerrings- eller håndledsdosimetre. Dosisovervågning ved hjælp af TLD er specielt relevant inden for de arbejdsområder, hvor der er risiko for relativt store eksponeringer af fingre og hænder. Eksempler på den slags arbejde er håndtering af mange MBq P-32. Bliver det via målinger med TLD, som bæres i længere tid, f.eks. en uge eller en måned, konstateret, at man får store doser til hænderne, kan det være udbytterigt at måle fingerdosis ved enkelte operationer under arbejdet. Det kan således opklares, hvilke operationer, der giver de største eksponeringer. Man kan så forsøge at ændre sine arbejdsrutiner, f.eks. ved brug af pincetter, afskærmning af glas og sprøjter m.v.

Film dosimetre og TLD bruges til overvågning af den eksterne bestråling. Ved arbejde med flygtige forbindelser (f.eks. tritieret vand eller I-125 eller I-131 jodid) eller ved håndteringer, der er forbundet med risiko for spild, kan det være relevant at overvåge den interne bestråling, dvs. føre kontrol med, om arbejdstageren har optaget det radioaktive stof i kroppen. Dette kan gøres indirekte ved at undersøge om personen udskiller radioaktivitet i urinen. Såfremt der er en væsentlig risiko for optag af radioaktive stoffer i kroppen, tilbyder eller påbyder SIS i disse tilfælde at foretage regelmæssige kontrolmålinger vha. urinprøver. F.eks. stiller SIS krav om urinprøvekontrol af personer, der arbejder med store aktivitetsmængder (over 400 MBq pr. gang) af de radionuklider, der ikke kan registreres på film dosimetrene, f.eks. H-3, C-14, og S-35. Dette gøres også for personer, der joderer, dvs. mærker protein- eller andre forbindelser med radioaktivt jod, primært I-125. Hvis I-125 indtages, enten gennem munden eller næsen, som jod eller jodid, der bl.a. kan dannes ved joderingsproceduren, ophobes det i skjoldbruskkirtelen. Da indtaget svarende til 20 mSv for I-125 er 1,3 MBq, og man ved en jodering typisk bruger en aktivitetsmængde på 40-80 MBq I-125, er det relevant at kontrollere disse personers indtag af I-125. Man kan selv (med større følsomhed) løbende undersøge, om man er blevet internt forurenset med I-125 (som jod eller jodid) ved at måle direkte uden på huden over skjoldbruskkirtelen med en egnet gamma-monitor.

Glas til indsendelse af urinprøver kan rekvireres fra SIS, der foretager målingen og rapporterer de målte indhold tilbage til den rekvirerende institution. Urinprøver bør tidligst tages dagen efter arbejdets udførelse. Ved jodering med I-125 tages urinprøven optimalt 4-5 dage efter. Yderligere vejledning om kontrol vha. urinprøver kan fås ved henvendelse til SIS.

### 4.3 Graviditet og amning

Kvinder i den forplantningsdygtige alder skal instrueres om, at der gælder særlige regler ved graviditet.

I den første del af graviditeten kan store doser medføre deterministiske skader hos barnet, men alt tyder på, at tærskeldosis ligger over 50 mSv, således at disse skader kun vil ske ved doser, der ligger væsentlig over de doser, som (kvindelige) arbejdstagere normalt kommer ud for (se kapitel 4.1). Erfaringerne fra Hiroshima og Nagasaki viser, at fosteret har den største strålefølsomhed for deterministiske skader i 8.-15. graviditetsuge, hvor centralnervesystemet dannes. I denne periode kan fosterets mentale udvikling forstyrres, hvilket kan vise sig ved nedsat intelligens, en deterministisk skade, der er af størrelsesordenen 30 IQ point ved 1 Sv. (Normal intelligens ligger i området 100 til 110 IQ).

Herudover har fosteret, ligesom børn og voksne, en risiko for senskader, der stiger med stråledosis. Af ICRP's vurderinger kan man udlede, at risikoen for små børn er ca. 3 gange større end for voksne, nemlig  $15 \times 10^{-5}$  pr. mSv.

Selvom det næppe kan tænkes, at arbejdet giver doser over tærskelværdien i første del af graviditeten, er det alligevel væsentligt så tidligt som muligt at give meddelelse om graviditeten til arbejdsgiveren, således at stråledosis i resten af graviditeten, og dermed risikoen for senskader, kan begrænses så meget som muligt. I bilag 2 til bekendtgørelse 823/1997 er der givet en nærmere gennemgang af tankegangen bag strålebeskyttelsen af det ufødte barn; de væsentligste praktiske retningslinier, der gives i dette bilag, gengives her nedenfor.

Efter meddelelsen om graviditet er det nødvendigt, at den ansvarlige leder i samarbejde med den gravide kvinde vurderer størrelsen af dosis til det ufødte barn i resten af graviditeten. Hvis ikke kvindens arbejdsforhold har ændret sig væsentligt, vil en sådan vurdering naturligt kunne tage



udgangspunkt i kvindens arbejdsforhold før graviditetstidspunktet og den strålebelastning, der har været forbundet hermed. I tillæg hertil vil det være nødvendigt at se på muligheden for stråledoser over 1 mSv til det ufødte barn, som følge af utilsigtede hændelser og uheld på arbejdspladsen.

Afhængigt af den samlede vurdering af muligheden for stråleudsættelse af det ufødte barn under graviditeten kan følgende komme på tale:

#### **Dosis vurderes med sikkerhed mindre end 1 mSv.**

Den gravide kan fortsætte med de hidtidige arbejdsopgaver uden særlige foranstaltninger til nedsættelse af stråleudsættelsen og overvågningen af denne.

#### **Dosis må antages at være mindre end 1 mSv.**

Den gravide kan fortsætte med de hidtidige arbejdsopgaver eventuelt suppleret med særlige foranstaltninger til nedsættelse af muligheden for stråleudsættelse og en måleperiode på ikke over 1 måned for dosisovervågningen.

#### **Dosis må antages at være større end 1 mSv**

Den gravide må flyttes til andre arbejdsopgaver med mindre sandsynlighed for stråleudsættelse om nødvendigt suppleret med en måleperiode på ikke over 1 måned for dosisovervågningen, eller den gravide må flyttes til andet arbejde, der ikke medfører udsættelse for ioniserende stråling.

Nedenfor er givet eksempler på arbejde med radioaktive kilder, hvor dosis til det ufødte barn er vurderet i henhold til de ovenstående muligheder:

#### **Dosis vurderes med sikkerhed mindre end 1 mSv:**

- Arbejde med Radioimmunassay (RIA-kit)

#### **Dosis må antages at være større end 1 mSv:**

Eksempler på arbejde med radioaktive kilder, hvor man fra **ekstern** bestråling kan forvente, at dosis til det ufødte barn vil kunne overstige 1 mSv:

- Arbejde med mere end 10 MBq af en gammaemitter med høj energi (ca. 1-2,5 MeV, f.eks. Na-22, Co-60 og Br-82) i ca. 1 time pr. uge
- Arbejde med mere end 50 MBq af en gammaemitter med middelenenergi (ca. 0,5-1 MeV, f.eks. Co-58, Zn-65, I-131 og Ir-192) i ca. 1 time pr. uge
- Arbejde med mere end 100 MBq af en gammaemitter med lav energi (ca. 0,05-0,2 MeV, f.eks. Co-57, Rb-86, Tc-99m, I-123 og I-125) i ca. 1 time pr. uge

Der er ligeledes situationer ved arbejde med åbne radioaktive kilder, hvor man fra **intern** bestråling kan forvente, at dosis til det ufødte barn vil kunne overstige 1 mSv:

- Jodering med I-125
- Arbejde (våde operationer) med mere end 5 MBq af en betaemitter med mellem eller høj energi (f.eks. P-32) som følge af uheld, der fører til indtag af det radioaktive stof
- Arbejde (våde operationer) med mere end 50 MBq af en blød betaemitter (f.eks. C-14, S-35 og P-33) som følge af uheld, der fører til indtag af det radioaktive stof
- Arbejde (våde operationer) med mere end 200 MBq organisk bundet H-3 eller mere end 500 MBq tritieret vand som følge af uheld, der fører til indtag af det radioaktive stof

Ammer en kvinde i en periode, hvor hun arbejder med radioaktive stoffer, skal der tages hensyn til dette. Hvis den ammende kvinde ved uheld har fået radioaktive stoffer ind i kroppen, vil en del radioaktive stoffer, alt efter hvilken kemisk forbindelse de indgår i, blive overført til barnet via modermælken. Arbejder kvinden med aktivitetsmængder, der er mindre end grænserne i en S1-tilladelse (se kapitel 3), er risikoen dog meget lille, og der er normalt ingen grund til, at kvinden flyttes til andet arbejde.

Fortsætter den gravide med arbejdsopgaver, hvor der i henhold til bilag 4 (i bekendtgørelse nr. 823/1997 om dosisgrænser) skal bæres persondosimeter, skal måleperioden for disse være 1 måned, jf. bekendtgørelsens § 11, stk. 5. Som supplement hertil vil et elektronisk persondosimeter, der giver mulighed for løbende at vise den modtagne stråledosis, være velegnet. Hvor arbejdet tillader det vil elektroniske persondosimetre, der udsender en bip-lyd for hvert tillæg til den registrerede dosis eller en alarm ved et forud indstillet dosishastighedsniveau, desuden kunne give oplysning om, i hvilke arbejdssituationer stråleudsættelsen er størst.

Nærmere vejledning kan fås ved henvendelse til SIS.

## 5. Praktisk strålebeskyttelse af arbejdstagere

### 5.1 Vejledning i håndtering af radioaktive stoffer

Den ansvarlige leder og personalet skal i fællesskab sørge for, at arbejdet med radioaktive stoffer udføres strålebeskyttelsesmæssigt forsvarligt. Omhyggelig planlægning af laboratoriarbejde, hvor der anvendes radioaktive stoffer, er nødvendigt ikke kun for at få det bedste resultat, men også for at begrænse farerne for personalet med hensyn til bestråling og forurening. Det er vigtigt at indarbejde en god praksis for strålebeskyttelse i alle vejledninger og skriftlige instrukser med det formål at begrænse den eksterne bestråling og forebygge, at der sker spild og forureninger, der kan føre til intern bestråling. Risikoen for uheld og spredning mindskes betydeligt ved grundigt at planlægge hele arbejdsgangen inden arbejdet påbegyndes.

Hold god orden i laboratoriet, og hav kun de ting, der skal anvendes til det igangværende forsøg, fremme på arbejdspladsen. Apparatur bør placeres, så det ikke hindrer eller forstyrrer arbejdet. Arbejdsbordet skal altid afdækkes med papir eller plast, der kan opsuge små dråber. Det er meget praktisk at bruge plast- eller stålbakker foret med absorberende papir, således at forureningen forbliver på et begrænset område, hvis en radioaktiv opløsning vælter. Radioaktive stoffer, der kan afgive dampe eller støver, skal altid håndteres i stinkskab eller i en LAF-bænk med afkast til en udsugning. Alle glas og beholdere, der anvendes ved arbejdet, skal tydeligt mærkes med indhold. Stamopløsninger af radioaktive stoffer skal straks efter anvendelse anbringes i opbevaringsskabet til radioaktive stoffer.

Man bør altid bruge automatpipetter og aldrig afpipettere med mundsug. Radioaktive væsker kan ved et uheld blive suget op, eller, måske lige så vigtigt, pipetten kan være blevet forurennet ved at ligge på bordet. Pas på ikke at suge aktivitet op i automatpipetten. For at forebygge indtag af radioaktivitet er spisning, rygning, indtagelse af drikkevarer samt påførelse af kosmetik forbudt i isotoplaboratoriet.

Ved arbejde med radioaktive stoffer skal man altid bære en knappet kittel. I de fleste situationer er en almindelig laboratoriekittel tilstrækkelig. Brugen af handsker sikrer mod forurening fra hænderne (bakterier m.m.) og er samtidig med til at beskytte huden på hænderne mod den radioaktivitet, som stammer fra de små dråber, der kan dannes under arbejdet. En forurening med radioaktive stoffer direkte på huden giver ikke kun en ekstern bestråling, men kan også under uheldige omstændigheder optages i kroppen og på den måde føre til intern bestråling, idet mange kemikalier kan trænge igennem huden. Til strålebeskyttelsesformål er almindelige gummi- eller plastichandsker tilstrækkelige. Har man sår eller rifter, skal disse dækkes med plaster, og evt. smykker fjernes inden arbejdet startes. Overtrækssko, gasmaske, ansigtsskærm og andet avanceret beskyttelsesudstyr skal kun anvendes i situationer, hvor der arbejdes med meget store mængder aktivitet.

Erfaringer viser, at især brugen af handsker kræver en del selvdisciplin. Arbejdet skal altid planlægges, så man kun behøver at have handsker på, når det virkelig er nødvendigt. Når man har muligt forurenede handsker på, må haner, kontakter, håndtag, tastaturer o.lign. i laboratoriet ikke berøres, idet man herved kan komme til at forurene disse. Hvis man senere berører disse ting uden handsker, kan en evt. forurening spredes i og uden for laboratoriet, og man selv og andre udsættes for både ekstern og intern kontaminering. Når man bruger handsker, skal man sørge for at skifte disse ofte, da de relativt let bliver gennemtrængelige ved længere tids kontakt med forskellige opløsninger.

Arbejdet er ikke afsluttet, før laboratoriet igen er rent og ryddeligt. Det er en dårlig ide at lade oprydning vente til fordel for bearbejdelse af måleresultaterne - en forladt arbejdsplads kan udgøre en fare. Det er heller ikke god praksis at overlade oprydningen til en anden person, med mindre vedkommende har assisteret ved forsøget og ved, hvad der er radioaktivt. En omhyggelig forsøgsleder vil rydde op efter sig til det punkt, hvor en anden kan overtage arbejdet uden at udsætte sig for ukendte farer. Oprydningen skal være så grundig, at det er muligt for rengøringspersonalet at arbejde uden fare for bestråling.

Radioaktivt affald skal sorteres til korrekt bortskaffelse så hurtigt som muligt.

Glasvarer og andet udstyr, der har været brugt til arbejdet, bør skylles med det samme, da udtørrede kontamineringer kan være vanskelige at fjerne. Efter vask kontrolmåles alt for forureninger og sættes ikke på plads, før al aktivitet er væk.

Ligeledes skal f.eks. laboratorieborde, kitler og hænder kontrolmåles efter arbejdets afslutning. Det er den ansvarlige leders ansvar, at samtlige målinger registreres i en protokol. Dette kan f.eks. gøres ved at have en fast logbog placeret i isotoplaboratoriet, hvor målingerne rutinemæssigt føres ind.

Desuden skal alle genstande, f.eks. pc'er, større laboratorieudstyr, rulleborde og arbejdsmapper, der tages permanent ud af isotoplaboratoriet forinden kontrolmåles for at undgå spredning af en eventuel forurening. Der skal ligeledes føres en protokol over sådanne kontrolmålinger.

## 5.2 Afskærmning

Som nævnt er det et af de grundlæggende principper, at man skal holde alle stråledoser så lave som rimeligt opnåeligt. I praksis betyder dette, at man altid skal reducere den eksterne stråleudsættelse så meget som muligt.

Stråledosis afhænger af mængden af radioaktivt stof, af bestrålingstiden og af afstanden til kilden, og dosis kan derfor holdes lav ved:

- kun at anvende den aktivitetsmængde, der er nødvendig
- kun at håndtere den radioaktive kilde i kort tid
- at sørge for så stor afstand til den radioaktive kilde som muligt, idet dosishastigheden aftager med kvadratet på afstanden
- at afskærme strålekilderne

Man bør placere sig selv i en rimelig afstand fra kilden. Uafskærmede opløsninger bør ikke håndteres direkte med fingrene. Man bør anvende værktøj, der giver en god afstand til glasset, f.eks. en pincet og en tang, når dette er praktisk muligt.

Hvis man arbejder med aktivitetsmængder større end værdierne i tabel 2 (kapitel 7) er afskærmning nødvendig. Man bør dog i hvert enkelt tilfælde vurdere, hvilken type og tykkelse afskærmning, der er strålehygiejnisk set mest hensigtsmæssig. Stabler man f.eks. blymursten op omkring en forsøgsopstilling, således at det bliver svært at udføre forsøget, kan det medføre, at

radioaktive opløsninger vælter m.v., og at det i sidste ende måske vil føre til en større stråleudsættelse. Beta-partikler afskærmes mest hensigtsmæssigt ved brug af en plasticafskærmning (akryl, perspex, plexiglas), der desuden har den fordel at være gennemsigtig. Det er dog ikke nødvendigt at bruge afskærmning ved arbejde med H-3 eller med mindre mængder af C-14 og S-35. Ved afskærmning af P-32 dannes bremsestråling, men intensiteten af denne vil aldrig udgøre mere end få procent af intensiteten af den uafskærmede P-32 kilde - dette gælder også ved brug af blyafskærmning. Ved håndtering af større mængder P-32 og I-131 er det tilrådeligt at afskærme selve glasset eller sprøjten, således at også dosis til fingrene reduceres. Betastrålingen fra sprøjter med P-32 eller I-131 giver doser til fingrene på henholdsvis 0,5-1 og 0,05 mSv pr. minut pr. MBq.

Gamma- og røntgenstråling kan ikke afskærmes fuldstændigt, men kun svækkes. Det er som regel mest praktisk at benytte en blyafskærmning omkring glasset ved opbevaring af opløsninger. Arbejdes der bag blymursten, vil hoved og overkrop være stråleudsat, hvis man skal have en chance for at se, hvad man laver. Derfor vil en gennemsigtig blyglas-afskærmning mellem opløsningen og personen være det mest praktiske, fordi man så kan se, hvad man laver, mens man læser etiketten, udtager fra opløsningen osv. Ved håndtering af sprøjter, er det også praktisk at benytte en sprøjteafskærmning af blyglas.

I tabel 2 (kapitel 7) er givet forslag til typer og tykkelser af afskærmninger for de radionuklider, der er mest anvendte på forskningsinstitutioner. De angivne værdier er de aktivitetsniveauer, hvor afskærmning er påkrævet under arbejde, men for at reducere stråleudsættelsen mest muligt bør man også bruge afskærmning ved lavere aktivitetsniveauer, hvis dette er praktisk muligt.

Ved opbevaring af radioaktive kilder skal disse skærmes, således at dosishastigheden på ydersiden af opbevaringsstedet ikke overstiger 7,5  $\mu$ Sv/h. Dosishastigheden på arbejdspladser i nærheden af opbevaringsstedet skal holdes så lav som muligt og må ikke overstige 2,5  $\mu$ Sv/h.

### 5.3 Kontrolmåling og rensning

Det er altid bedst at forebygge og at tilrettelægge arbejdet således, at man undgår forureninger med radioaktive stoffer i laboratoriet. Men er uheldet ude, skal man kunne måle, om der er sket en forurening og kunne bestemme niveauet af denne. Til dette formål skal der forefindes en eller flere egnede forureningsmonitører.

Forureningsmonitøren skal også bruges til kontrolmåling efter arbejdets afslutning, jf. afsnit 5.1.

Da de instrumenter, der bruges som forureningsmonitører, har meget forskellig følsomhed for forskellige typer stråling, bør man være omhyggelig med valget og vælge den rette type monitor. Det kan være nødvendigt at anskaffe mere end én monitor, idet det skal være muligt at kunne påvise forureninger med alle de radionuklider, der anvendes i laboratorierne.

Arbejder man med radionuklider, der udelukkende udsender beta-partikler (f.eks. C-14, P-32 eller S-35), vil et rimeligt valg være et Geiger-Müller rør med tyndt vindue og med så stort areal som muligt. Af andre muligheder kan nævnes et plast-scintillator instrument eller en gasfyldt flowcounter, der kan udformes med store arealer. For radionuklider, der udsender både beta- og gammastråling (f.eks. I-131) eller hovedsageligt gammastråling (f.eks. Cr-51, Co-57, Tc-99m eller I-125), vil det bedste valg være en NaI-scintillator eller en gasfyldt tæller (xenon), der er følsom for gammastråling. Er der tvivl om valget af forureningsmonitor, er man altid velkommen til at kontakte SIS for yderligere vejledning.

Forurening med tritium (H-3) kan kun påvises med dyrt og kompliceret udstyr. I stedet foretages en indirekte kontrol ved hjælp af aftørningsprøver, der måles i en væskescintillationstæller.

Man kan selv kalibrere sin forureningsmonitor, så den kan anvendes til at måle, om en fastsiddende overfladeforurening med radioaktive stoffer er under eller over grænseværdierne. Dette gøres ved at fremstille en fladekilde med kendt aktivitet pr.  $\text{cm}^2$ . Inddel et stykke filterpapir i 1  $\text{cm}^2$  kvadrater og afsæt med en pipette den aktivitetsmængde, grænseværdien angiver, i et volumen, som dækker en  $\text{cm}^2$  når det opsuges i filterpapiret. Det udslag, forureningsmonitoren viser, kan herefter noteres eller evt. streges ind på selve skalaen, således at man ved en anden lejlighed ved, at udslaget skal holde sig under det registrerede niveau.

I laboratorier hvor der er et relativt højt strålingsniveau, f.eks. af gammastråling, fra den aktivitet, der anvendes og opbevares, kan det være vanskeligt at påvise en forurening med monitoren. I sådanne situationer kan man påvise forureninger vha. aftørningsprøver, der måles med monitoren et sted, hvor der kun er naturlig baggrundsstråling. Skal man måle niveauet af den fastsiddende forurening, må man fjerne eller afskærme alle andre kilder i laboratoriet.

Enhver forurening bør fjernes så hurtigt som muligt, da "gamle" forureninger kan være vanskelige at fjerne. Forurenede hud vaskes med vand og sæbe. Ved større ydre personforureninger bør man tage det forurenede tøj af og straks gå i bad.

Spilder man en radioaktiv opløsning på borde, gulve o.lign., opsuges væsken straks ved brug af absorberende papir. Aftørringen skal foretages mod centrum af forureningen for at undgå spredning, og rengøringen skal fortsætte, så længe aktivitet kan fjernes. Rengøringen kan lettes ved at bruge en detergent eller ved at vaske med "carrier", dvs. en ikke-radioaktiv opløsning af den samme kemiske forbindelse som forureningen.

Principielt bør man fjerne enhver radioaktiv forurening helt, men er dette vanskeligt, skal man blive ved indtil den fastsiddende forurening på hud eller overflader er kommet under bestemte grænseværdier, der er afledt af dosisgrænserne. Hvis forureningen i laboratoriet ikke kan bringes ned under grænseværdien, skal de forurenede overflader eller genstande tildækkes (afskærms) eller udskiftes. Tabel 2 (kapitel 7) viser eksempler på grænseværdierne for de mest brugte radionuklider på hospitaler og forskningsinstitutioner.

## 6. Yderligere oplysninger

### 6.1 Bekendtgørelser m.v.

- Sundhedsstyrelsens bekendtgørelse nr. 954 af 23. oktober 2000 om anvendelse af åbne radioaktive kilder på sygehuse, laboratorier m.v.
- Sundhedsstyrelsens bekendtgørelse nr. 823 af 31. oktober 1997 om dosisgrænser for ioniserende stråling.
- Sundhedsstyrelsens bekendtgørelse nr. 993 af 5. december 2001 om transport af radioaktive stoffer.
- Indenrigsministeriets bekendtgørelse nr. 734 af 21. september 1999 om opkrævning af bidrag for tilsyn med sikkerhedsforanstaltninger på radioaktivitetsområdet som ændret ved bekendtgørelse nr. 820 af 18. september 2001.
- Sundhedsstyrelsens cirkulære af 22. december 1975 om vagtordning ved Statens Institut for Strålehygiejne.

### 6.2 Vejledninger m.v.

- Sundhedsstyrelsens vejledning om overførsel af radioaktive stoffer, 1995.

### 6.3 Rådgivning om strålebeskyttelse

Generelt:

- Statens Institut for Strålehygiejne  
Knapholm 7  
2730 Herlev  
Tlf. 44 54 34 54      telefax 44 54 34 50      e-mail: sis@sis.dk

Specielt om ikke-medicinsk anvendelse af åbne radioaktive kilder:

- Linda Pedersen                      tlf. 44 54 34 61      e-mail: lip@sis.dk
- Mette Øhlenschlæger              tlf. 44 54 34 81      e-mail: moe@sis.dk

Specielt om medicinsk anvendelse af åbne radioaktive kilder:

- Klaus Ennow                      tlf. 44 54 34 97      e-mail: ke@sis.dk

## 7. Tabeller

### Tabel 1

Radionuklid	Radionuklid-gruppe	Dosiskoefficient, spisning (Sv/Bq)	Dosiskoefficient, indånding (Sv/Bq)	Indtag svarende til 20 mSv, spisning (MBq)	Indtag svarende til 20 mSv, indånding (MBq)
H-3 (HTO)	4	$1,8 \times 10^{-11}$	$1,8 \times 10^{-11}$	1100	1100
H-3 (OBT)	4	$4,2 \times 10^{-11}$	$4,1 \times 10^{-11}$	480	490
C-14	3	$5,8 \times 10^{-10}$	$5,8 \times 10^{-10}$	34	34
Na-24	3	$4,3 \times 10^{-10}$	$5,3 \times 10^{-10}$	47	37
P-32	3	$2,4 \times 10^{-9}$	$3,2 \times 10^{-9}$	8,3	5,9
P-33	3	$2,4 \times 10^{-10}$	$1,4 \times 10^{-9}$	83	13
S-35	4	$7,7 \times 10^{-10}$	$1,3 \times 10^{-9}$	26	15
Cr-51	4	$3,8 \times 10^{-11}$	$3,6 \times 10^{-11}$	530	560
Co-57	3	$2,1 \times 10^{-10}$	$9,4 \times 10^{-10}$	95	21
Br-82	3	$5,4 \times 10^{-10}$	$8,8 \times 10^{-10}$	37	22
Tc-99m	4	$2,2 \times 10^{-11}$	$2,9 \times 10^{-11}$	910	690
In-111	3	$2,9 \times 10^{-10}$	$3,1 \times 10^{-10}$	69	64
I-125	2	$1,5 \times 10^{-8}$	$7,3 \times 10^{-9}$	1,3	2,7
I-131	2	$2,2 \times 10^{-8}$	$1,1 \times 10^{-8}$	0,9	1,8
Tl-201	4	$9,5 \times 10^{-11}$	$7,6 \times 10^{-11}$	210	260

HTO: Tritieret vand. OBT: Organisk bundet tritium. For de øvrige radionuklider er der overalt brugt den mest restriktive værdi.

### Tabel 2

Radionuklid	Afskærmning påkrævet MBq/operation	Anbefalet afskærmning	Grænseværdi for forurening af huden (Bq/cm <sup>2</sup> )	Grænseværdi for forurening af overflader (Ba/cm <sup>2</sup> )
H-3	Ingen	ikke nødvendig	500	5000
C-14	50	0 - 1 cm PMMA*	50	500
Na-24	5	3 - 5 cm BLY	5	50
P-32	5	1 cm PMMA*	5	50
P-33	50	0 - 1 cm PMMA*	50	500
S-35	50	0 - 1 cm PMMA*	50	500
Cr-51	1000	0 - 3 mm BLY**	500	5000
Co-57	400	3 mm BLY**	50	500
Br-82	5	3 - 5 cm BLY	5	50
Mo-99	100	3 - 5 cm BLY	5	50
Tc-99m	300	3 mm BLY**	50	500
In-111	130	3 mm BLY**	5	50
I-125	1000	3 mm BLY**	50	500
I-131	5	0,5 - 3 cm BLY	5	50
Tl-201	500	3 mm BLY**	50	500

\* akryl, perspex, plexiglas.

\*\* eller blyglas med tilsvarende afskærmningsevne.



## 8. Ordforklaringer

<b>Ansvarlig leder:</b>	Sundhedsstyrelsens tilladelse til indkøb og brug af åbne radioaktive kilder gives til en bestemt person, som har gennemgået et af Sundhedsstyrelsen godkendt isotopkursus.
<b>Deterministisk skade:</b>	Ved en deterministisk skade forstås en skade, hvor der findes en dosistærskelværdi for skadens opståen, og hvor skadens omfang vokser med størrelsen af dosis. Eksempler på deterministiske skader er grå stær, sterilitet og hæmning af dannelsen af hvide blodlegemer og andre celler. Disse skader kaldes også akutte skader.
<b>Dosiskoefficient:</b>	Den akkumulerede effektive dosis ved spisning eller indånding af 1 Bq af en bestemt radionuklid.
<b>Effektiv dosis:</b>	Effektiv dosis er en organ-vægtet helkropsdosis. Ved beregning af denne summeres de enkelte organdoser, hver multipliceret med en vægtningsfaktor, der angiver den relative risiko for senskader for det pågældende organ.
<b>Ekstern bestråling</b>	Bestråling af kroppen fra strålekilder uden for kroppen
<b>Enheder:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aktivitetsenheder Becquerel, Bq. 1 Bq er ét radioaktivt henfald pr. sekund. 1 MBq er 1 million radioaktive henfald pr. sekund. 1 GBq er 1 milliard radioaktive henfald pr. sekund</li><li>Gammel enhed curie, Ci. 1 mCi = 37 MBq 1 MBq = 27 µCi</li><li>• Dosisenheder Sievert, Sv. 1 Sv = 1000 mSv. 1 mSv = 1000 µSv</li></ul>
<b>Gennemtrængende stråling:</b>	Ved gennemtrængende stråling forstås gamma- eller røntgenstråling over 10 keV og beta-stråling med energier over 300 keV, dvs. ikke strålingen fra f.eks. H-3, C-14 og S-35.
<b>Intern bestråling</b>	Bestråling af kroppen fra radioaktive stoffer i kroppen. Disse kan f.eks. være indtaget via munden, ved indånding eller optaget gennem sår i huden.
<b>Ioniserende stråling:</b>	Gamma- eller røntgenstråling med energi over 5 keV og partikler, f.eks. elektroner, med så høj energi, at de kan spalte (ionisere) luft-, vand- og andre molekyler.

<b>Lukket radioaktiv kilde:</b>	Radioaktivt stof, der er solidt indesluttet i fast og stabilt, inaktivt stof, eller som er indkapslet i en inaktiv beholder af tilstrækkelig styrke til under normal anvendelse at forhindre spredning af det radioaktive stof.
<b>Radionuklid:</b>	Ustabil atomkerne, der henfalder under udsendelse af ioniserende stråling.
<b>Radionuklidgruppe:</b>	Alle radionuklider er inddelt i 4 grupper ordnet efter farligheden. Radionuklider i radionuklidgruppe 1 er de mest farlige for organismen (mest radiotoksiske), mens radionuklider i radionuklidgruppe 4 er de mindst farlige. I tabel 1 er angivet hvilke radionuklidgrupper de radionuklider, der er mest anvendt på forskningsinstitutioner og hospitaler, tilhører.
<b>RIA-kit:</b>	Kit til bindingsanalyse; de fleste af disse kit indeholder små mængder H-3 eller I-125.
<b>Simple våd operation:</b>	En simpel våd operation er f.eks. udtagning fra stamopløsning, fortyndinger.
<b>Stokastisk skade:</b>	Ved en stokastisk skade forstås en skade, for hvilken der ikke findes nogen påviselig dosistærskelværdi for, om skaden kan opstå, og hvor risikoen for at skaden opstår vokser med dosis. Eksempler på stokastiske skader er leukæmi og andre kræftformer samt genetiske skader. Disse skader, der også kaldes senskader, kan vise sig mange år efter bestrålingen.
<b>Stråleudsat personale:</b>	Personer som udsættes for stråling som følge af deres arbejde.
<b>Våd operation:</b>	Våde operationer er f.eks. normale kemiske operationer og dyreforsøg.
<b>Åben radioaktiv kilde:</b>	Uindkapslet radioaktivt stof i form af gas, aerosol, væske eller fast stof, hvor kontakt med og spredning af stoffet kan forekomme under brug m.v.