

V STRÅLSKYDDSBEGREPP OCH STRÅLSKYDDSNORMER

Den internationella strålskyddskommissionen ICRP (International Commission on Radiological Protection) bildades år 1928 och har alltsedan dess utfärdat rekommendationer för hur man skall kunna skapa ett betryggande skydd mot joniserande strålning. Ändamålet med strålskyddet är att förhindra akuta strålningseffekter hos personer som arbetar med joniserande strålning och att begränsa risken för uppkomsten av sena somatiska effekter, som kan ha en latent period av tiotals år, samt att begränsa risken för att genetiska effekter skall uppkomma. Strålskyddskommissionens rekommendationer har reviderats undan för undan allteftersom kunskapen om den joniserande strålningens effekter har ökat. Detta kapitel grundar sig i huvudsak på de rekommendationer som antogs av ICRP 1965.

Den grundläggande rekommendationen lyder enligt § 52 av ICRP publ 9 (1966) "As any exposure may involve some degree of risk the Commission recommends that any unnecessary exposure be avoided, and that all doses be kept as low as is readily achievable, economic and social considerations being taken into account."

V.1 SPECIELLA STORHETER FÖR STRÅLSKYDDSDOSIMETRI

V.1.1 Dosekvivalent

Vid bestrålning av levande objekt med olika slag av joniserande strålning (ex α , β eller γ -strålning) ger samma absorberade dos inte samma skaderisk eftersom den biologiska effektiviteten är olika för olika strålslag och strålkvaliteter. För att i strålskyddssammanhang kunna jämföra riskuppskattningar från en situation till en annan, då en annan typ av strålning kan vara aktuell, användes begreppet dosekvivalent.

Dosekvivalenten H erhålles genom att vikta den absorberade dosen D med en kvalitetsfaktor Q för olika strålslag eller strålkvaliteter.

$$H = D \cdot Q$$

Specialenheten för dosekvivalenten är rem då den absorberade dosen anges i rad.

Den linjära energiöverföringen L_{∞} hos strålningen kan användas för att specificera strålningskvaliten (jfr kap II.1.1). Relationen mellan L_{∞} och kvalitetsfaktorn Q som rekommenderas att användas i strålskyddssammanhang anges i nedanstående tabell V:1.

För beta-, gamma- och röntgenstrålning är kvalitetsfaktorn $Q = 1$. För naturlig alfa-strålning är kvalitetsfaktorn $Q = 10$. För neutron-strålning varierar kvalitetsfaktorn med energin :

Neutronenergi (MeV) :	Termisk	0.1	1	10	100
Kvalitetsfaktor Q :		3	8	10.5	6.5 4.5

TABELL V:1

L_{∞} i vatten keV/ μm	Kvalitetsfaktor Q
3.5 eller mindre	1
3.5 - 7.0	1 - 2
7.0 - 23	2 - 5
23 - 53	5 - 10
53 - 175	10 - 20

I detta kapitel användes ibland den kortare benämningen "dos" eller "stråldos" för dosekvivalenten.

V.1.2 Dosekvivalentindex

Värdet på dosekvivalenten i ett mänskligt organ kan mycket sällan mätas direkt utan måste beräknas från mätningar av andra storheter och på andra ställen. Strålskyddsövervakning av röntgen- och gammastrålkällor sker t ex vanligtvis genom att mäta expositionsraten i någon punkt fritt i rummet. Det numeriska värde i röntgen per timme (Rh^{-1}) som härvid erhålles antages ofta vara lika med den maximalt absorberade dosraten i rad per timme (rad h^{-1}) i en individ som befinner sig i samma punkt. Detta förfarande är emellertid ganska approximativt, eftersom den absorberade dosraten kommer att variera i olika delar av kroppen på grund av olika täthet och kemisk sammansättning (II.1.5). Dessutom uppstår

skärmnings- och spridningseffekter som beror bland annat på individens storlek och läge i förhållande till strålkällan.

Ett bättre underlag för att kunna jämföra risker vid bestrålning med olika strålkvaliteter och olika slag av strålning kan man få genom att karakterisera strålfältet med en speciell storhet som kallas dosekvivalentindex.

Dosekvivalentindex H_I i en viss punkt är den maximala dosekvivalenten inom en sfär med 30 cm diameter som är centrerad i denna punkt och som består av ett material som bortsett från spårelementen har samma kemiska sammansättning som mjukvävnad och har tätheten 1 g cm^{-3} .

I allmänhet uppträder den största absorberade dosen D_{\max} och den största kvalitetsfaktorn Q_{\max} på olika ställen i sfären. Eftersom dosekvivalentindex är maximala värdet av $H = D \cdot Q$ gäller då att $H_I < D_{\max} \cdot Q_{\max}$. I praktiken kan man emellertid sätta $H_I \approx D_{\max} \cdot Q_{\max}$ vilket alltså oftast är en överskattning. Bestämningen av D_{\max} innebär ingående dosimetriska mätningar med små dosimetrar t ex TLD (se kap II.2.4) placerade på olika ställen i sfären. För att kunna uppskatta Q_{\max} exakt måste man bestämma L_{∞} på olika ställen i sfären vilket kan vara mycket komplicerat. Därför använder man istället nedanstående fixa värden för Q_{\max} :

För β -, γ - och röntgenstrålning:	$Q_{\max} = 1$
För neutronstrålning med okänd energi:	$Q_{\max} = 10$
För tunga laddade partiklar med okänd energi	
a) med en enhetsladdning:	$Q_{\max} = 15$
b) med mer än en enhetsladdning:	$Q_{\max} = 20$

V.2 STRÅLSKYDDSNORMER OCH REKOMMENDATIONER

Man skiljer inom strålskyddsområdet mellan kontrollerbara och icke kontrollerbara situationer. Den kontrollerbara normala användningen av strålkällor regleras av operativa gränsvärden som anger de högsta tillåtliga stråldosnivåerna för dels enskilda individer dels befolkningen i dess helhet. Till icke kontrollerbara situationer räknas t.ex. nedfall från kärnladdningsexplosioner och olyckshändelser vid kärntekniska anläggningar som medför kontaminering av omgivningen, så kallade atomolyckor. Det kan i sådana situationer bli fråga om skyddsåtgärder mot radioaktivt material som redan har spridits och då gäller åtgärdsnivåer.

Den grundläggande strålskyddsrekommendationen av ICRP gäller för alla situationer och innebär att all onödig bestrålning skall undvikas och att alla stråldoser skall hållas så låga som det är möjligt mot bakgrunden av de ekonomiska och sociala konsekvenser som alltid måste begränsa skyddsinsatsen.

V.2.1 Operativa gränsvärden för enskilda individer

Man indelar i strålskyddssammanhang befolkningen i två olika kategorier.

a - Yrkesverksam radiologisk personal dvs personer över 18 år som arbetar med strålkällor. T ex röntgenpersonal vid sjukhus eller driftspersonalen vid reaktorer och acceleratorer

b - Övriga individer av befolkningen samt skolelever

Den maximalt tillåtliga dosen, MPD = Maximum permissible dose-equivalent, till en person i radiologiskt arbete (kat a) definieras av ICRP som den maximala stråldos, som om den ackumuleras under en lång tidsperiod eller om den är resultatet av en engångsbestrålning, inte medför några akuta stråleffekter på individen. Dessutom skall vid denna stråldos (MPD) risken för sena eller fördröjda stråleffekter vara försumbar dvs sannolikheten för att dessa effekter skall uppträda är mindre än variationerna i den naturliga frekvensen för motsvarande effekter.

Den maximalt tillåtliga dosen MPD skall betraktas som en övre gräns vilken måste registreras individuellt med persondosimeter för att kontrollera att den ej överskrides.

Den dosgräns som man sätter för övriga individer av befolkningen (kat b) är ett mer teoretiskt begrepp som skall tjäna som riktmärke vid konstruktion och drift av anläggningar med strålkällor. Den årliga stråldosgräns man sätter för övriga individer av befolkningen (kat b) skall

vara 1/10 av MPD. Kontrollen av att denna dosgräns inte uppnås kan av naturliga skäl inte ske genom att observera varenda individ av befolkningen. Genom en noggrann kontroll av strålkällan och dess strålskydd samt genom mätningar och provtagningar i omgivningen förvissar man sig om att sannolikheten för att denna dosgräns skall uppnås är mycket liten. I praktiken betraktar man en så kallad kritisk grupp av befolkningen som är representativ

TABELL V:2

Sammanfattning av maximalt tillåtliga doser MPD och dosgränser vid bestrålning av enskilda individer. För mer detaljerade uppgifter hänvisas till ICRP report no 9 (1966) och no 13 (1970)

Organ som bestrålas	Radiologisk personal MPD rem per år	Övriga individer Dosgräns 1/10 MPD rem per år	Skolelever under 18 år Dosgräns 1/100 MPD rem per år
Hela kroppen	5*	0.5	0.05
Gonader Röd benmärg	5	0.5	0.05
Andra organ	15	1.5	0.15

* En helkroppsdos av 5 rem per år motsvarar i genomsnitt 100 mrem per vecka eller 2.5 mrem per timme om man räknar med 50 arbetsveckor per år och 40 timmars arbetsvecka.

för de individer som förväntas få de högsta stråldoserna från den aktuella anläggningen. Medeldosen till denna grupp får då inte överstiga dosgränsen 1/10 MPD. Några

individer av denna kritiska grupp skulle sålunda kunna få något högre stråldos än $1/10$ MPD. Detta har emellertid inte någon som helst betydelse för individens hälsa eftersom det är ytterst liten risk för individuella stråleffekter vid denna låga dosnivå.

I den högre skolundervisningen förekommer alltmer demonstrationer och experiment med strålkällor och radionuklider, även med elever under 18 år närvarande. ICRP har därför infört en speciell dosgräns för "skolbestrålning" vilken innebär att vid demonstrationer och laborationer i skolundervisningen skall det vara högst osannolikt att en elev skall kunna få en stråldos som överskrider 50 mrem per år till hela kroppen dvs $1/100$ av MPD.

V.2.2 Operativa gränsvärden för befolkningen som helhet

Huvudargumentet för att begränsa den totala befolkningsdosen är risken för genetiska effekter. Antar man att den genetiska effekten är linjärt beroende av gonaddosen (jfr Figur III-7) är det möjligt att beräkna ett medelvärde för befolkningsdosen som kan användas vid bedömning av risken för genetiska effekter. Den så kallade genetiska dosen är den tänkta stråldos till hela befolkningen som, om den kontinuerligt gavs till varje individ från födseln upp till 30 års ålder skulle resultera i samma risk för genetiska effekter som de verkliga stråldoserna till enskilda individer.

Den genetiska dosen omräknad till mrem per år blir ungefär lika med den genetiskt signifikanta dosen vilken

användes för medicinsk bestrålning (jfr Figur IV:7).

För planeringen av reaktor-anläggningar och andra kärntekniska program i samhället behöver myndigheterna ha ett dosvärde som begränsar bestrålningen av befolkningen i stort. Ett sådant stråldosgränsvärde innebär nödvändigtvis en kompromiss mellan risken för genetiska effekter och de fördelar kärnteknologins utnyttjande innebär för befolkningen.

Den genomsnittliga stråldosen till hela befolkningen skall enligt ICRP hållas vid "the minimum consistent with necessity" och den genetiska dosen får aldrig överskrida 5 rem per 30 år (170 mrem per år) utöver de stråldoser som erhålls vid medicinsk bestrålning samt naturlig bakgrundsstrålning. Observera att gränsvärdet för befolkningen som helhet är lägre än det som gäller för enskilda individer.

Det av ICRP rekommenderade övre gränsvärdet (5 rem per 30 år) skall användas som riktvärde vid internationell planering av alla framtida projekt som kan ge upphov till bestrålning av befolkningen. Det gäller sålunda för en avlägsen framtid och får ej intecknas för enbart ett ändamål t ex kärnkraftproduktion.

V.2.3 Kärnkraftverken och populationsdosen

ICRP har bedömt det som sannolikt att av den totala genetiska dosen 5 rem per 30 år behöver ca 1 rem per 30 år intecknas för stråldoser orsakade av radioaktiva utsläpp från kärnkraftverk och uppbearbetnings-

5.10

anläggningar för reaktorbränsle. Detta innebär en genomsnittlig stråldos av ca 30 mrem per år som internationellt operativt gränsvärde för jordens befolkning.

Strålskyddsmyndigheterna i de nordiska länderna har enats om att de genomsnittliga stråldoser som kan förorsakas av radioaktiva utsläpp från kärnkraftverk skall understiga 10 mrem per år in på 2000-talet.

För att myndigheterna skall kunna styra och fördela stråldosbidragen från olika kärnkraftsaggregat har man uppskattat vilken populationsdos per årlig producerad elektrisk energimängd som är rimlig.

Populationsdosen M erhålles genom att multiplicera den genomsnittliga stråldosen \bar{H} till befolkningen med antalet individer N i populationen

$$M = N \cdot \bar{H} \text{ manrem}$$

Vid beräkning av manremtalet för ett visst aktivitetsutsläpp från en reaktor skall man ta med alla bidrag oavsett om de faller inom Sveriges gränser eller inte. Man kan emellertid göra den grova approximationen att vi får igen de manrem vi "förlorar" över gränserna genom tillskott från utländska reaktorer.

Antag att befolkningen i Sverige omkring år 2000 uppgår till 10 miljoner. Om vi då räknar med att den genomsnittliga stråldosen skall understiga 10 mrem per år blir populationsdosen per år:

$$\dot{M} \approx 10 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 10^5 \text{ manrem } \text{år}^{-1}$$

Det totala behovet av elektrisk effekt i Sverige omkring år 2000 har av en utredning (SOU 1970:13) uppskattats till ca 100 000 MW. Om vi förutsätter att den elektriska energin då till största delen kommer att produceras av kärnkraftverk blir populationsdosen ≈ 1 manrem per MW år. Detta värde kan sedan användas som riktlinje då det gäller att reglera och begränsa utsläppen av radioaktiva ämnen från olika planerade kärnkraftaggregat.

TABELL V:3

Kärnkraftverk i Sverige

Reaktorstation	Elektrisk effekt MW _{e1}	Tidtabell för start
Ågesta	12	1964
Oskarshamn 1	440	1971
Ringhals 1	760	1973/74
Ringhals 2	820	1974/75
Oskarshamn 2	580	1974
Barsebäck 1	580	1975
Forsmark 1	800	1977/78
Barsebäck 2	750	1977/78
Forsmark 2	800	?

Den årliga genomsnittliga stråldosen till befolkningen kan uppskattas med utgångspunkt från 1 manrem per MWår. Med grovt sett $\sim 10^7$ innevånare i Sverige blir genomsnittsstråldosen $\bar{H} \approx \Sigma(MW)_{e1} \times 10^{-4}$ mrem år^{-1} vilket ger totalt < 3 mrem under 1964-1980. Jfr figur IV:8.

Enligt ICRPs primärrekommendation skall man sänka stråldoserna så lågt som det är möjligt med hänsyn till ekonomiska och sociala konsekvenser. En strålskyddsinsats som medför att populationsdosen minskar med 1 manrem kostar ofta omkring 1000 kr. Om utbytet i form av eliminerad stråldos blir större än 1 manrem per 1000 kr då man t ex inför flera filteranordningar och fördröjningstankar som ytterligare minskar utsläppet från ett kärnkraftverk kommer det att yrkas på sådana åtgärder även om kravet på 1 manrem per MWår är uppfyllt. Detta innebär att den ovan uppskattade stråldosen (< 3 mrem under 1964-1980) sannolikt kommer att bli lägre.

V.2.4 Åtgärder vid atomolyckor

Det som diskuterats hittills i detta kapitel berör verksamhet med strålkällor och radioaktivt material som sker under kontrollerade betingelser. Vid onormala situationer som medför en extra påtvingad bestrålning kan man inte använda ICRPs operativa gränsvärden utan då gäller speciella så kallade åtgärdsnivåer. De stråldosnivåer som tjänar som åtgärdsnivåer ligger under tröskelvärdet för akuta strålskador (jfr Tabell III:1). Vid fastläggandet av åtgärdsnivåerna har man även tagit hänsyn till de strålningskänsligaste kategorierna av befolkningen nämligen gravida kvinnor och barn.

En kärnreaktor är försedd med ett flertal säkerhetssystem som gör att risken för större läckage av radioaktivt material ut i omgivningen är mycket liten även vid allvar-

liga driftstörningar t ex kylvattenavbrott. Men skulle mot all förmodan en katastrof inträffa som medför så stora utsläpp av radioaktivt material till omgivningen, att risk för akuta strålskador på personer utanför reaktor-anläggningen föreligger, måste omedelbara hjälpåtgärder vidtagas. För varje kärnkraftverk finns en beredskapsplan som länsstyrelsen administrerar i samråd med Statens strålskyddsinstitut och Kommissionen för rådgivning vid atomolyckor (KRA).

De åtgärdsnivåer man har att handla efter är:

Åtgärdsnivåer för evakuering: Då man i ett kontaminerat område riskerar att helkroppsdosen från γ -strålning kan överstiga 10 rem eller huddosen från $(\beta+\gamma)$ -strålning kan överstiga 50 rem evakueras befolkningen från området.

Åtgärdsnivåer vid födoämneskontaminering: Man stoppar användningen av kontaminerade födoämnen då man beräknar att totala intaget av ^{131}I kan bli 600 nCi eller av ^{137}Cs 6000 nCi. Man stoppar användningen av kontaminerad mjölk då radioaktivitetskoncentrationerna av ^{89}Sr blir 200 nCi l^{-1} eller av ^{90}Sr : 2 nCi l^{-1} , ^{131}I : 70 nCi l^{-1} och ^{137}Cs : 150 nCi l^{-1} .

I praktiken kommer man emellertid att vidta åtgärder långt under dessa åtgärdsnivåer men vid vilka nivåer det blir, får den aktuella situationen avgöra.