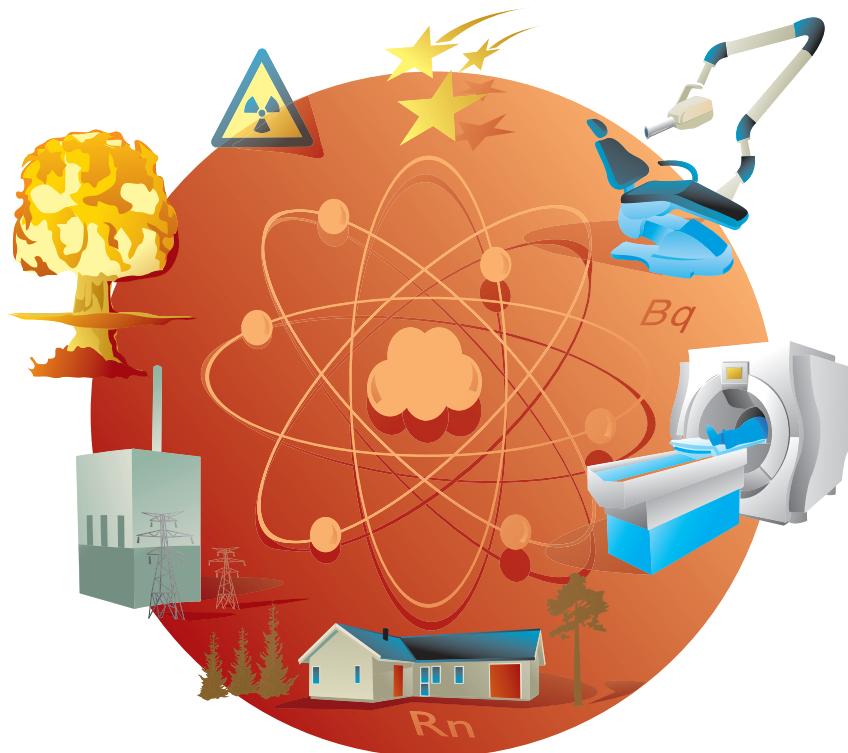


# ANALYSGRUPPEN Bakgrund



## Joniserande strålning

*Joniserande strålning är inget nytt fenomen som uteslutande är förknippat med mänsklig verksamhet. Joniserande strålning har funnits alltifrån världens tillkomst och det finns fortfarande mängder av naturligt radioaktiva atomkärnor omkring oss som fortsätter att sända ut strålning.*

*De senaste hundra åren har vi utvecklat teknik som kan ge oss stråldoser utöver de naturliga, och många människor känner oro för strålning. Det är framför allt inom sjukvården som de blir medvetna om att de utsätts för strålning, och det är till sjukvårdens personal som de vänder sig med sina frågor.*

*Frågorna kanske inte alltid har med behandlingen eller undersökningen att göra – de kan också gälla annat som oroar, t ex radonrisker eller kärnkraft.*

*Denna bakgrund riktar sig till vårdpersonal, kärnkraftanställda, radonsanerare och andra yrkesgrupper som har behov av stöd då det gäller att ge allmänheten information. Den kan också vara av värde vid naturvetenskapliga gymnasie- och universitetsutbildningar.*

### Innehåll

ABC om strålning  
Effekter av strålning  
Skador av strålning  
Strålskydd

Varifrån får vi våra stråldoser?  
Kunskap den bästa rådgivaren  
För vidare studier

## ABC om strålning

### Vad är joniserande strålning?

Alla typer av strålning är bärare av energi. När strålningen träffar materia, i exempelvis levande vävnad, överförs en del av energin till materiaens atomer och molekyler.

Är strålningen tillräckligt energirik kan den slita loss elektroner från atomerna (figur 1). Detta kallas jonisation, och vi talar då om *joniserande strålning*.

Joniserande strålning sänds ut när radioaktiva atomkärnor sönderfaller. Strålningen bildas också vid de kärnreaktioner som exempelvis pågår i solen och i kärnkraftsreaktorer.

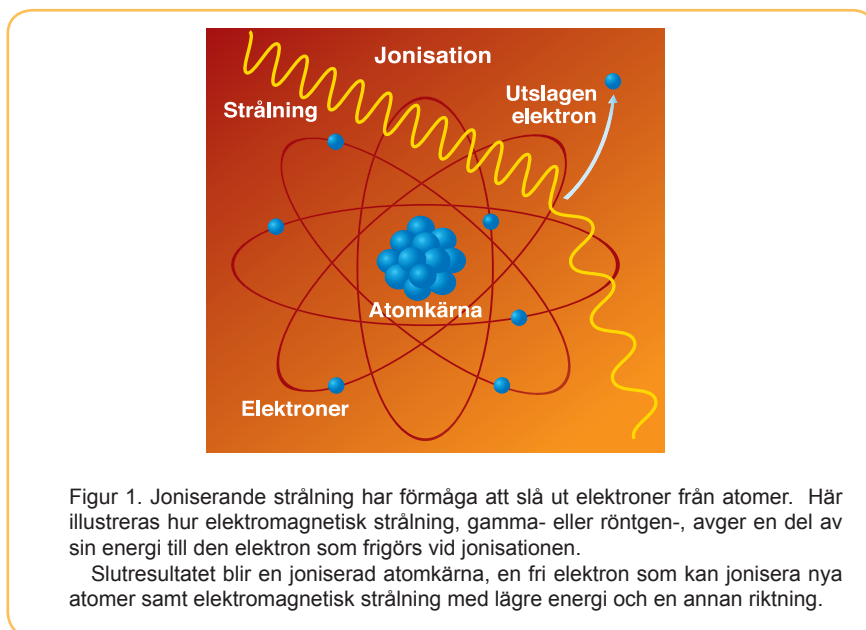
Den kan även framställas i olika typer av utrustningar för röntgendiagnostik och strålbehandling.

### Våra tidiga kontakter med strålning

Materia var till stor del radioaktiv när den en gång bildades för bortåt tio miljarder år sedan.

De flesta grundämnen som finns i naturen har för länge sedan hunnit avge sin överskottsenergi och blivit stabila, men en del är fortfarande radioaktiva och fortsätter att avge strålning som ett minne från vår planets tillblivelse, se faktarutan nedan.

Också från rymden nås vi hela tiden av joniserande strålning.



Figur 1. Joniserande strålning har förmåga att slå ut elektroner från atomer. Här illustreras hur elektromagnetisk strålning, gamma- eller röntgen-, avger en del av sin energi till den elektron som frigörs vid jonisationen.

Slutresultatet blir en joniserad atomkärna, en fri elektron som kan jonisera nya atomer samt elektromagnetisk strålning med lägre energi och en annan riktning.

Allt liv på jorden har alltså utvecklats i en naturlig strålmiljö.

Först på 1890-talet kom människan underfund med detta. Då upptäcktes *röntgenstrålningen* av Wilhelm Conrad Röntgen och *radioaktiviteten* av Henri Becquerel. Makarna Marie och Pierre Curie klarade det fenomen som Becquerel upptäckte. Samtliga belönades senare med Nobelpriset i fysik.

Och mänskligheten tog genast dessa upptäckter i sin tjänst.

Vad man då inte visste var att strålning också kunde vara farlig. Många av pionjärerna inom medicin och forskning fick strålskador och cancer genom oförsiktig hantering av strålning.

Kunskapen om riskerna ökade med tiden och man satte upp regler. Redan 1928 grundades i Stockholm *Internationella strålskyddskommissionen, ICRP*.

ICRP sammanställer erfarenheter av hur strålning påverkar vår hälsa, bedömer riskerna och rekommenderar gränsvärden.

### Fakta om några naturligt radioaktiva ämnen

Uran-238, halveringstid 4,5 miljarder år. Sönderfaller i många steg, med bly som stabil slutprodukt.

Mellanprodukter är bl.a. radium-226, halveringstid 1620 år, och radon-222, halveringstid 3,8 dygn.

Kalium-40, halveringstid 1,4 miljarder

år. Tas upp och lagras i människokroppen tillsammans med stabilt kalium.

Kol-14, halveringstid 5 600 år. Bildas hela tiden av kosmisk strålning i atmosfären, där det råder jämvikt mellan nybildning och sönderfall. Det tillförs näringskedjorna som koldioxid och finns

därför i levande organismer.

En vuxen människas kropp innehåller naturligt radioaktiva ämnen med en total aktivitet av cirka 7 000 becquerel, varav 4 000 becquerel kalium-40. (Enheten becquerel beskrivs på nästa sida.)

### Strålslag

De vanligaste strålslagen är alfa-, beta-, gamma- och röntgenstrålning.

**Alfastrålning** består av positivt laddade heliumkärnor, relativt stora partiklar. De avges av vissa, oftast tunga, radioaktiva ämnen, till exempel uran, radium, radon och plutonium.

På grund av sin storlek och sin elektriska laddning stoppas alfapartiklar snabbt när de träffar materia. I luft är räckvidden bara några centimeter. Ett tunt papper räcker för att stoppa dem.

Om alfastrålning träffar en oskyddad

människokropp förmår den inte tränga igenom hudens yttersta skikt av döda celler och gör då ingen skada.

*Ett ämne som endast avger alfastrålning blir därför skadligt först när det kommer in i kroppen, till exempel genom förtäring eller inandning.*

Lokalt kan strålningen då göra stor skada.

**Betastrålning** består av elektroner. De är mycket lättare än alfapartiklar och har i allmänhet betydligt längre räckvidd, men glasögon och tjocka kläder räcker

oftast som skydd mot utifrån kommande strålning.

På oskyddad hud som utsätts för höga doser av betastrålning kan brännskador uppkomma.

Också för betastrålande ämnen är den största risken förknippad med förtäring eller inandning. Ett exempel på ett ämne som avger betastrålning är strontium-90.

**Gamma- och röntgenstrålning** är elektromagnetisk strålning, besläktad med radiovågor och synligt ljus men med

mycket kortare våglängd, och därmed högre energi.

Gammastrålning har i allmänhet högre energi än röntgenstrålning, men gränsen är flytande. Skillnaden ligger istället i strålningens ursprung: gammastrålning härrör från förändringar i atomkärnan, medan röntgenstrålning uppstår genom

uppbromsning av elektroner med hög rörelseenergi.

Gammastrålning har lång räckvidd och tar sig lätt igenom levande vävnad. För att stoppa den kan det behövas flera centimeter bly, decimetertjock betong eller flera meter vatten. För röntgenstrålning som används inom diagnostik räcker

det oftast med någon millimeter bly.

*Inget av de vanliga strålslagen gör att den som bestrålas blir radioaktiv.*

*Däremot kan det i situationer, då en person hanterar radioaktiva ämnen, finnas risk för nedsmutsning (kontaminering).*

### Vad är "becquerel"?

Ett radioaktivt ämne karaktäriseras av att atomkärnor sönderfaller genom att sända ut joniserande strålning.

Antalet sönderfall per tidsenhet anger ämnets aktivitet som uttrycks i becquerel (Bq). En becquerel innebär ett kärnsönderfall per sekund.

*Becquereltal är ofta mycket stora eftersom det finns många atomer även i en liten mängd materia.*

Varje människas kropp innehåller exempelvis så mycket kalium-40 att det varje sekund sker 4 000 kärnsönderfall i vår kropp.

Vår hantering av strålning underlättas av att mätmetoderna är oerhört känsliga – man kan till exempel mäta enskilda atomkärnors sönderfall.

Detta bidrar också till föreställningen att nivåer och förekomster av radioaktiva

ämnen är mycket höga jämfört med andra skadliga ämnen i vår miljö.

Becquereltalet ensamt säger dock ingenting om ämnets skadlighet.

För att eventuella stråldoser skall kunna beräknas måste man ta hänsyn till strålslag (alfa-, beta- eller gammastrålning) samt på vilket sätt strålningen kan nå människan.

## Effekter av strålning

### Hur skadar strålningen?

DNA:t i varje cell hos en människa utgör en fullständig konstruktionsritning för just den individen. Ändå har cellerna i olika organ olika funktioner och egenskaper, vilket beror på att bara delar av arvsmassan kommer till uttryck i olika sammanhang. Det är då inte förvånande att olika vävnader och organ skiljer sig mycket också i fråga om strålningskänslighet.

*Joniserande strålning vållar skada framför allt genom att den direkt eller indirekt bryter sönder DNA-molekylerna.*

Skador på DNA kan även åstadkommas av giftiga kemiska ämnen, både naturliga och konstgjorda, eller av ultraviolett ljus.

### Försvarssystem

Under hela utvecklingshistorien har alltså DNA:t ständigt befunnit sig under attack. Högre former av liv hade varit omöjliga om inte effektiva försvarssystem mot de här angreppen hade utvecklats.

Försvarssystemen utgörs av ett batteri av enzymer som kan leta upp och reparera skador i DNA-molekylerna samt ämnen som kan reagera med reaktiva ämnen (radikaler).

Skadorna på DNA-molekylerna kan normalt repareras tämligen snabbt. Lättare skador är reparerade efter några minuter. För svårare skador kan det ta några timmar.

När den primära skadan reparerats föreligger dock en liten risk för att cellernas information förändrats och då har en mutation uppkommit.

### Celldelningen kritisk

När en cell skall dela sig kopieras DNA-molekylerna och bildar par av identiska kromosomer så att varje dottercell får en full uppsättning av arvsmassan. Om då inte DNA-reparationerna blivit korrekta, kan delar av den genetiska informationen tappas bort vid delningen.

Oftast är sådana celler inte livsdugliga, men om de överlever kan de få nya egenskaper och sägs då vara muterade. De kan till exempel så småningom ge upphov till cancer.

Om det är fråga om en könscell kan skadorna föras vidare till efterföljande generationer.

*Ju oftare cellerna i en vävnad delar sig, desto känsligare är vävnaden för strålning.*

Olika organ är därför olika strålningskänsliga. Barn, som ju fortfarande växer,

är mera känsliga än vuxna.

En viss stråldos som erhålls på en gång är i allmänhet skadligare än samma dos fördelad över lång tid, eftersom skadorna blir mer komplexa och sannolikheten för att det uppstår fel under reparationen ökar.

### Fakta om cancerterapi

Höga doser av strålning (>50 Gy, se nästa sida) har viktiga medicinska applikationer.

Inom cancerterapi behandlas tiotusentals patienter i Sverige årligen med joniserande strålning. Redan för hundra år sedan genomfördes de första behandlingarna av tumörer och metoderna har kontinuerligt förfinats.

Genom utveckling av dosplanering och strålkvaliteter kan cancercellerna selektivt exponeras för höga doser medan frisk vävnad och känsliga organ skyddas.

Trots att den friska vävnaden ofta är mer strålkänslig än tumören så kan man på detta sätt döda cancercellerna utan att allvarliga skador på den friska vävnaden uppkommer.

### Hur anges stråldos?

Strålningen avger energi då den träffar en människa. Mängden energi per kilo kroppsvävnad kallas *absorberad dos*, vilken uttrycks i enheten *gray* (Gy), där 1 gray är detsamma som 1 joule/kg.

Absorberad dos är dock inget entydigt mått på skadlighet eftersom de olika strålslagen påverkar kroppsvävnad på olika sätt.

För att få ett mått på skadligheten med ett visst dostillskott, tillskrivs de olika

strålslagen olika viktningfaktorer med vilka man multiplicerar den absorberade dosen.

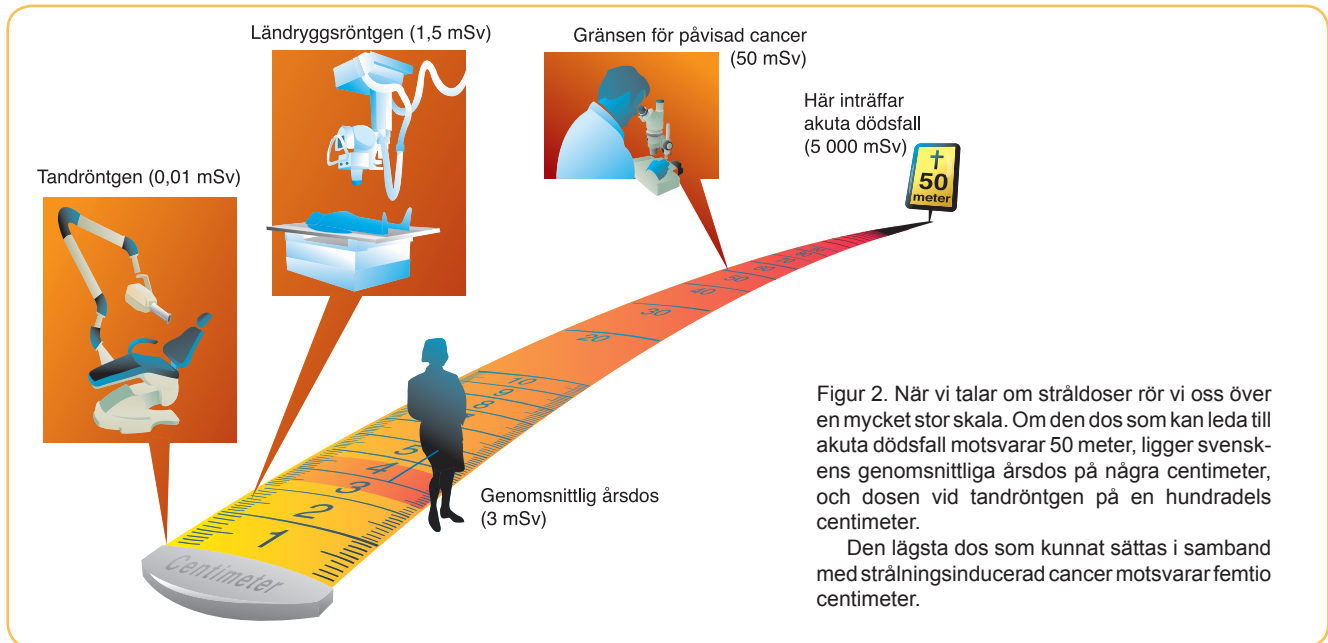
Man får då den *ekvivalenta dosen*, som gör att doser från olika strålslag kan summeras och jämföras. Den uttrycks i enheten *sievert* (Sv).

För beta-, gamma- och röntgenstrålning är viktningfaktorn 1, så i det fallet är ”gray” och ”sievert” detsamma. Dosen en gray från alfastrålning är däremot

20 gånger skadligare än dosen en gray från beta- eller gammastrålning, dvs. vi säger att alfastrålning har viktningfaktorn 20.

En sievert, liksom en gray, är en mycket stor stråldos, som få människor blir utsatta för.

Tusendelar av en sievert är mycket vanligare och på denna nivå ligger också den naturliga bakgrundsstrålningen. Därför används oftast enheten *millisievert* (mSv).



Figur 2. När vi talar om stråldoser rör vi oss över en mycket stor skala. Om den dos som kan leda till akuta dödsfall motsvarar 50 meter, ligger svenskens genomsnittliga årsdos på några centimeter, och dosen vid tandröntgen på en hundradels centimeter.

Den lägsta dos som kunnat sättas i samband med strålningsinducerad cancer motsvarar femtio centimeter.

**Den ekvivalenta dosen** anger sannolikheten för skada i ett visst organ eller viss vävnad oberoende av strålslag och strålningsenergi.

I medicinska sammanhang är bestrålningen oftast begränsad till en viss kroppsdel (röntgenundersökning) eller till ett eller flera organ (nukleärmedicinska undersökningar).

I dessa fall och i många strålskyddssammanhang vill man kunna jämföra och

addera risker oavsett om hela kroppen bestrålats eller bara delar av den.

Även detta är möjligt eftersom vi har kunskap om de olika organens strålkänslighet (se nästa avsnitt).

Genom att multiplicera den ekvivalenta dosen i respektive organ med en omräkningsfaktor, som beror av det bestrålade organets känslighet, kan vi räkna om organdoser till så kallad *effektiv dos*.

Summan av omräkningsfaktorerna är lika med ett och ju högre skaderisk desto större viktningfaktor får organet.

När vi i fortsättningen, liksom i figur 2, skriver dos menar vi den effektiva dosen, som kan sägas vara ett mått på risken för hälsoeffekter, oberoende av strålslag, strålenergi, om strålningen berör hela eller delar av kroppen och om bestrålningen sker utifrån eller från radioaktiva ämnen i kroppen.

### Fakta om några storheter och enheter

*Enheterna har ändrats genom åren. Rad har bytts ut mot gray, rem mot sievert och curie mot becquerel.*

**Absorberad dos** anger den energi som strålningen avger per kilogram kroppsvävnad. Enheten är gray (Gy).  
1 Gy = 1 joule/kg.

**Ekvivalent dos** är ett mått på strålningens skadlighet, som erhålls genom att den absorberade dosen multipliceras med en faktor som beror på olika strålslags biologiska verkan. Enheten är sievert (Sv).

För beta- och gammastrålning är absorberad och ekvivalent dos numeriskt lika.

**Effektiv dos** erhålls genom att den ekvivalenta dosen i respektive organ multipliceras med en omräkningsfaktor, som beror av det bestrålade organets strålkänslighet. Enheten är sievert (Sv).

Effektiv dos används i strålskyddssammanhang och medger att risken

för hälsoeffekter från dostillskott till olika delar av kroppen kan adderas och/eller jämföras.

**Aktivitet** anger antalet atomkärnor i ett radioaktivt ämne som sönderfaller per tidsenhet.

Enheten är becquerel (Bq). 1 Bq = 1 sönderfall per sekund.

Det finns inget generellt samband mellan aktivitet och stråldos.

## Skador av strålning

### Hur uppträder skadorna?

Kunskap om sambanden mellan stråldos och skadeeffekt är fundamental för utformandet av regler för strålskydd.

Under de drygt hundra år som vi använt oss av joniserande strålning har vi lärt oss mycket om sambanden mellan stråldoser och hälsoeffekter. Inte minst har de medicinska tillämpningarna som fick stor spridning redan på 1920-talet, bidragit till vår kunskap.

### Akuta effekter

Vid mycket höga stråldoser dör så många celler att de mest drabbade organen slutar att fungera. Symptomen uppträder då snabbt, och vi talar om akuta effekter.

En mycket hög dos till hela kroppen kan leda till döden inom dagar till veckor. En dos på cirka 5 Gy leder sannolikt till döden om ingen behandling ges. I första hand slås de blodbildande organen (den röda benmärgen) ut, vilket drabbar immunförsvaret. Den närmast känsligaste vävnaden är tarm-slemhinnan. Överlevnadschansen beror av möjligheterna att ge behandling.

Det finns en tröskel för akuta skador, som ligger kring 1 000 mGy om bestrålningen sker på en gång och över hela kroppen. Se figur 3.

Vid cancerterapi används tiofallt större doser, men bestrålningen är då koncentrerad till tumören och området däromkring.

### Deterministiska skador

En hög dos till en begränsad del av kroppen är som regel inte dödlig, men andra effekter uppträder. I huden kan rodnad, blåsor eller sår uppträda och en hög dos till könsorganen kan leda till sterilitet.

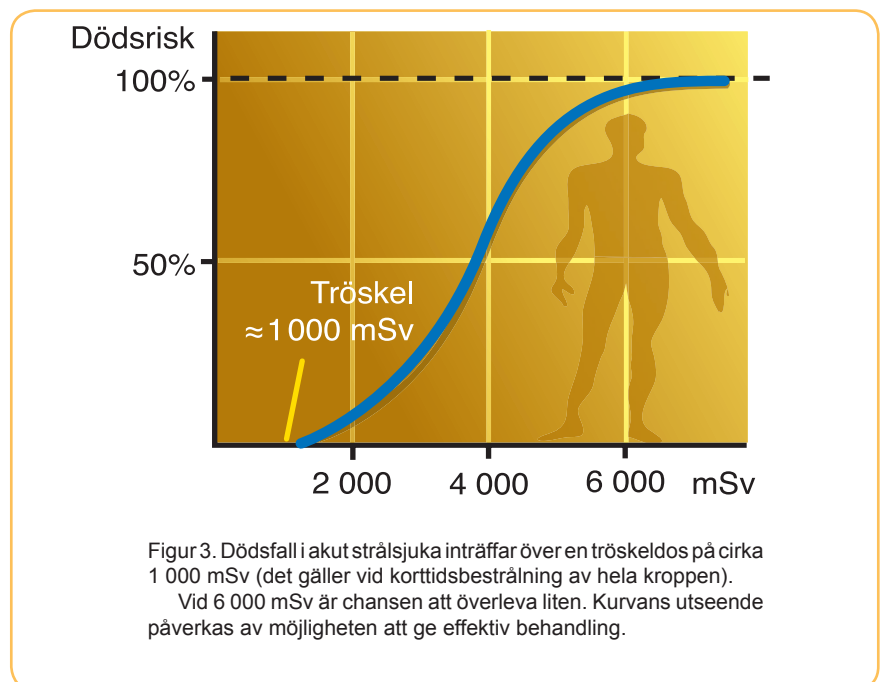
Även dessa skador, som också kallas deterministiska, uppträder bara om dosen

Vår viktigaste kunskapskälla utgörs dock av de människor som drabbades av atombombarna i Hiroshima och Nagasaki 1945. Det är den största befolkningsgrupp som utsatts för höga stråldoser och som man kunnat följa medicinskt under lång tid.

Sedan 1956 samlar FN:s vetenskapliga strålningskommitté, United Nations Scientific Committee of the Effects of

Atomic Radiation (UNSCEAR), information om stråldoser och om strålningens skadliga effekter.

Gemensamt för de studier, där man säkert har kunnat påvisa hälsoeffekter, är att stråldoserna har varit mycket eller ganska höga – engångsdoser på bortåt 50 millisievert och däröver. Vad har man då funnit?



Figur 3. Dödsfall i akut strålsjuka inträffar över en tröskeldos på cirka 1 000 mSv (det gäller vid korttidsbestrålning av hela kroppen). Vid 6 000 mSv är chansen att överleva liten. Kurvens utseende påverkas av möjligheten att ge effektiv behandling.

överstiger ett visst värde, tröskeldosen. När dosen ökar, ökar också skadans svårighetsgrad.

Deterministiska skador kan också uppträda en längre tid efter bestrålningen.

Ett exempel är grumling av ögats lins och detta tar man hänsyn till när man sätter dosgränser för personal som är verksam i strålningsarbete.

### Sluppmässigt uppkomna skador - cancer

Vid lägre doser och när dosen fördelas över en längre tid ser man inga akuta eller deterministiska effekter, men man har funnit att risken för cancer ökar.

För att en normal cell skall utvecklas till en cancercell måste cellens egenskaper förändras i flera avseenden. Detta sker genom att skador i cellens DNA repareras felaktigt och mutationer uppkommer.

En cancercell måste förändras vad gäl-

ler flera egenskaper innan en aggressiv tumör bildas, en process som normalt tar lång tid och sker sluppmässigt.

De DNA-skador som uppkommer vid bestrålning ökar sannolikheten för att mutationer uppkommer och därmed risken att cancer skall utvecklas.

Man talar därför också om sluppmässiga (stokastiska) effekter. Eftersom dessa effekter uppträder först lång tid

efter bestrålningen talar vi även om sena effekter.

I en grupp på drygt 86 000 överlevande från atombombsfällningarna över Hiroshima och Nagasaki, som fick en genomsnittlig dos på några hundra millisievert, hade fram till 1990 omkring 420 personer avlidit i cancer som kan kopplas till stråldoser som erhöles 1945.

Figur 4 beskriver de samband man där

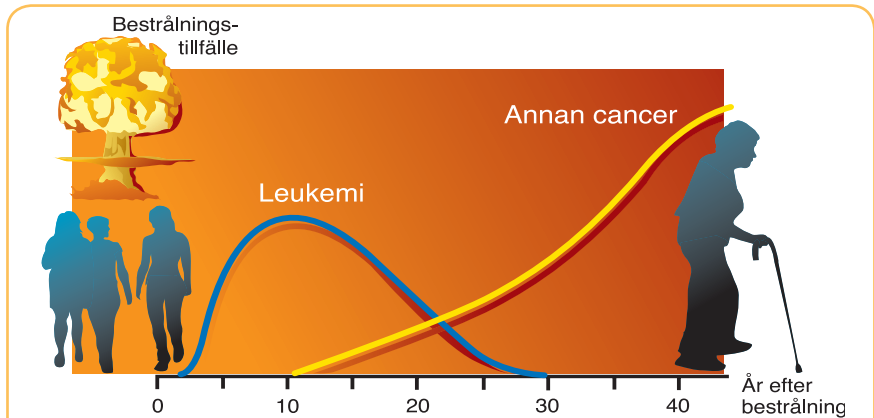
(fortsättning lumpmässigt uppkomna skador - cancer)

funnit mellan cancer och tid efter bestrålningen. Latenstiden för fasta tumörer är i allmänhet minst tio år, men för leukemi kan den var så kort som två år.

Medan leukemirisken är som störst omkring tio år efter bestrålningen och i princip har upphört efter trettio år, finns en bestående risk för att annan form av cancer skall utvecklas.

Risken med ett visst dostillskott blir dock lägre med ökande ålder hos den bestrålade individen eftersom cancer då kanske inte hinner utvecklas.

En viktig lärdom efter Tjernobylyolyckan är den oväntat korta latenstiden för sköldkörtelcancer hos barn förorsakad av nedfallet av radioaktivt jod i närområdet.



Figur 4. Latenstiden för strålning-inducerad cancer varierar mellan 2 år och flera decennier. Medan leukemirisken är som störst omkring 10 år efter bestrålningen och i princip har upphört efter trettio år, finns en bestående risk för att annan cancer i form av fasta tumörer skall utvecklas.

**Samband stråldos/cancerrisk**

På grund av de komplicerade mekanismerna för canceruppkomst kan man inte förutsätta något enkelt samband mellan stråldos och cancerrisk.

Man har inte heller kunnat visa att det finns en viss dos, tröskelnivån, under vilken risken är noll.

Figur 5 beskriver den modell för sambandet mellan stråldos och risken att avlida i cancer som utgör grunden för den allmänt vedertagna strålskyddspolicyn.

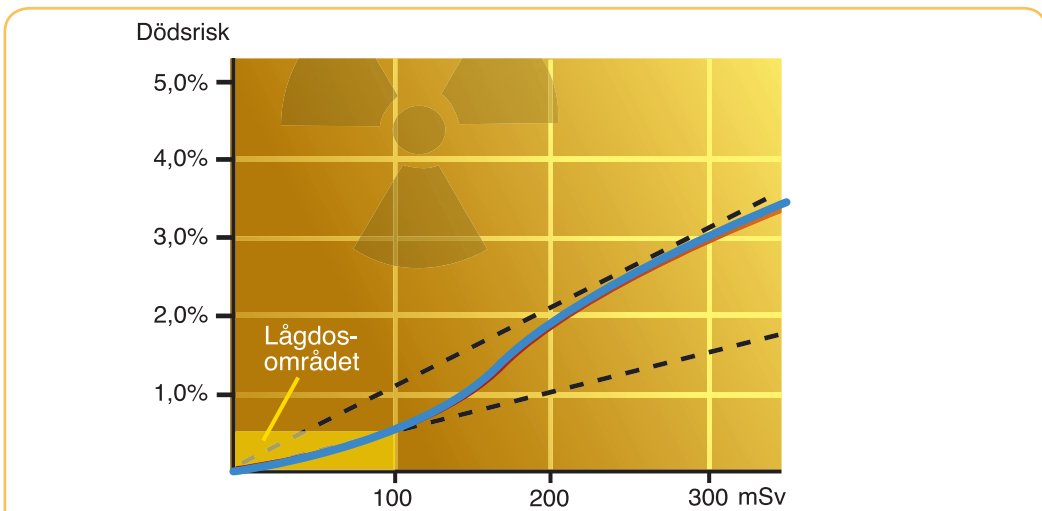
Vid höga stråldoser har man visat att cancerrisken är proportionell mot

stråldosen. ICRP antar att ett linjärt samband också råder vid låga doser, från cirka 100 mSv (se figur 5) ner till noll. Det internationellt vedertagna begreppet för detta antagande brukar benämnas LNT-hypotesen (Linear No Threshold = linjär utan tröskelvärde).

I lågdosområdet räknar man dock med att risken bara är hälften så stor som vid högre doser. En omfattande internationell studie från 2005 på personal vid kärntekniska anläggningar stöder ICRPs antagande åtminstone ner till en dos på cirka 20 mSv.

Enligt ICRP ökar en stråldos på 1 mSv risken att dö i cancer med 0,005 procentenheter i en genomsnittsbefolkning. Detta kan jämföras med att cirka 25 % dör i cancer som har uppkommit av andra orsaker.

Den verkliga cancerrisken vid lägre stråldoser är dock inte känd, eftersom den inte kan verifieras med epidemiologiska studier. Eventuella strålningseffekter är så små att de överskuggas av andra faktorer, exempelvis rökvanor, som också påverkar cancerriskena.



Figur 5. ICRP:s modell för sambandet mellan stråldos och risk för död i strålning-inducerad cancer. För höga doser har man visat att cancerrisken är proportionell mot dosen (övre streckade linjen). Inom lågdosområdet är cancerrisken inte känd, men man antar att risken anges av en rät linje ner till dosen noll (nedre streckade linjen) där risken per dosenhet är hälften så stor som vid höga doser.

### Ärftliga skador

Ärftliga skador kan uppstå om den cell som skadats av strålning är en könscell som sedan deltar i en befruktning. Skadan kan då föras vidare till barnet.

Ärftliga skador har man dock aldrig med säkerhet kunnat påvisa hos människor – inte ens efter atombomberna över

Hiroshima eller Nagasaki. Sannolikt beror detta på att ett befruktat ägg som har allvarliga kromosomskador dör efter några celledelningar.

Mindre allvarliga skador som mutationer kan vara svåra att identifiera som orsakade av strålning. Man vet att de bör

finnas där, men de har inte gått att urskilja bland de andra genetiska avvikelserna i befolkningen.

Vid en given stråldos anses risken för strålningsframkallade ärftliga skador vara betydligt lägre än risken för cancer.

### Effekter på foster

Strålning kan, liksom många kemikalier, ge fosterskador. Ett foster är en organism i snabb tillväxt och därför särskilt känsligt.

En typ av fosterskada som kunnat konstateras efter atombombningarna i Japan är mental efterblivenhet. Den har drabbat barn till mödrar som befann sig i tionde till sjuttonde graviditetsveckan vid bombningarna och där fostret fick stråldoser över 300 mSv.

Man är osäker på om låga doser har någon effekt på utvecklingen av fostrets hjärna. Vid fosterdoser på några millisievert skulle en eventuell effekt vara så liten att den är omöjlig att upptäcka.

När det gäller risken för cancer, anses barn och foster vara känsligare än vuxna. Särskilda regler gäller därför för gravida kvinnor verksamma i strålningsarbete.

Strålning i högre doser kan också förorsaka missbildningar.

I den civilbefolkning i före detta Sovjetunionen som drabbades värst av nedfallet efter Tjernobylolyckan var dock inte doserna så höga att man kunde registrera någon ökning av missbildningar hos barn.

## Strålskydd

### Hur begränsas stråldoserna?

Man insåg alltså tidigt att strålning kan ge upphov till skadliga effekter och ICRP har sedan 1950-talet publicerat rekommendationer för hur strålskyddsarbete skall bedrivas. Dessa baseras bland annat på UNSCEAR:s rapporter och ligger till grund för de normer som fastställs av andra internationella organisationer, till exempel EU.

Tack vare detta mångåriga internationella samarbete tillämpas i stort sett samma grundläggande strålskyddsprinciper i hela världen:

1. Verksamhet med strålning skall vara berättigad, det vill säga nyttan skall vara större än den skada strålningen kan beräknas förorsaka.
2. Strålskyddet skall vara optimerat, det vill säga bestrålningen av personer skall begränsas så långt som rimligt är möjligt.
3. Föreskrivna dosgränser får ej överskridas.

Optimeringsprincipen, princip nummer två, är en direkt följd av det antagna linjära sambandet (LNT-hypotesen) vid låga stråldoser (se figur 5).

Ju mindre dos desto mindre risk, men även en liten dos antas medföra en viss risk för skada.

Det linjära sambandet innebär också att sannolikheten för skada (till exempel framtida cancer) i en grupp människor anges av summan av de effektiva doserna till individerna, den så kallade kollektivdosen.

Kollektivdosen används därför inom strålskyddsverksamhet som ett verktyg för att exempelvis jämföra effekten av olika strålskyddsåtgärder eller analysera trender\*.

Kollektivdosen beräknas som produkten av den genomsnittliga stråldosen i en befolkningsgrupp och antalet individer i gruppen och anges i enheten mansievert (manSv).

Optimeringsprincipen gäller alltså för all verksamhet med joniserande strålning, för röntgendiagnostik och nukleärmedicin såväl som strålningsarbete.

Tillämpning av principen har exempelvis medfört att man kunnat minska stråldoserna till personal vid kärnkraftverk trots ökande produktion och underhåll.

\* Kollektivdosbegreppet har också använts för att uppskatta risken för sena skador hos stora befolkningsgrupper som exponerats för mycket låga stråldoser.

På grund av de stora osäkerheterna i dos/risksambanden vid dessa stråldoser anser dock ICRP att detta inte är rimligt och skall undvikas.

## Varifrån får vi våra stråldoser?

Det dominerande bidraget till de stråldoser som allmänheten i genomsnitt utsätts för kommer från strålkällor som vi har mycket små möjligheter att påverka.

Den naturliga bakgrundsstrålningen utgörs av kosmisk strålning och radioaktiva ämnen i mark, i födan och i vår egen kropp.

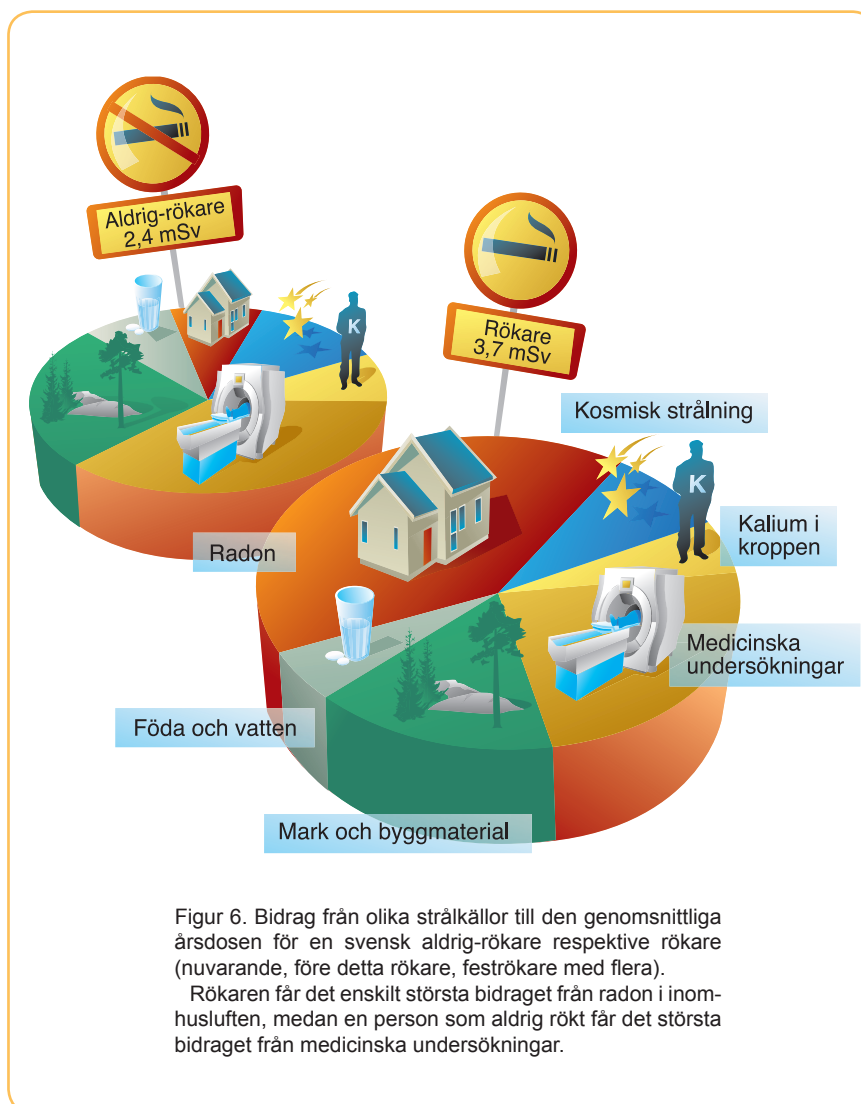
Därtill kommer strålningen i våra bostäder, vilken varierar betydligt beroende på byggnadsmaterial och ventilation och på huruvida vi är rökare eller ej.

De övriga bidragen till allmänheten härrör från medicinsk diagnostik och andra, av människan skapade strålkällor – exempelvis kärnkraft.

Statens strålskyddsinstitut (SSI)\* är den myndighet som har till uppgift att verka för ett gott strålskydd i Sverige och övervakar stråldoserna till befolkningen. Myndigheten publicerade i början på 2007 den första övergripande sammanställningen av dosuppskattningar för den svenska befolkningen.

I denna delas befolkningen upp i aldrig-rökare och rökare, vilket beror på att rökning kraftigt påverkar risken vid radonexponering i vår boendemiljö.

I figur 6 visas den genomsnittliga effektiva stråldosen till aldrig-rökare och rökare (det vill säga alla som röker/har rökt dagligen eller röker ibland). Där framgår till exempel att en person som aldrig rökt får det enskilt största bidraget från medicinska tillämpningar.



### Kosmisk strålning

Varje svensk får en stråldos på i genomsnitt 0,3 mSv per år från kosmisk strålning.

Denna härrör från kärnreaktioner i rymden och intensiteten i den kosmiska strålningen ökar med breddgraden och med höjden över havet.

Detta innebär att personer som flyger mycket ofta kan få 2-3 mSv per år.

### Mark och byggmaterial

Naturligt förekommande radioaktiva ämnen i marken och i byggnadsmaterial ger en årlig extern (från ämnen utanför kroppen) dos på i genomsnitt 0,6 mSv.

Dosen erhålls dels utomhus, dels inomhus och kan för enskilda individer variera från mindre än 0,1 mSv till över 10 mSv per år i extremfall.

I trakter där berggrunden utgörs av

speciella mineraler som innehåller uran, torium och/eller radium, till exempel vissa graniter i Bohuslän, ökar dosen något utomhus, men variationen beror i huvudsak på bostadens beskaffenhet.

Förutom berggrunden kan också en del byggnadsmaterial, som blå lättbetong, innehålla radioaktiva ämnen.

### Kalium i kroppen och radioaktiva ämnen i födan

Naturligt kalium innehåller den radioaktiva isotopen kalium-40. Eftersom kroppens vävnader innehåller en viss mängd kalium utsätts vi alla för en ständig intern (från ämnen i kroppen) bestrålning. Den genomsnittliga årsdosen är 0,2 mSv och variationen i befolkningen är obetydlig.

Andra naturligt förekommande radioaktiva ämnen, som kommer in i kroppen via födan, ger också upphov till intern bestrålning.

Den individuella dosen i Sverige beror på halten av dessa ämnen i dricksvatten och på hur mycket fisk, skaldjur och renkött man äter.

Genomsnittsdosen per år uppskattas till 0,2 mSv. Vatten ur brunnar borrade i uranrika bergarter kan resultera i årsdoser på över 10 mSv.

En storkonsument av renkött kan få drygt 2 mSv, medan en storkonsument av fisk och skaldjur uppskattas per år få 0,7 mSv.



### Radon i inomhusluft

Radon är en naturligt radioaktiv ädelgas som bildas när radium sönderfaller (se faktaruta på sida 2).

När radon frigörs ur marken till utomhusluft späds den snabbt ut, men när radon frigörs från byggnadsmaterial eller från marken in i byggnader koncentreras gasen.

När radonet sönderfaller bildas andra alfastrålande ämnen som binds vid dammpartiklar i luften. Dammpartiklarna följer med luften vi andas och

fastnar i luftrör och lungor. Lungblåsorna saknar det skyddande cellager som ytterhuden har och skadas därför av alfastrålningen. Risken för lungcancer ökar med dosen.

Man har länge vetat att det är rökare som löper den största risken att få lungcancer på grund av radon i inomhusluft.

På basis av en nyligen avslutad stor europeisk studie, där man vägt samman data från flera nationella undersökningar,

uppskattar SSI nu att risken att drabbas av lungcancer på grund av radon i inomhusluften motsvarar en årsmedeldos på 0,2 mSv till en aldrig-rökare.

Risken för en dagligrökare som bor i ett radonhus är 25 gånger större (motsvarande 5 mSv per år).

För hela gruppen rökare (nuvarande, före detta rökare, feströkare med flera) motsvarar risken en genomsnittlig årsdos på 1,5 mSv.

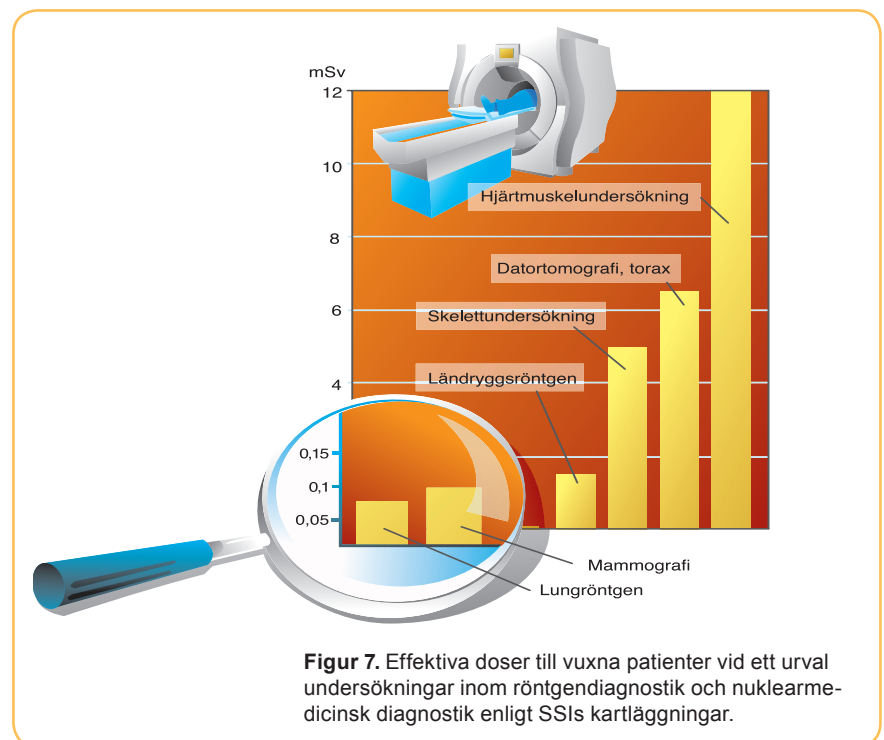
### Stråldoser från medicinska undersökningar

För en svensk som aldrig rökt beräknas det största enskilda dosbidraget, 0,9 mSv per år, härröra från medicinska undersökningar, det vill säga röntgendiagnostik och nukleärmedicinsk diagnostik.

Variationen mellan individer är mycket stor, från en effektiv dos på 0 mSv för den som inte genomgått någon undersökning till över 100 mSv i extrema fall.

Det dominerande bidraget till genomsnittsdosen kommer från det snabbt ökande antalet datortomografiundersökningar medan exempelvis tandröntgens bidrag utgör endast någon procent av genomsnittsdosen.

Figur 7 visar typiska doser från ett urval medicinska undersökningar.



**Figur 7.** Effektiva doser till vuxna patienter vid ett urval undersökningar inom röntgendiagnostik och nukleärmedicinsk diagnostik enligt SSIs kartläggningar.

### Övriga dosbidrag

För personer i strålningsarbete – det gäller till exempel anställda vid kärnkraftverk eller inom sjukvården – har myndigheterna satt en absolut övre gräns på 50 mSv per år, samtidigt som man begränsar dosen till 100 mSv/5 år.

Genom ett medvetet strålskyddsarbete, grundat på optimeringsprincipen, kan individdoserna begränsas, och det är ytterst sällan som någon får en årsdos över eller nära 20 mSv.

Genomsnittsdosen för personal vid svenska kärnkraftverk ligger på omkring

2 mSv per år, ungefär samma dos som flygande personal beräknas få.

Myndigheterna har begränsat dos-tillskotten till allmänheten från vissa verksamheter, bl.a. kärnkraftverk.

Stora satsningar på begränsning av utsläpp till luft och vatten medför att medelårsdoserna till allmänheten från svenska kärnkraftverk i praktiken ligger på 0,001 mSv och lägre.

Kärnkraftolyckan i Tjernobyl 1986 ledde till radioaktivt nedfall också i Sverige, särskilt drabbade blev områdena

kring Gävle och Sundsvall.

Dosen till befolkningen på grund av olyckan är nu obetydlig, men personer som bor i områden som drabbades av nedfallet kan få upp till 0,5 mSv per år beroende på levnadsvanor och boendemiljö.

De som äter mycket vilt- och renkött eller bär och svamp från de drabbade områdena kan få årsdoserna på över 1 mSv.

## Kunskap den bästa rådgivaren

---

Joniserande strålning har alltid funnits i vår naturliga livsmiljö.

De senaste hundra åren har vi utvecklat teknik som kan ge oss stråldoser utöver de naturliga. Samtidigt har studier av strålningens effekter pågått och resultaten av dessa har fått ligga till grund för strålskyddsrekommendationer som ständigt utvecklats i internationellt samförstånd.

Förbättrad strålskyddsteknik har i många fall resulterat i minskande stråldoser.

Personer som arbetar med strålning har de kunskaper som behövs för att hantera strålning med respekt och utan onödig rädsla, men många andra människor känner oro för strålning trots att det för de allra flesta fortfarande är den naturliga stråldosen som dominerar.

I denna bakgrund har vi försökt sammanställa så mycket information om joniserande strålning att även befolkningen i allmänhet skall kunna grovt uppskatta de stråldoser de utsätts för och även i viss mån bedöma de därmed samman-

hängande riskerna, så att de kan jämföra dessa med andra risker i vardagen.

Som alltid är kunskap den bästa rådgivaren. Ett antal källor till ytterligare kunskap redovisas här intill.

**Monica Gustafsson**

Docent, radiofysik

**Mats Harms Ringdahl**

Professor, strålningsbiologi

Stockholms Universitet

Illustrationer: **Lasse Widlund**

lasse.widlund@swipnet.se

*Detta är en uppdatering av den tidigare utgivna rapporten "Hur farlig är joniserande strålning". Den producerades 1994 i syfte att utvidga informationen om strålskydd inom kraftindustrin, allmän vårdutbildning och Akut- och katastrofmedicinskt centrum vid Södersjukhuset i Stockholm. Huvudförfattare var docent Evelyn Sokolowski vid KSU.*

*Under arbetet med denna utgåva har ytterligare några personer lämnat textbidrag samt fortlöpande granskat och kommenterat texten, Hans Ehdwall, KSU och Carl-Erik Wikdahl, Analysgruppen.*

---

### För vidare studier

---

Statens strålskyddsinstitut (ombildas till Strålsäkerhetsmyndigheten 2008)  
SSI Rapport 2007:2, Strålmiljön i Sverige, Pål Andersson et al., Statens strålskyddsinstitut, 2007. Rapporten ger en uttömmande redovisning av hur vi i Sverige exponeras för strålning från olika strålkällor.

SSI Rapport 2007:6, Personalstråldoser inom vård, forskning och icke kärnteknisk industri i Sverige under 1999-2005, Catarina Danestig Sjögren, Statens strålskyddsinstitut, 2007.

Hemsida tills vidare: [www.ssi.se](http://www.ssi.se)

Analysgruppen vid KSU:  
Bakgrund Nr 3, april 2006, Chernobyl's legacy:  
Health, Environmental and Socio-economic Impact  
Den verkliga omfattningen av olyckan

Faktaserien Nr 41, juni 2006, Cancerrisker från låga doser av joniserande strålning.

Faktaserien Nr 30, augusti 2001, Strålning inom medicinen.

Hemsida, [www.analys.se](http://www.analys.se)

---

## Analysgruppen rekommenderar facklitteratur

Böckerna kan beställas genom biblioteken. Flera är också tillgängliga i bokhandeln eller direkt från utgivaren.

### En bok om strålning

Becquerel, gray, sievert och cesium är ord som kommit att införlivas i svenskarnas vardag efter Tjernobykkatastrofen våren 1986. För att råda bot på många och ofta förvirrande besked om radioaktivitet och strålning har docent Jack Valentin skrivit den här välgörande enkla och sakliga boken.

Jack Valentin är genetiker och sekreterare vid International Commission on Radiation Protection (ICRP). Norstedts förlag, 1987 ISBN 91-1-86 3731-0

### Sievert: enhet och mångfald

En biografi över Rolf Sievert som var en av Sveriges ledande vetenskapsmän under 1900-talets mitt. Hans gärning sträcker sig från 1920 till 1966 och omfattar bildandet av nya tvärvetenskapliga discipliner: klinisk radiofysik, radiobiologi och strålskydd. Han kom att få ge namn åt SI-enheten för biologisk stråldos.

Boken är ett examensarbete av Hans Weinberger vid Kungliga Tekniska Högskolan. ISBN 91-7170-015-3 1990

### Kärnkraften, människan och säkerheten

I Sverige är statens strålskyddsinstitut den centrala strålskyddsmyndigheten, men när man i den ofta inflammerade debatten hänvisar till ”fakta” tas det ibland som debattinlägg snarare än som neutral upplysning. Det som författarna säger här är i huvudsak typiskt för tänkandet hos dem som i Sverige sysslar med strålskyddsfrågor. Detta är helt enkelt något av ett standardverk på området.

Författare: Bo Lindell, professor och den förste chefen för statens strålskyddsinstitut, (SSI) och Sven Löfveberg, chef för information och utbildning vid institutet. Publica Allmänna förlaget 1975 ISBN 91-38-01305-3

### Pandoras ask

Strålningens, radioaktivitetens och strålskyddets historia, del 1. Tiden före andra världskriget. Under 1800-talet rådde uppfattningen att mänskligheten hade nått fram till en fullständig kunskap om naturlagarna och att föga mer återstod att upptäcka. Men år 1895 fick denna inställning sin första törn när Röntgen upptäckte ”X-strålarna”. Sedan följde den ena upptäckten efter den andra inom området strålning och radioaktivitet med portalfigurer som Becquerel, makarna Curie, Planck, Einstein, Rutherford och Bohr.

Författaren, professor Bo Lindell, är civilingenjör i teknisk fysik och fil. dr i fysik och var den förste chefen för Statens strålskyddsinstitut.

Bokförlaget Atlantis 1996 ISBN: 91-7486-347-9

### Damokles svärd

Strålningens, radioaktivitetens och strålskyddets historia, del 2. 1940-talet. Kärnklyvningen upptäcktes strax före andra världskriget och därmed blev Einsteins tes att materia kan omvandlas till energi en högst påtaglig verklighet. I detta skeende spelade vetenskapsmannen en unik roll genom att direkt påverka världshändelserna.

Damokles svärd är en direkt fortsättning på Bo Lindells populärvetenskapliga översiktsverk Pandoras ask, och behandlar tiden från andra världskrigets början till 1940-talets slut.

Bokförlaget Atlantis 1999 ISBN: 91-7486-779-2

### Herkules storverk

Strålningens, radioaktivitetens och strålskyddets historia, del 3, Åren 1950 - 1966. I Herkules storverk syftar titeln på Rolf Sieverts insatser. Boken är en fortsättning på Bo Lindells två tidigare volymer i hans strålningshistorik, Pandoras ask och Damokles svärd. Den avhandlar den period, 1950-1966, då Sievert var som mest intensivt verksam. Under denna tid inföll den svenska kärnkraftens barndomsår och diskussionerna om svenska kärnvapen. Strålbehandlingen av cancer fick nya, effektiva hjälpmedel i form av acceleratörer och ”koboltkanoner”. Det globala radioaktiva nedfallet från stormakternas utprovning av superbomber skapade stor oro. Författare professor Bo Lindell.

Bokförlaget Atlantis 2003 ISBN: 917486744X

## Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB (KSU)

---

Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB (KSU) är ett företag inom Vattenfallkoncernen som ansvarar för vissa gemensamma säkerhets- och utbildningsfrågor på uppdrag av Forsmarks Kraftgrupp AB, OKG Aktiebolag och Ringhals AB.

Företaget utbildar driftpersonal vid egna lokalkontor i Forsmark, Oskarshamn och Ringhals. Personalen tränas i reaktorsimulatorer och teoretisk utbildning i kärnteknik. Underhållspersonal utbildas vid KSUs lokalkontor i Barsebäck.

KSU utvärderar störningar som inträffat i svenska och utländska kärnkraftverk och är den svenska länken i ett internationellt nätverk för utbyte av drifterfarenheter.

Företaget svarar genom Analysgruppen för vetenskapligt grundad samhällsinformation inom kärnkraftområdet.

## Analysgruppen vid KSU

---

Analysgruppen är en självständigt arbetande expertgrupp som följer samhällsdebatten om kärnkraft och strålning. Genom KSU är gruppen knuten till kraftindustrin. Gruppen utser själv sina ledamöter efter vetenskaplig kompetens, branschfarenhet och personligt engagemang.

Huvuduppgiften är att sammanställa och analysera fakta kring frågor som kommer upp i samhällsdebatten med anknytning till reaktorsäkerhet, strålskydd, radiobiologi och riskforskning.

Gruppen redovisar resultaten främst genom publikationerna Bakgrund- och Fakta-serierna som också är tillgängliga på Internet: [www.analys.se](http://www.analys.se)

Hemsidan täcker området kärnkraft i Sverige och utomlands och har även ett omfattande länkbibliotek.

*Hans Ehdwall*, fil.kand, international scientific analysis, KSU

*Yngve Flodin*, civilingenjör, reaktorsäkerhetsexpert, Elproduktion Norden, Vattenfall AB

*Lasse Kyläkorpi*, fil. kand, miljösamordnare, Elproduktion Norden, Vattenfall AB

*Martin Luthander*, civilingenjör, public affairs Elproduktion Norden, Vattenfall AB

*Mats Harms-Ringdahl*, professor, strålningsbiolog, Stockholms universitet

*Gunnar Hovsenius*, tekn lic, energi/miljöfrågor, Hovsenius Konsult AB

*Carl-Göran Lindvall*, ingenjör, strålskyddsföreståndare, Barsebäck Kraft AB

*Anders Pechan*, informationskonsult

*Agneta Rising*, miljöchef, Vattenfall AB

*Edvard Sandberg*, civilingenjör, Svensk Energi

*Carl-Erik Wikdahl*, civilingenjör, konsult, Energikommunikation AB

---