



Hur farlig är **Joniserande strålning?**

Många människor känner oro för joniserande strålning. Det är framför allt inom sjukvården som de medvetet kommer i kontakt med strålning, och det är till sjukvårdens personal som de vänder sig med sina frågor.

Frågorna kanske inte alltid har med behandlingen att göra – de kan gälla annat som oroar, t ex radonrisker eller det radioaktiva nedfallet efter Tjernobyl.

Denna Bakgrund riktar sig framför allt till vårdpersonal, och blir förhoppningsvis till hjälp då det gäller att möta allmänhetens behov av information. Men vi bedömer att den också har ett stort allmänintresse och distribuerar den därför i samma omfattning som tidigare Bakgrunder.

Denna Bakgrund är ett komplement till videoprogrammet "Hur farlig är joniserande strålning?" som producerats för Akut- och katastrofmedicinskt centrum vid Södersjukhuset i Stockholm. Programmet distribueras av Analysgruppens sekretariat.

Vad är joniserande strålning?

All strålning är bärare av energi. När strålningen träffar materia, t ex levande vävnad, överförs en del av energin till materiales 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 från radioaktiva atomkärnor sönderfaller.

Den bildas också vid kärnreaktioner, t ex dem som pågår i solen. Och den kan framställas i olika apparater, t ex röntgenaggregat.

Våra tidiga kontakter med strålning

Materien var till stor del radioaktiv när den en gång bildades för bortåt tio miljarder år sedan. Men de flesta kärnslag som finns i naturen har för länge sedan hunnit avge sin överskottsenergi och blivit stabila.

En del är dock fortfarande radioaktiva och fortsätter att avge strålning som ett minne från skapelseprocessen, se faktaruta 1.

Också från rymden nås vi hela tiden av joniserande strålning.

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

Först på 1890-talet kom människan underfund med detta. Då upptäcktes både röntgenstrålningen och radioaktiviteten, och människan började genast ta båda i sin tjänst.

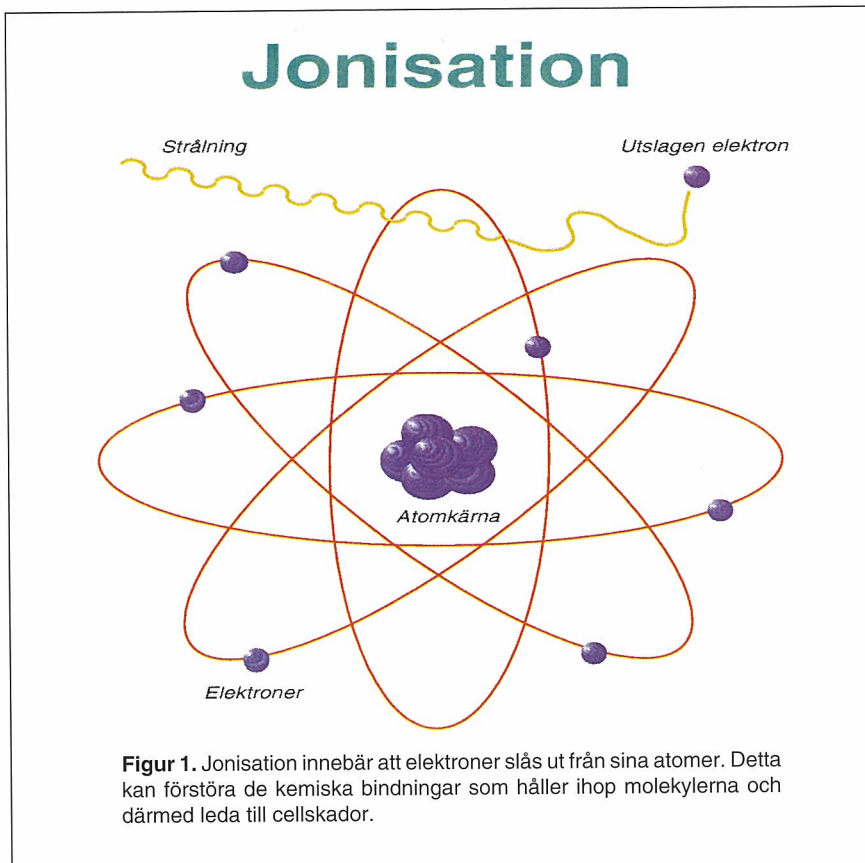
Vad man inte visste då var att strålning också kan vara farlig. Många av pionjärerna inom medicin och forskning fick strålskador och cancer genom oförsiktigt umgänge med strålning.

ICRP

Men man lärde sig så småningom, och satte upp regler. Redan 1928 grundades *Internationella strålskyddskommisionen*, **ICRP**. Den samlar in erfarenheter av hur strålning påverkar vår hälsa.

Utifrån denna kunskap bedömer ICRP riskerna och rekommenderar gränsvärden.

Vår hantering av strålning underlättas av att mätmetoderna är oerhört kän-



Figur 1. Jonisation innebär att elektroner slås ut från sina atomer. Detta kan förstöra de kemiska bindningar som håller ihop molekylerna och därmed leda till cellskador.

liga – man kan t ex mäta enskilda atomkärnors sönderfall. Denna känslighet kan ge fel intryck om strålningens farlighet.

De vanligaste strålslagen

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

Alfastrålning består av relativt stora partiklar. Den avges av vissa, oftast tunga, radioaktiva ämnen, t ex uran, radium, radon och plutonium.

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

Om strålningen träffar en oskyddad människokropp förmår den inte tränga igenom hudens yttersta skikt av döda celler och gör då ingen skada.

Ett rent alfastrålande ämne blir därför skadligt först när det kommer in i kroppen 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 mycket stark betastrålning uppstår brännskador.

Också för betastrålande ämnen är den största risken förknippad med förtäring eller inandning. Ett exempel på en ren betastrålare är strontium-90.

Gamma- och röntgenstrålning är elektromagnetisk strålning, besläktad med radiovågor och synligt ljus men med mycket högre frekvens.

I allmänhet har gammastrålning högre frekvens och energi än röntgenstrålning, men gränsen är flytande.

Skillnaden ligger istället i strålningens ursprung: medan gammastrålning härrör från förändringar i atomkärnan, uppstår röntgenstrålning genom omlagringar i atomernas elektronskal eller genom uppbromsning av fria elektroner.

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 den röntgenstrålning som används inom sjukvården räcker det oftast med någon millimeter bly.

Inget av de vanliga strålslagen gör att den som bestrålas själv blir radioaktiv. En annan sak är naturligtvis att det i vissa situationer kan finnas risk för nedsmutsning med radioaktiva ämnen (kontaminering).

Stråldos är måttet på skadlighet

Det är en allmän princip inom medicinen att skadligheten beror av dosen. Det gäller också för joniserande strålning, se faktaruta 2.

Gray

Måttet på dos är den energi som strålningen avsätter per kilo kroppsvävnad. Detta kallas "absorberad dos", och enheten är "gray".

Men absorberad dos är inget entydigt mått på skadlighet. Skadligheten beror också av vilket slags strålning det rör sig om.

En gray av alfastrålning är 20 gånger skadligare än en gray av beta- eller gammastrålning. Vi säger att alfastrålning har viktningsfaktorn 20.

För att slippa hålla reda på vilka strålslag det handlat om vid en bestrålning, multiplicerar man den absorberade dosen med viktningsfaktorn för det aktuella strålslaget.

Man får då den *ekvivalenta dosen*, som är ett mera entydigt mått på skadligheten.

Sievert

Den ekvivalenta dosen är vad vi i allmänhet menar när vi talar om stråldos. Den uttrycks i enheten *sievert*.

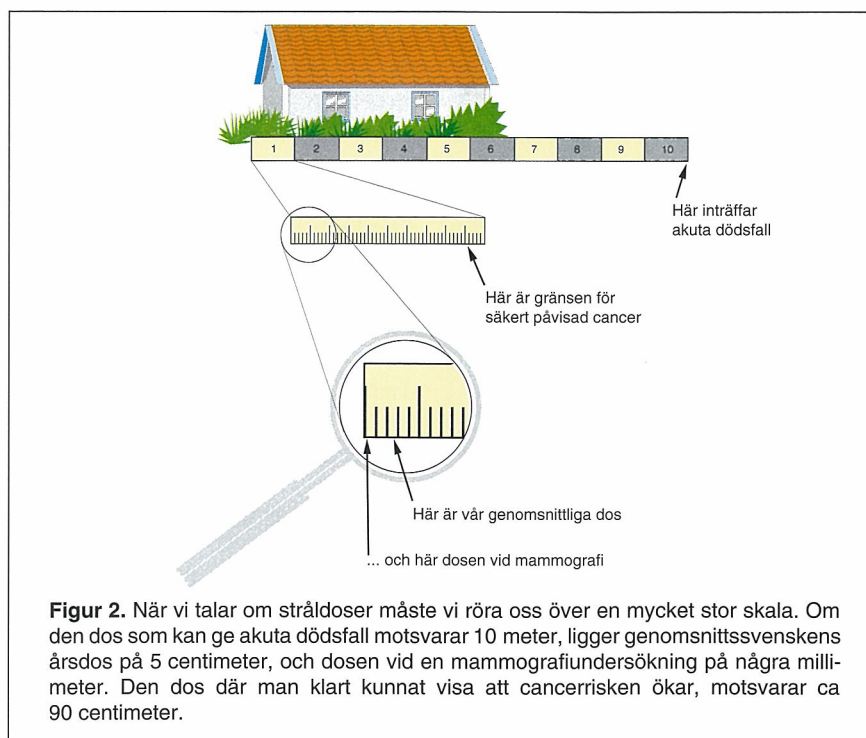
För både beta- och gammastrålning är viktningsfaktorn 1, så i det fallet är "gray" och "sievert" detsamma.

En sievert är en mycket stor stråldos, som få människor blir utsatta för. Tusendelar av en sievert är mycket vanligare.

Därför används oftast enheten *millisievert* (figur 2).

I medicinska sammanhang är bestrålningen oftast begränsad till en viss kroppsdel eller ett organ.

Risken med bestrålningen är då gi-



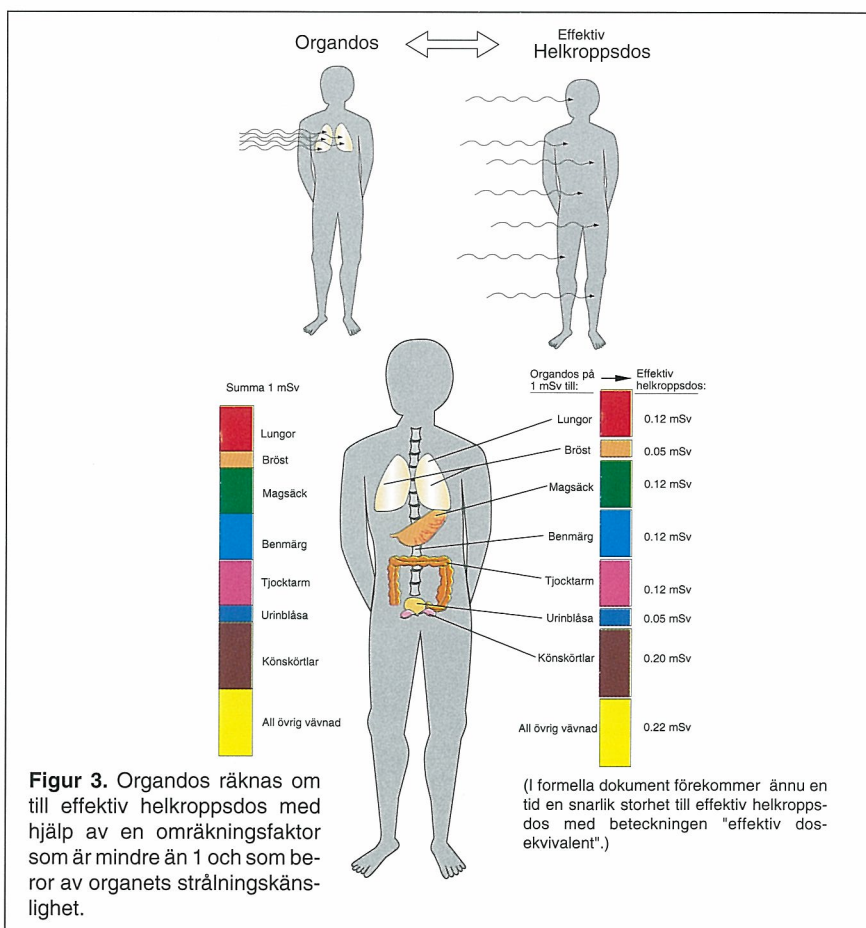
vetvis mindre än om hela kroppen hade utsatts för samma stråldos.

Vi måste därför skilja på *organdos* och *helkroppsdos*.

För att kunna jämföra olika bestrålningar i fråga om skadlighet räknar man

om organdosen till effektiv helkropps-dos (*s k effektiv dos*). Omräkningsfaktorn, som är mindre än 1, beror av det bestrålade organets känslighet (fig. 3).

När vi i fortsättningen anger doser menar vi effektiva helkropps-doser.



Vad är "becquerel"?

Stråldosen är alltså den storhet som talar om hur skadlig en bestrålning är och enheten är "sievert".

En radioaktiv strålkälla karakteriseras av sin *aktivitet*, som anges med enheten *becquerel*.

En becquerel innebär att en radioaktiv atomkärna sönderfaller per sekund.

Becquereltalet ensamt säger ingenting om dosen och skadligheten: man måste också veta vilket radioaktiva ämne det gäller, och om och hur dess strålning kan nå människan.

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

Ett exempel: Om man påstår att det just skett ett radioaktivt utsläpp på 20 miljoner becquerel i centrala Stockholm, så låter det otäckt.

Men det är vad som sker när 5 000 åskådare strömmar ut från Råsunda fotbollsstadion. Varje människas kropp innehåller nämligen det naturligt radioaktiva ämnet kalium-40, ungefär 4 000 becquerel per person. Se även faktaruta 1.

Så visst skulle man kunna tala om ett radioaktivt utsläpp – men i detta fall skäligen ofarligt!

Hur skadar strålningen?

Varje cell i en individ innehåller det DNA som utgör en fullständig konstruktionsritning för just den individen.

Ändå är cellerna i olika organ helt olika, med olika funktioner och egenskaper.

Det 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.

Liknande skador kan åstadkommas av kemiska ämnen, både naturliga och konstgjorda, av virus 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 det inte hade utvecklats ett *effektivt försvarssystem* mot de här angreppen.

Försvaret utgörs av ett batteri av enzymer som kan leta upp och reparera skador i DNA-molekylen.

Det går i allmänhet snabbt. Lättare skador är reparerade efter tio minuter. För den svåraste typen av skada tar det ungefär en timme.

Celldelningen kritisk

När en cell skall dela sig klumpas kromosomerna ihop och fördubblas. Om då inte DNA-reparationerna har lyckats, kan bitar av kromosomerna tappas bort vid delningen, eller brottstycken kan kombineras ihop på fel sätt.

Oftast är sådana celler inte livsdugliga. Men om de överlever kan de uppträda onormalt. De kan t ex 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 (jfr figur 3). Barn, som fortfarande växer, är mera känsliga än vuxna.

Cancertumörer, som kännetecknas av ohämmad tillväxt, är känsligare än omgivande normal vävnad. Det är detta man drar nytta av vid strålbehandling av cancer.

En viss stråldos som erhålls på en gång är i allmänhet skadligare än samma dos fördelad över lång tid, eftersom reparationsprocesserna blir mer belastade.

Hur uppträder skadorna?

Under de hundra år som vi använt oss av strålning har vi lärt oss mycket om sambanden mellan stråldoser och hälsoeffekter.

Inte minst de medicinska tillämpningarna, som fick stor spridning redan på 1920-talet, har bidragit till vår kunskap.

Vår största kunskapskälla är emeller-

tid de människor som drabbades av atombombarna i Hiroshima och Nagasaki 1945. Det är den största befolkning som utsatts för höga stråldoser och som man kunnat följa medicinskt under lång tid.

Gemensamt för alla de erfarenheter, då man klart har kunnat påvisa hälsoeffekter, är att stråldoserna har varit mycket eller ganska höga – engångsdoser på bortåt 100 millisievert och däröver. Vad har man då funnit?

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*.

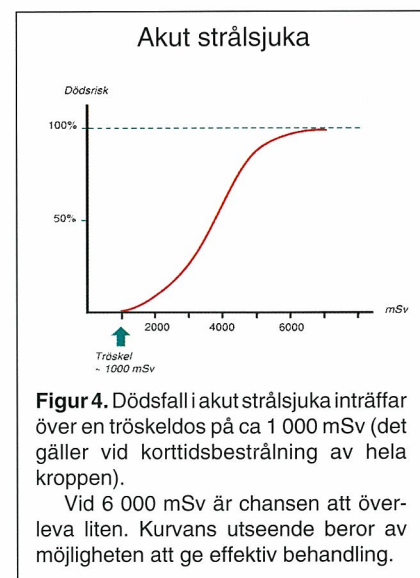
Det finns en tröskel för sådana skador, som ligger kring 1 000 millisievert om bestrålningen sker på en gång och över hela kroppen.

Det är i första hand de blodbildande organen (den röda benmärgen) som slås ut, vilket först drabbar immunförsvaret.

Den närmast känsligaste vävnaden är tarmslemhinnan. (Dess kraftiga försurning kompenseras med snabb celledelning.)

Vid 3 000 millisievert finns en påtaglig risk att dö i akut strålsjuka, och över 6 000 mSv är chansen att överleva ganska liten (figur 4).

Överlevnadschansen beror emellertid av möjligheterna att ge behandling.



Vid cancerterapi förekommer mångdubbelt större doser, men bestrålningen är då koncentrerad till området kring tumören.

Sena effekter

Utöver de akuta effekterna har man också funnit att *risken för cancer ökar*.

Denna ökning märks först lång tid efter bestrålningen — vi talar därför om *sena effekter*.

Latenstiden för fasta tumörer är i allmänhet minst tio år, men för leukemier kan den vara så kort som två år (figur 5).

Leukemirisk är som störst omkring tio år efter bestrålningen och har klingat av efter trettio år.

För andra cancerformer förefaller den att fortsätta öka i proportion till "normal", icke strålningsframkallad cancer.

Utgångspunkten för cancerutvecklingen kan vara en enskild skadad cell, men det är många faktorer som måste samverka för att cancer skall uppstå.

Man talar därför också om stokastiska (= slumpmässiga) effekter.

Ingen doströskel

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

Men man kan heller inte anta att det finns en doströskel under vilken risken är noll.

Den lägsta engångsdos där man klart kunnat påvisa ökad risk för cancer är straxt under 100 mSv.

Ökningen är också tydlig bland de överlevande från Hiroshima och Nagasaki, som fick en medeldos på 300 mSv: av 40 000 bestrålade personer hade fram till 1985 ca 400 dött i cancer som måste tillskrivas strålningen.

I de allra flesta sammanhang där människor utsätts för strålning, och där de känner oro, är doserna mycket mindre än så, eller mycket mera utdragna i tiden.

Figur 6 visar ungefärliga doser vid några diagnostiska röntgenundersökningar. De varierar mellan några tiondels och ca tio millisievert.

Samband stråldos/ cancerrisk

Trots att det gjorts omfattande studier har det hittills inte framkommit några klara belägg för ökad cancerrisk vid så pass låga doser.

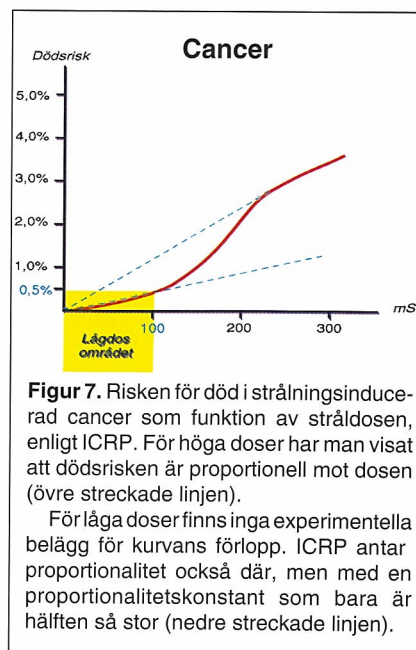
Om en studie visar ökad risk (och det är dessa som uppmärksammas i massmedia), så finns det oftast andra som ger motsatt resultat.

Orsaken är att en eventuell strålnings-effekt är så liten att den överskuggas av andra hälsoeffekter som forskarna har svårt att ta med i beräkningen. Det kan t ex vara skillnader i mat- och rökvanor eller i boendemiljö, som alla kan ge stora utslag när det gäller cancerrisken.

Internationella strålskyddskommis-sionen ICRP räknar med att cancerrisken är proportionell mot stråldosen. Detta är välbelagt vid höga doser.

ICRP antar att ett linjärt samband råder också vid låga doser, från ca 50 mSv ner till noll, där det saknas experimentella belägg.

Men i lågdosområdet räknar man med att proportionalitetskonstanten bara är hälften så stor som vid högre doser (figur 7).



Figur 7. Risken för död i strålningsinducerad cancer som funktion av stråldosen, enligt ICRP. För höga doser har man visat att dödsrisken är proportionell mot dosen (övre streckade linjen). För låga doser finns inga experimentella belägg för kurvans förlopp. ICRP antar proportionalitet också där, men med en proportionalitetskonstant som bara är hälften så stor (nedre streckade linjen).

Enligt ICRP ökar en stråldos på 1 mSv risken att dö i cancer med 0,005 procentenheter i en genomsnittsbefolkning.

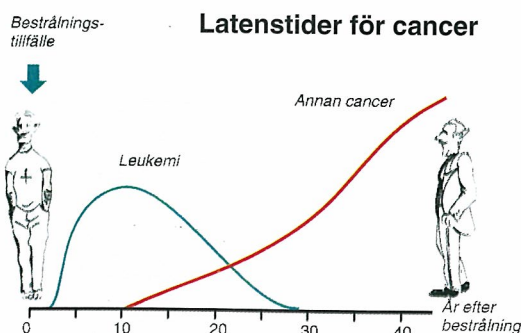
Detta kan jämföras med att ca 20 % dör i cancer av andra orsaker.

Kollektiv risk

Vad är värre: om några få människor får en relativt hög stråldos, eller om många får en liten stråldos?

Om t ex 200 människor vardera får 100 mSv, leder detta enligt ICRP till ett extra dödsfall i cancer.

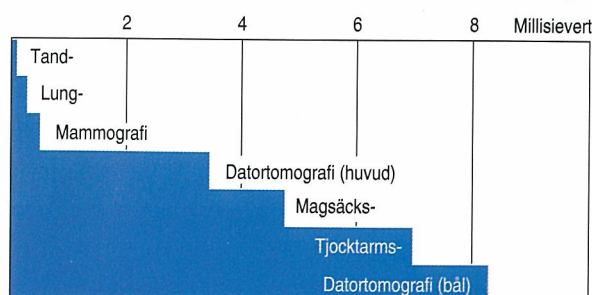
Det är precis detsamma som man räknar med om istället 20 000 människor får vardera 1 mSv (figur 8).



Figur 5. Latenstiden för strålningsinducerad cancer varierar mellan 2 år och många decennier. De korta latenstiderna gäller för leukemi, och då främst hos barn. Leukemin kulminerar efter tio år och har klingat av efter ca 30 år.

För fasta tumörer inträder en ökning vanligtvis först efter 10 år och fortsätter sedan. De långa latenstiderna gör att det ofta blir fråga om en liten livstidsförkortning.

Typiska doser vid olika röntgenundersökningar



Figur 6. Effektiva doser vid olika röntgenundersökningar. Dosen vid samma typ av undersökning kan variera mycket från sjukhus till sjukhus.

De värden som ges här är medelvärden från Storbritannien enligt brittiska strålskyddsmyndigheten. Utvecklingen går mot allt lägre doser.

Naturligtvis skulle vi alla hellre tillhöra den stora gruppen, där den individuella risken är 100 gånger mindre.

Men för samhället och myndigheterna är det i bägge fallen fråga om ett människoliv, likvärdigt i bägge fallen:

den kollektiva eller samhälleliga risken är densamma trots att den individuella risken skiljer sig betydligt.

Det kollektiva riskbegreppet är ovant för de flesta. Det gjorde att många kom att uppfatta myndigheternas agerande efter Tjernobyl som inkonsekvent och föga trovärdigt.

Å ena sidan infördes diverse besvärliga försiktighetsåtgärder, t ex livsmedelsrestriktioner, å andra sidan försäkrade man att ingen behövde vara orolig.

Förklaringen var att åtgärderna betingades av den kollektiva risken, samtidigt som den individuella risken var låg för alla.

Genetiska skador

Om en cell som skadats av strålning är en könscell som deltar i en befruktning, kan skadan föras vidare till barnet.

Men kromosomskador ger sällan märkbara skador hos barnen. En orsak är att varje individ i sina celler har en dubbel uppsättning kromosomer, en från vardera föräldern.

Om en kromosom är skadad på något sätt, tar vanligtvis den motsvarande friska kromosomen över. För att skadan skall visa sig, krävs i allmänhet att samma defekt ärvs från båda föräldrarna.

Genetiska skador på grund av strålning har man aldrig med säkerhet kunnat påvisa hos människor, inte ens efter atombombningarna i Japan.

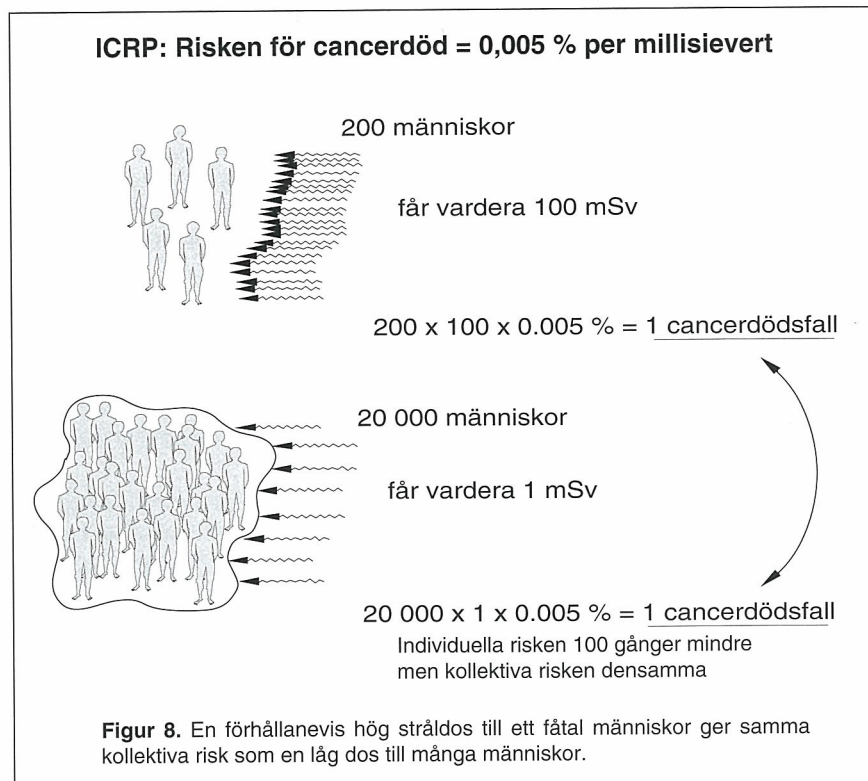
Man vet att de bör finnas där, men de har inte gått att urskilja bland de andra genetiska avvikelserna i befolkningen.

Risken för strålningsframkallade genetiska skador anses vara ungefär fem gånger lägre än risken för cancer.

Fosterskador

Liksom många andra skadliga agens kan strålning förknippas med fosterskador. Ett foster är en organism i snabb tillväxt och därför särskilt känsligt.

Den typ av fosterskada som kunnat konstateras efter atombombningarna i



Japan är mental efterblivenhet. Den har drabbat barn till mödrar som var i 10:e-17:e graviditetsveckan vid bombningarna. Risken befanns vara 40% vid 1 000 mSv.

Det är tveksamt om skadan kan inträffa vid doser under ett par hundra mSv.

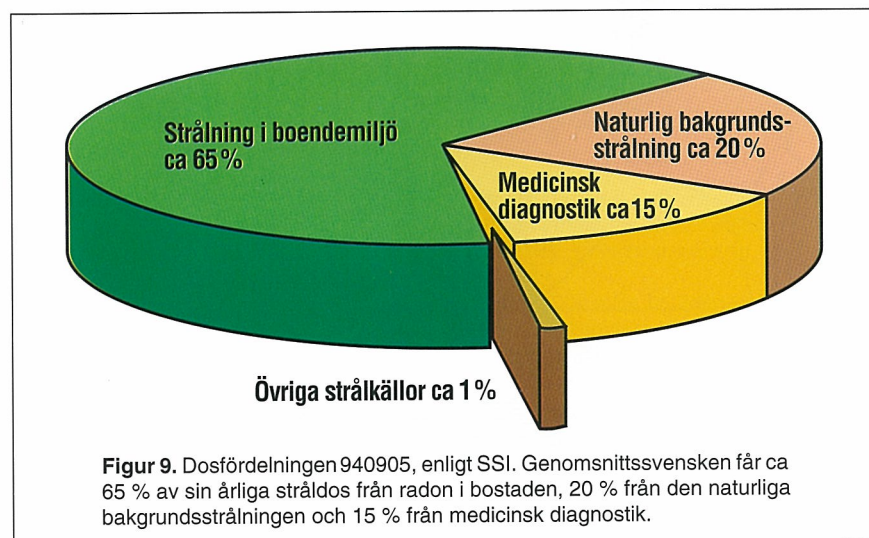
I den medicinska litteraturen har det rapporterats fall då barn fötts med svåra missbildningar efter det att modern av

misstag fått strålbehandling i den tidiga graviditeten.

I den civilbefolkning i f d Sovjetunionen som drabbades värst av nedfallet efter Tjernobyl var inte doserna så höga att man kunde vänta sig en ökning av missbildningar hos barn.

I de seriösa undersökningar som gjorts i dessa områden har man inte heller sett någon sådan ökning.

Varifrån får vi våra stråldoser?



Den naturliga bakgrunden

Varje svensk får i genomsnitt en stråldos på 1 mSv per år från den naturliga strålningen – den s k bakgrundsstrålningen.

Den kommer från radioaktiva ämnen i marken, från kärnreaktioner i rymden, och från radioaktivt kalium och kol som lagras i våra egna kroppar.

I trakter där marken är särskilt rik på radioaktiva mineraler, t ex i bohusgranit och viss skiffer, är bakgrunds-dosen högre. Inom Sverige kan det röra sig om ungefär det dubbla jämfört med genomsnittet.

Höjden över havet spelar en roll för luftens förmåga att skärma av strålningen från rymden.

Den naturliga strålningens geografiska variation är alltså stor – det finns regioner där dosen är mer än tio gånger så stor som i Sverige.

Några skillnader i hälsotillstånd, som kan tillskrivas skillnaderna i naturlig stråldos, har inte kunnat påvisas.

Radon i bostäder

Det största dosbidraget får vi i Sverige från radonet i våra bostäder.

Genomsnittsdosen är ungefär 3 mSv per år, men i somliga hus kan dosen bli storleksordningar större.

Radon är en naturligt radioaktiv ädelgas*) som bildas ur uran (se faktaruta 1).

Radonet är kortlivat och bildar s k radondöttrar. Både radonet och ett flertal radondöttrar är alfastrålnare som kan vålla problem om de kommer in i kroppen.

Som ädelgas har radonet svårt att bindas kemiskt. När man andats in det följer det med utandningsluften ut igen utan att fasta i lungorna.

Värre är det med radondöttrarna. De binds vid dammpartiklar i luften som kan bli kvar i lungorna längre eller kortare tid.

Alfastrålningen kan då öka risken för lungcancer.

* Även om radon är ett naturligt radioaktivt ämne brukar radondosen inte räknas in i den naturliga bakgrunds-dosen eftersom den är starkt beroende av bostädernas beskaffenhet.

Ökad risk för rökare

Mycket tyder på att det är rökare som löper den största risken.

Lungans flimmerhår matar hela tiden fram ett slemskikt som transporterar bort dammpartiklar och som dessutom skärmar av alfastrålningen.

I en rökares lungor kan flimmerhåren ha brutits ner så att radondöttrarna hamnar direkt på lungvävnaden och fastnar där.

Eftersom stråldoserna från radon och radondöttrar i stort sett är begränsade till lungorna, innebär radonet ingen särskild risk i samband med graviditet.

Medicinska och andra stråldoser

Efter radonet och den naturliga bakgrundsstrålningen är det den medicinska bestrålningen som ger genomsnittssvensken det största dosbidraget, nämligen omkring 0,6 mSv per år. Se också figur 6.

För dem som bor nära kärnkraftverk har myndigheterna satt en dosgräns på en tiondel av den naturliga bakgrunden, dvs 0,1 mSv per år. I praktiken ligger doserna på en hundradels mSv och lägre.

I en del yrken får man större stråldoser än genomsnittssvensken. En pilot t ex, som flyger på höghöjdsrutter, kan från den kosmiska strålningen få en årlig dos på 7 mSv.

För strålningsarbete – det gäller t ex anställda vid kärnkraftverk eller på sjukhusens radiologiska avdelningar – har myndigheterna satt en övre gräns på 50 mSv per år, förutsatt att det är fråga om enstaka år.

Det är ytterst sällan som någon kommer i närheten av denna gräns.

Kärnkraftolyckan i Tjernobyl 1986 ledde till radioaktivt nedfall också i Sverige. Särskilt drabbade blev områdena kring Gävle och Sundsvall, där doserna det första året blev ca 3 mSv. Genomsnittet för hela landet beräknades till 0,2 mSv.

Åren därefter har doserna blivit mycket lägre, även om vissa speciella livsmedel – vilt, insjöfisk, svamp, skogsbär – i de mest utsatta områdena fortsätter att ligga över gränsvärdena för det långlivade cesium-137 (se faktaruta 3.)

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, och många människor känner oro för strålning, trots att det för de allra flesta fortfarande är den naturliga stråldosen som dominerar.

Det är självklart att strålning måste hanteras med respekt, men okunskap och vanföreställningar kan göra att vi pågår oss i onödan och avstår från stora fördelar.

Som alltid är kunskap den bästa rådgivaren.

Evelyn Sokolowski

Analysgruppen vid KSU

Per-Åke Bliselius, tekn lic, Sydkraft AB
Monika Eiborn, fil. kand, ABB Atom AB
Monica Gustafsson, docent, IAEA, WIEN
Ingemar Lindholm, tekn. lic, S K B
Gustaf Löwenhielm, tekn dr, Vattenfall AB
Anders Pechan, utredn. sekr, Analysgruppen
Agneta Rising, fil. kand, Vattenfall AB
Evelyn Sokolowski, docent, K S U
Erik Söderman, civ. ing. ES-Konsult AB
Gunnar Walinder, professor
Carl-Erik Wikdahl, civ. ing. EnergiForum AB

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 genom kosmisk strålning i atmosfären, där det råder jämvikt mellan nybildning och sönderfall. Tillförs näringskedjorna som koldioxid och finns därför i levande organismer.

En vuxen människas totala naturliga aktivitet är ca 7 000 becquerel, varav 4 000 becquerel kalium-40.

Några storheter och enheter

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

(En äldre enhet som fortfarande används i vissa länder är "rad". 1 rad = 0,01 gray.)

Ekvivalent dos, ofta kallad "stråldos", är absorberad dos, korrigerad för olika strålslags biologiska verkan. Enheten är "sievert" (Sv). 1 Sv = 1 joule/kg. (En äldre enhet är "rem". 1 rem = 0,01 Sv.)

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

Kollektivdos är summan av stråldoserna för alla individer som bestrålas av en viss strålkälla eller verksamhet.

Kollektivdosen är ett mått på samhällsrisken med strålkällan eller verksamheten. Enheten är "sievert".

För att markera kollektivdos används ofta "man-sievert".

Aktivitet anger antalet atomkärnor i ett radioaktivt ämne som sönderfaller per tidsenhet. Enheten är "becquerel" (Bq). 1 Bq = 1 sönderfall per sekund.

(En äldre enhet är "curie". 1 curie = $3,7 \times 10^{10}$ sönderfall per sekund, vilket är aktiviteten hos 1 g radium.)

Det finns inget generellt samband mellan aktivitet och stråldos.

Doser i Sverige från Tjernobyl

Nedfallet i Sverige från Tjernobyl blev störst där det råkade regna när det radioaktiva molnet passerade. Det var kring Gävle och Sundsvall. Dosen det första året efter olyckan blev ca 3 mSv i de mest drabbade områdena.

Sedan dess har årsdoserna minskat betydligt. Detta beror på att kortlivade radioaktiva ämnen, såsom jod-131, sönderfallit och att långlivade försvunnit ur de flesta ekosystem.

Det ämne som fortfarande kan vålla problem är cesium-137 (halveringstid 30 år).

Särskilt i magerskogsmark förblir cesiet tillgängligt för växterna och därmed för djuren. Avrinningen från sådana områden kan leda till att cesiet ansamlas i insjöars sediment och tas upp av fisk.

Livsmedel med hög cesiumhalt är därför bär och svamp, vilt och insjöfisk. Gränsvärdet har satts till 1 500 Bq per kg.

Cesium som tagits upp i kroppen utsöndras igen inom något år ("biologisk halveringstid" 70 dagar).

En "rejäl portion" (300 g) livsmedel på gränsvärdet ger en dos på 0,006 mSv. Att varje dag under ett år äta en sådan portion ger alltså en årsdos på drygt 2 mSv.

Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB (KSU) ägs av de svenska kraftföretagen:

OKG AB, med kärnkraftverket i Oskarshamn

Sydskraft AB, med kärnkraftverket i Barsebäck

Vattenfall AB, med kärnkraftverken i Forsmark och Ringhals

KSU driver säkerhetsfrågor som lämpar sig för samordnande insatser från ägarföretagen. Främst gäller det grundutbildning och årlig återträning av kraftverkens driftpersonal i fullskalesimulatorer vid huvudanläggningen i Nyköping. Simulatorerna återskapar så naturtrogna förlopp som möjligt av processerna i de svenska kärnkraftverken.

Därutöver ges högre teoretisk utbildning i kärnkraftteknik på högskolenivå och däröver.

KSU utvärderar också inträffade störningar såväl i Sverige som utomlands. Stockholmskontoret är den svenska länken i flera internationellt organiserade system för utbyte av driftfarenheter:

INPO (Institute of Nuclear Power Operation)

WANO (World Association of Nuclear Operators).

Verksamhetens innehåll ger även grund för samhällsinformation om kärnkraftsäkerhet, joniserande strålning samt riskjämförelser mellan olika energislag. Detta sker efter utvärdering av en särskild analysgrupp.