



STRÅLNING

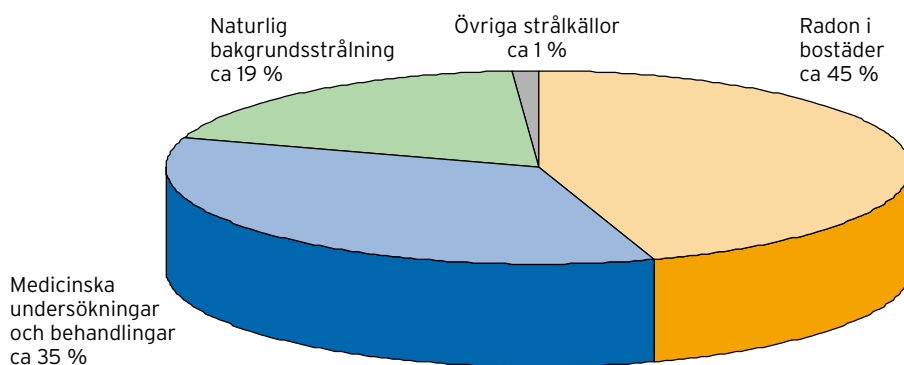
översättning till svenska av
RADIATION



Referens till Vattenfall AB
Elproduktion Nordens certifierade
Environmental Product Declarations
S-P-00021 och S-P-00026, 2007

1	STRÅLNING, ALLMÄNT.....	1
2	OLIKA SLAGS STRÅLNING.....	2
3	ATT MÄTA STRÅLNING.....	3
4	ENHETER OCH BEGREPP.....	4
4.1	Aktivitet.....	4
4.2	Absorberad dos.....	4
4.3	Effektiv dos.....	4
4.4	Kollektiv dos.....	4
5	HUR PÅVERKAS VI AV STRÅLNING?.....	5
5.1	Akut strålsjuka.....	5
5.2	Cancer.....	5
5.3	Fosterskador.....	5
5.4	Ärftliga skador.....	5
6	STRÅLDOSER OCH GRÄNSVÄRDEN.....	6
7	PERSPEKTIV PÅ STRÅLNING - EN JÄMFÖRELSE.....	8
8	REFERENSER.....	10

Jorden bildades en gång, precis som resten av universum, till stor del av radioaktiva beståndsdelar. Människan har därför alltid varit utsatt för strålning från en rad olika strålkällor i sin omgivning. Största delen härstammar från naturen. Bland strålkällorna kommer en betydande del av vår dagliga stråldos från den radioaktiva radongas som förekommer mer eller mindre i nordiska bostäder. Därtill kommer strålning från rymden, kosmisk strålning, berggrunden och faktiskt även den egna kroppen som innehåller små mängder radioaktivt kol och kalium. Med hjälp av strålning övervakar vi även vår hälsa. Nästan alla har blivit röntgenundersökta någon gång och cancer behandlas ofta framgångsrikt med just strålning. Bilden nedan visar mer om hur mycket strålning olika källor utsätter oss, vanliga innevanare i Sverige för.



Figur 1.1 Årlig stråldos till medelsvensken, totalt ca 4 milliSievert

All strålning är bärare av energi. När strålningen träffar materia, t ex levande vävnad, överförs en del av energin till materiens atomer och molekyler. Är strålningen tillräckligt energirik kan den slita loss elektroner från atomerna. Detta kallas jonisation, och vi talar då om *joniserande strålning*. Joniserande strålning sänds ut när radioaktiva atomkärnor sönderfaller. Den bildas också vid kärnreaktioner, t ex de som pågår i solen. Och den kan framställas i olika apparater, t ex en röntgenapparat.

Radioaktiva ämnen är instabila, har ett högt energiinnehåll och strävar efter stabilitet, en lägre energinivå. Ämnet sänder ut sin överskottsenergi och sönderfaller då till andra ämnen, som ibland också kan vara radioaktiva och skicka ifrån sig energi i form av strålning. Så håller det på till dess att det inte finns någon överskottsenergi och ämnet antingen är stabilt, har övergått till ett nytt annat grundämne eller en ny isotop har bildats.

Alfastrålning består av relativt stora och tunga partiklar (heliumkärnor bestående av två neutroner och två protoner). De sänds oftast ut av instabila tunga radioaktiva ämnen såsom uran, radium, radon och plutonium. Alfastrålningens räckvidd är ett par cm i luft och den hejdas lätt när den stöter emot någonting. Den stoppas av ett tunt papper och kan inte tränga igenom huden. Därför är alfastrålning bara farlig för människan om det alfastrålande ämnet kommer in i kroppen, till exempel genom inandningsluften till lungorna eller genom födan

Betastrålning består av elektroner. De är mycket lättare än alfapartiklarna och har längre räckvidd, cirka 10 meter i luft. Glasögon och tjocka kläder räcker som skydd mot betastrålning utifrån. Betastrålning kan tränga in max ca 10 mm i kroppsvävnad. Den kan också skada om den kommer in i kroppen via inandning eller maten.

Gammastrålning och röntgenstrålning är elektromagnetiska vågor, besläktade med radiovågor och synligt ljus men med mycket högre frekvens. I allmänhet har gammastrålning högre energi än röntgenstrålning men gränsen är flytande. Skillnaden ligger i strålningens ursprung: medan gammastrålning kommer från förändringar i atomkärnan, uppstår röntgenstrålning genom omlagringar i atomernas elektronskal eller genom uppbromsning av fria elektroner. Gammastrålning kan ha mycket lång räckvidd, och kan i motsats till alfa- och betastrålning lätt ta sig genom levande vävnad. För att stoppa den mesta gammastrålningen krävs vanligen ett blyskikt på flera centimeter eller en decimetertjock betongvägg. Gammastrålningen avtar exponentiellt med tjockleken på strålskyddet - en minskning som beror på den initiala energin hos fotonerna. För den röntgenstrålning som används inom sjukvården räcker det oftast med någon millimeter bly för att hindra genomträngning.

Neutronstrålning avges endast genom spontant sönderfall av några få radionuklider liksom vid kärnklyvning som inducerats av andra små partiklar som neutroner själva eller alfapartiklar. Däremot frigörs neutroner alltid vid kärnklyvning. Neutronstrålning finns därför inuti kärnreaktorer, då de är i drift. Den når dock inte utanför reaktorinneslutningen och upphör praktiskt taget helt när kärnklyvningarna avbryts. De biologiska effekterna för neutroner är för en given absorberad dos (Gy) högre än för motsvarande effekter för gamma- eller röntgenstrålning.

Vi kan inte upptäcka joniserande strålning med våra sinnen. Däremot finns det mycket känsliga instrument att mäta med såsom exempelvis Geiger-Müllerrör ("GM-rör") eller scintillationsräknare. Med GM-röret kan man läsa strålningens styrka på en skala och "knattret" ger en uppfattning av intensiteten. Människor som arbetar med strålning, t ex de som arbetar på ett kärnkraftverk, använder dosimetrar som visar den samlade stråldosen under ett arbetspass, en dag eller längre tid.

Det finns ett antal enheter och begrepp som används vid mätningar av strålning. Nedan ges en kort beskrivning av de vanligaste och hur man ska tolka dem.

4.1 Aktivitet

Aktiviteten hos ett radioaktivt ämne anger hur många atomkärnor som sönderfaller per tidsenhet.

1 Becquerel (Bq) = en radioaktiv atomkärna sönderfaller per sekund. Becquereltal är ofta mycket stora eftersom det finns många atomer även i en liten mängd materia. Varje människas kropp innehåller bl a det radioaktiva ämnet kalium-40 som ger ungefär 4.000 Bq per person.

4.2 Absorberad dos

Måttet på absorberad dos är den energi som strålningen avsätter per kilo. Enheten är **Gray** (1 Gy = 1 J/kg). Men absorberad dos är inte ett entydigt mått på skadlighet (se nedan, Effektiv dos).

När det gäller cancerframkallande ämnen (kemikalier) finns det ibland gränsvärden satta, där man menar att nivåer under ett visst värde är acceptabelt ur hälsoskyddssynpunkt.

För extremt hälsofarliga ämnen gäller principen att ämnet ska ersättas med annat ämne om det är möjligt.

Inom strålskyddet antas att det inte finns något tröskelvärde för cancerrisken. Det grundar sig på att ICRP (Internationella strålskyddskommissionen) har tagit fram en riskmodell som bygger på hypotesen om det linjära sambandet mellan stråldos och cancerrisk, d v s att de skadliga effekterna av strålning är proportionella mot stråldosen. Det innebär att sambandet kan beskrivas med en rät linje, ju högre dos desto större sannolikhet för skador.

Figur 6.1 nedan illustrerar extrapolation från epidemiologiska data för cancerrisker ned till lågdosregionen. För höga doser har det visats att dödsrisken är proportionell mot dosen.

4.3 Effektiv dos

Lika stora absorberade doser av t ex gammastrålning och alfastrålning har olika biologisk verkan. En Gy av alfastrålning anses vara minst 10 gånger skadligare än 1 Gy av beta- eller gammastrålning. För närvarande används viktningsfaktorn 20 för alfastrålning. För att slippa hålla reda på vilka strålslag det handlar om vid en bestrålning multiplicerar man den absorberade dosen med viktningsfaktorn och får då den "ekvivalenta dosen" = effektiv dos. Den effektiva dosen mäts i **Sievert**, Sv, och är den enhet vi i allmänhet använder när vi talar om stråldos till människa. En Sv är en mycket stor stråldos, normalt räknar man med tusendels Sv = milliSievert, mSv.

4.4 Kollektivdos

Kollektivdos är summan av stråldoserna för alla individer som bestrålas av en viss strålkälla eller verksamhet. Kollektivdosen är ett mått på samhällsriskerna med strålkällan eller verksamheten. Enheten som används är Sv. Och för att markera att det handlar om kollektivdos används ofta "man-Sievert" (manSv). Exempelvis ger den naturliga bakgrundsstrålningen en global stråldos (kollektivdos), till hela jordens befolkning, på 13 miljoner manSv per år.

Beroende på hur stor dos och under hur lång tid exponeringen skett av strålning kan konsekvensen bli olika. Det finns ett omfattande statistiskt material insamlat från bl a atombombssprängningarna i Japan och inom sjukvården och djurförsök. Idag vet man därför mycket om effekterna vid *höga* stråldoser (över 200 mSv). Man har konstaterat att kortvariga och höga stråldoser ger extra cancerfall utöver det normala. Däremot har man inte kunnat bevisa att låga stråldoser ger cancer, eftersom eventuella stråleffekter då "drunknar" i cancer som orsakas av matvanor, tobaksrökning m m.

Mer information om strålning och dess hälsorisker finns hos SSI Statens Strålskydds-institut, <http://www.ssi.se>.

5.1 Akut strålsjuka

Akut strålsjuka uppstår när man på kort tid får en stråldos som överstiger 2.000 mSv. Det är i första hand kroppens blodbildande organ (den röda benmärgen) som skadas. De första symptomen på akut strålsjuka är illamående och kräkningar, vilka försvinner efter något dygn. Efter några veckor har de vita blodkropparna blivit så få, att immunförsvaret kraftigt försvagats, vilket bland annat kan medföra svåra infektioner. Vid högre doser, 2.000-3.000 mSv, skadas även tarmslemhinnorna. Mycket höga doser (ca 10.000 mSv) dödar även nerv- och hjärnceller, och då överlever man normalt inte.

5.2 Cancer

Celler som bestrålas kan skadas utan att dö. Sådana skador elimineras till stor del genom kroppens försvarsmekanismer, men de kan under vissa förhållanden överföras till nya cellgenerationer. Detta kan till slut leda till cancer/tumörer. Det är många olika faktorer som ska samspela för att en tumör ska utvecklas. Sannolikheten att få cancer står i proportion till stråldosen. En ökad cancerrisk har man kunnat påvisa då människor under en kort tid utsatts för stråldoser högre än 100 mSv. Effekterna från lägre stråldoser kan dock, som tidigare noterats, vara svåra att urskilja från effekterna av andra faktorer i vår miljö och från effekterna av rökning.

Generellt ökar risken för att drabbas av cancersjukdom exponentiellt med ökande ålder. Detta gäller dock inte akut barnleukemi samt vissa hjärntumörer hos barn. Latens-tiden för olika former av strålningsinducerad cancer varierar och kan i vissa fall vara uppåt 50 år eller mer. Emellertid är tillskottet i risk till den generella cancerrisken så lågt att det inte skulle gå att påvisa ens om personen exempelvis under hela sitt yrkesverk-samma liv erhållit den maximalt tillåtna dosen om 20 mSv/år (ICRP 60, 1991). Till undan-tagen hör leukemier, sköldkörtelcancer hos barn och som förorsakats av större intag av radioaktiv jod.

5.3 Fosterskador

Foster växer mycket snabbt och är på grund av detta särskilt känsliga för strålning. En typ av fosterskada som kunnat påvisas efter atombombssprängningarna i Japan är mental efterblivenhet. Mödrar som då var i 8:e till 17:e graviditetsveckan, då fostrets hjärna utvecklas, och fått en stråldos på 1.000 mSv hade 40 % sannolikhet att få ett efterblivet barn. Vid doser under ett par hundra mSv är det tveksamt om detekterbara fosterskador kan inträffa.

5.4 Ärftliga skador

Sannolikheten för ärftliga skador är mindre än för cancer. En könscell som skadats av strålning kan vid en befruktning föra skadan vidare. Missbildade nedärvda genetiska skador framkallade av strålning har dock aldrig kunnat påvisas hos människor, inte ens efter atombombsfällningarna i Japan. Genom djurförsök vid strålningsnivåer ned till 2,7 mGy gammastrålning per dygn har man emellertid kunnat mäta DNA-skador. För att dessa typer av skador ska kunna ärvas fordras att de inträffar i könsceller. Emellertid repareras merparten av de skador som en cell utsätts för. För att få ett relevant riskperspektiv på DNA-skador hos människan bör man också beakta den stora mängden naturligt förorsakade skador av olika typer som kan uppgå till storleksordningen 100.000 per cell och dygn.

I Sverige bestämmer SSI, Statens Strålskyddsinstitut med stöd av strålskyddslagen, SFS/1988:220, gränsvärden för stråldoser i olika sammanhang. Motsvarigheter till SSI återfinns i de flesta av världens länder. De anlitar kvalificerade forskare såväl inom myndigheten som kolleger vid universitet och högskolor. Tonvikten ligger både inom medicinen och fysiken. Huvuduppgiften är densamma överallt - det gäller att skydda människor, djur och miljö mot skadlig inverkan av strålning. Vare sig den kommer från solen, från kosmos, från laser, radon, radioaktiva ämnen, röntgen eller kärnkraft.

Gränsvärdet för den stråldos kärnkraften får ge allmänheten är 0,1 mSv per person och år. En person som arbetar med strålning i sitt yrke (inom sjukvården, kärnkraftsindustrin eller något annat område) får högst utsättas för sammanlagt 50 mSv under enstaka år, men högst 100 mSv under 5 på varandra följande år. Personer som arbetar på kärnkraftverk i Sverige får i genomsnitt en extra stråldos på cirka 2 mSv per år, och den extra stråldosen för de personer som är mest exponerade kan vara upp till 20 mSv under enstaka år.

Gränsvärden för radon i luft sätts av Socialstyrelsen. Halten av radongas i bostadsluften får till exempel inte överstiga 400 Bq/m³ i äldre hus. Värden mellan 200 och 400 Bq/m³ bör helst åtgärdas av husägaren. I nybyggda hus får radonhalten inte överskrida 200 Bq/m³. En radongashalt i luft på 100 Bq/m³ motsvarar en stråldos av ca 2 mSv/år.

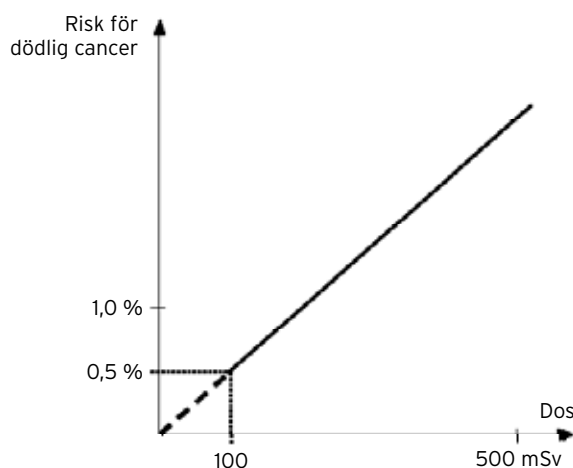
Vad vet man om låga stråldoser?

Den kunskap som finns idag när det gäller strålningens skadeverkningar på människor, baseras bl a på studier av de japanska bomboffren efter atombombarna som fälldes över Hiroshima och Nagasaki. Totalt rör det sig om ca 500 extra cancerfall som med statistisk säkerhet kunnat påvisas bland bomboffren och i samtliga dessa fall har erhållna stråldoser varit över 200 mSv.

Det finns inga studier som visar att stråldoser med låg doshastighet och under 100 mSv ger en ökad sannolikhet att dö i förtid p g a cancer.

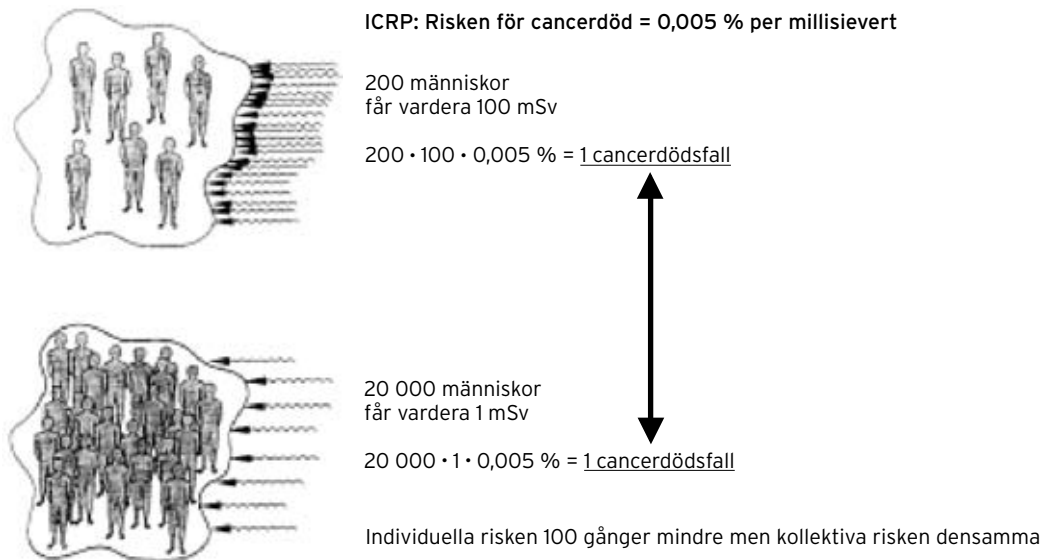
Sambandet, om det finns, mellan låga stråldoser och cancer drunknar i det totala antalet cancerfall (ca 20 % av alla dödsfall i Sverige beror på cancer).

Inom strålskyddet antas att det inte finns något tröskelvärde för cancerrisken. Det grundar sig på att ICRP (Internationella strålskyddskommisionen) har tagit fram en riskmodell som bygger på hypotesen om det linjära sambandet mellan stråldos och cancerrisk, d v s att de skadliga effekterna av strålning är proportionella mot stråldosen. Det innebär att sambandet kan beskrivas med en rät linje, ju högre dos desto större sannolikhet för skador. Figuren nedan illustrerar extrapolation från epidemiologiska data för cancerrisker ned till lågdosregionen. För höga doser har det visats att dödsrisken är proportionell mot dosen.



Figur 6.1. Risken för död i strålningsinducerad cancer som funktion av stråldosen, enligt ICRP. För höga doser har man visat att dödsrisken är proportionell mot dosen emellertid. För låga doser finns inga experimentella belägg för kurvans förlopp. ICRP antar proportionalitet också där.

I strålningsammanhang talar man ibland om **kollektivdos**. Kollektivdos är summan av stråldoserna för alla individer som bestrålas av en viss strålkälla och anges i manSievert. Ett syfte med att räkna kollektivdos är att kunna jämföra doser från olika källor och verksamheter.



Figur 6.2. En förhållandevis hög stråldos till ett fåtal människor ger samma kollektiva risk som en låg stråldos till många människor.

Även mycket små doser, som för individen kan betraktas som oväsentliga, ger mycket höga värden på kollektivdosen om den population man räknar på är stor och om man summerar dosen över en lång tid.

En beräkning av kollektivdosen för jordens befolkning på grund av den naturliga strålningen från kosmos ger $0,3 \text{ mSv} \cdot 6 \text{ miljarder} = 1.800.000 \text{ manSv}$ (per år). Enligt ICRPs modell om ett linjärt samband mellan stråldos och ökad risk för cancer skulle den ökade risken för cancerdöd vara 0,005 % per mSv.

Används kollektivdosbegreppet för att beräkna antalet extra cancerdödsfall på jorden under ett år på grund av naturlig kosmisk strålning skulle det bli ca 60.000. För de doser som här diskuteras (1-100 mSv) gäller, oavsett doshastigheten (mSv/h) att skadorna i cellen repareras i olika grad och precision. Det är oklart hur de påverkar den faktiska cancer risken vid låga stråldoser och därför kan den linjära modellen endast betraktas som ett administrativt redskap.

Hur mycket strålning en given mängd av ett radioaktivt ämne avger per tidsenhet beror på hur snabbt ämnet sönderfaller. **Halveringstid** kallas den tid det tar för hälften av antalet atomer i ett radioaktivt ämne att sönderfalla. Några exempel på olika ämnens halveringstid ges i tabellen nedan:

Ämne	Halveringstid
Kol 14	5 700 år
Kalium 40	1,3 miljarder år
Kobolt 60	5,3 år
Strontium 90	29 år
Jod 131	8 dygn
Cesium 137	30 år
Radon 222	3,8 dygn
Radium 226	1 600 år
Plutonium 239	24 000 år
Uran 238	4,5 miljarder år

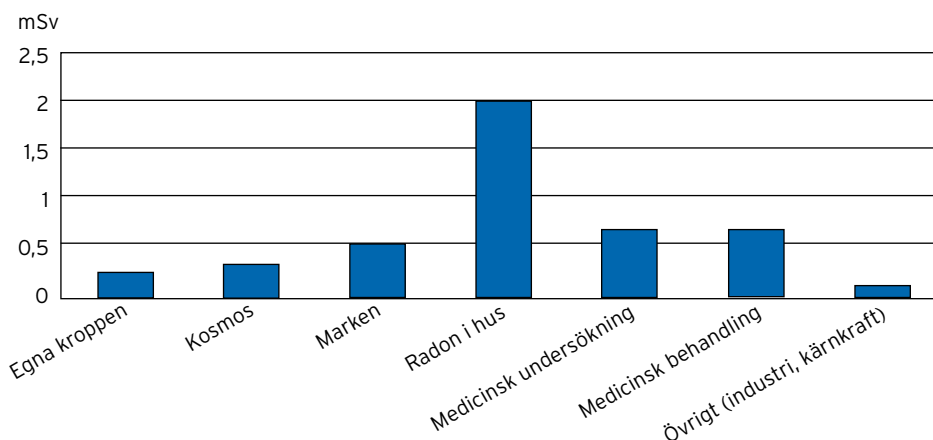
Uppgifter om strålning och radioaktivitet kan ges på flera olika sätt. För radioaktiva ämnen kan man förutom att tala om halveringstid ange **aktiviteten** (i Becquerel, d v s sönderfall per sekund). En hög aktivitet innebär att ämnet sönderfaller relativt snabbt i sina dotterprodukter. Halveringstiden blir då kort. Omvänt har i allmänhet ämnen med lång halveringstid en relativt låg aktivitet. Radioaktiviteten beror dessutom på mängden av ämnet ifråga.

Det som i slutänden avgör vilken stråldos man kan få då man exponeras (via direktbestrålning utifrån eller via intag från luft, mat eller vatten) beror bland annat på en sammantagen effekt av dessa faktorer. Nedan ges exempel på halveringstider och becquerelnivåer från vår vardag. Som framgår varierar talen och det är inte alldeles enkelt att avgöra riskfrågor på basis av sådana tabeller - syftet med dem är snarare att ge lite enkla referensramar för olika resonemang.

Ämne/strålkälla	Aktivitet (Bq)
Jord/mark (1kg)	ca 400 (varierar mellan 100 och 1000)
Paranötter (1 kg)	Upp till 500 (alfastrålare)
Bananeer (1 kg)	100 (från kalium 40-innehåll)
Människokroppen (1kg)	100 (kol 14 och kalium 40)

En vuxen människas totala naturliga radioaktivitet är ca 7.000 Bq, detta motsvarar ca 220 miljarder sönderfall per år. Att mäta i becquerel ger alltså svindlande tal, och är inte heller ett bra mått på en strålkällas farlighet för människan. Jord t ex innehåller hög radioaktivitet medan den dos det ger till omgivningen är liten, bl a därför att strålningsenergin tas upp i jorden. Därför användes i stället begreppet **effektiv stråldos** som mäts i Sv för att beskriva hur mycket strålning en person utsatts för. 1 Sv är en mycket hög dos så oftast används millisievert (mSv) som är en tusendels Sv.

För att få ett grepp om storleken på doser visas i ett stapeldiagram nedan vilken dos en vanlig svensk får under ett år från olika strålkällor.



Figur 7.1. Årlig genomsnittsdos för en svensk.

Den totala dosen en svensk får är 4-5 mSv/år, men det kan variera mycket från person till person. Strålningen från marken varierar mycket, beroende på var man befinner sig. I Sverige är stråldosen från marken i genomsnitt 0,5 mSv per person och år, men på vissa platser, till exempel vid de bohusslänska klippställarna, kan den vara tre till fyra gånger högre. Det finns platser i världen med extremt hög markstrålning. Ett exempel är staden Guarapari i Brasilien, där vissa invånare kan få årsdoser på över 50 mSv från den naturliga markstrålningen.

0,1 milliSievert	<ul style="list-style-type: none"> • Dosen vid en flygning tur och retur över Atlanten. Eller <ul style="list-style-type: none"> • Det högsta årliga <i>tillåtna</i> tillskottet i stråldos för människor som bor eller arbetar i närheten av svenska kärnkraftverk. I verkligheten ligger doserna på en hundradels mSv och lägre.
1 milliSievert	<ul style="list-style-type: none"> • Dosen vid magröntgen. Eller <ul style="list-style-type: none"> • Den årliga dosen från marken, den kosmiska strålningen och naturliga radioaktiva ämnen (kalium 40) i kroppen sammantagna.
1-3 milliSievert	<ul style="list-style-type: none"> • Den dos flygpersonal får årligen (atlantresor). Eller <ul style="list-style-type: none"> • Arbete i svenskt kärnkraftverk (i strålmiljö). Eller <ul style="list-style-type: none"> • Den årliga dosen från radon i bostaden (100 Bq/m³ ger ca 2 mSv/år).
5 milliSievert	<ul style="list-style-type: none"> • Den sammanlagda dosen om man varje dag under ett helt år äter 300 gram fisk eller kött som innehåller 3.000 becquerel cesium-137 per kilo. Eller <ul style="list-style-type: none"> • Den sammanlagda årliga dosen från alla strålkällor för en svensk i genomsnitt.
50 milliSievert	<ul style="list-style-type: none"> • Dosen vid medicinsk avbildning av sköldkörteln med radioaktiv jod. Eller <ul style="list-style-type: none"> • Högsta tillåtna årsdos för personal med strålningsarbete (men på fem år får inte den sammanlagda dosen överstiga 100 mSv).
100 milliSievert	<ul style="list-style-type: none"> • Högsta tillåtna summerade dos för personal med strålningsarbete över en fem-årsperiod. • Den dos vid vilken det har gått att påvisa en förhöjd sannolikhet för cancer. Observera att dosen då givits under en kort period.
500 milliSievert	<ul style="list-style-type: none"> • Dosen till dem som bodde inom 10 km från kärnkraftverket i Tjernobyl innan de evakuerades.
5.000 milliSievert	<ul style="list-style-type: none"> • Dödar de flesta som fått denna dos över hela kroppen på en gång och som inte får intensivvård på sjukhus.
50.000 milliSievert	<ul style="list-style-type: none"> • Den lokala dosen vid strålbehandling av många typer av tumörer. Strålningen koncentreras till själva tumören och andra delar av kroppen måste skyddas mot strålningen. Om en sådan dos gavs som helkroppsbestrålning skulle den döda individen inom ett dygn.

<http://www.ssi.se>
<http://www.ski.se>
<http://www.analys.se>

Vattenfall AB
162 87 Stockholm
Tel 08-739 50 00
www.vattenfall.com