

## Strålningsekologi. Radioaktiv strålning ur ekologisk synvinkel.

Det följande är ett axplock ur Odum/Fundamentals of ecology. (1971)

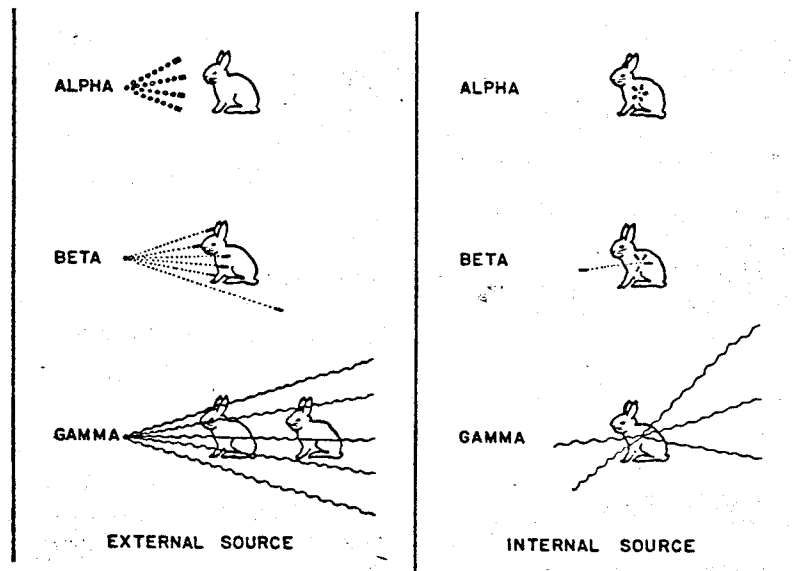
### 1. GRUNDLÄGGANDE BEGREPP

Strålning med mycket hög energi kan vid kollision med atomer (eller molekyler) riva loss en eller flera elektroner. Därigenom bildas joner, och dessa är mycket reaktiva. Sådan strålning kallas joniserande strålning. Radioaktiv strålning är ett exempel på detta.

De ur ekologisk synpunkt viktigaste typerna av joniserande strålning är:

- A. Alfa-strålning består av heliumkärnor. Varje strålningspartikel innehåller två protoner och två neutroner. Den är mycket starkt joniserande, men har också en kort räckvidd (ca 4 cm i luft).
- B. Beta-strålning består av elektroner som med mycket hög hastighet lämnar atomkärnor i sönderfall. De har en längre räckvidd än alfa-strålning (ca 9 dm i luft), och därmed sprids joniseringen ut på ett längre avstånd.
- C. Neutronstrålning består av neutroner och är i sig själv inte joniserande, men liksom en elefant i en glasbutik så orsakar den kaos i de atomkärnor den träffar och gör dem radioaktiva. Därigenom orsakar den på omvägar joniserande strålning.
- D. Gammastrålning är extremt kortvågig elektromagnetisk strålning. Den går med lätthet rakt igenom biologisk materia. Joniseringseffekten blir mycket utspridd. En gammastråle kan därför gå rakt igenom ett djur utan att någon som helst skada sker (förutsatt att intensiteten inte är hög).

Figur 1



Avgörande för strålningens effekt på levande materia är, förutom strålningstypen och intensiteten, strålningskällans placering. Se bilden ovan! Sålunda är en alfastrålare som plutonium helt ofarlig om den är utanför djurets kropp, men direkt livshotande eller dödande om den hamnar i djurets lunga eller tarmar.

Gammastrålare med låg intensitet, däremot, utgör ett förnämligt redskap för att studera ämnesomsättning och funktioner i djuret. Därvid sätts gammastrålare in i stället för "normala" atomer i djurets mat eller blod.

2)

Bakgrundsstrålning är den joniserade strålning som finns i vår miljö helt naturligt. Den har varit i stort sett konstant under hela livets uppkomst, och allt levande är därför intimt anpassat till den. Den är rent utav nödvändig för livets utveckling genom att orsaka mutationer.

Bakgrundsstrålningen har tre huvudsakliga källor:

- 1) kosmisk strålning,
- 2) kalium-40 i levande organismer,
- 3) strålning från naturligt förekommande ämnen i berggrunden.

En mätning på fem olika platser gav följande resultat, räknat i tusendels rad:

Sedimentär bergart vid 0 m.ö.h.:  $35 + 17 + 23 = 75$  mR/år

Granit vid 0 m.ö.h.:  $35 + 17 + 90 = 142$  mR/år

Granit vid 3000 m.ö.h.:  $100 + 17 + 90 = 207$  mR/år

På havsytan:  $35 + 28 + 1 = 64$  mR/år

100 meter under havsytan:  $1 + 28 + 1 = 30$  mR/år

## 2. JÄMFÖRANDE KÄNSLIGHET AV RADIOAKTIV STRÅLNING

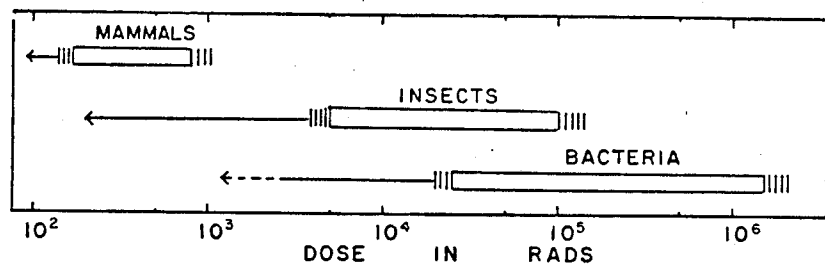
Olika organismer är väsentligt olika i sin känslighet av joniserande strålning.

Känsligheten för röntgen- och gammastrålning för några större djurgrupper åskådliggörs av figur 2 nedan. Här avses den akuta dosen, dvs djuret har utsatts för strålningen under en mycket kort tid.

När man befinner sig i det streckade området till vänster steriliserar djuret.

Pilarna mot vänster indikerar att mycket unga individer, foster o dyl, är betydligt känsligare än den vuxna individen. Grundregeln har visat sig vara att ju snabbare celldelningen sker, desto känsligare blir organismen för strålning.

Figur 2



Effekten av strålning av låg intensitet under lång tid är betydligt mer svårbedömd. Varje ökning av den joniserande strålningen över bakgrundsstrålningen, liksom ovanligt hög bakgrundsstrålning, ökar mutationsfrekvensen. Därmed ökar cancer-, missfalls- och sterilitetsfrekvenserna. Detsamma gäller om andra mutagena miljögifters inverkan på sikt.

Däggdjur är mycket känsliga för låga doser på grund av att den blodkroppsproducerande celldelningen i benmärgen går mycket fort. Detta leder till rubbningar i immunförsvaret, vilket kan orsaka många sjukdomar. Ju längre generationstid ett djur har desto större risk löper det att ta skada av en kronisk strålning. (Generationstid = den medeltid som förlöper från det djuret föds tills dess det själv har fått egen avkomma.)

### 3. EFFEKTER PÅ EKOSYSTEM

En del undersökningar på hur gammastrålning påverkar ekosystem har gjorts. Figur 3 nedan sammanfattar resultatet av ett sådant experiment.

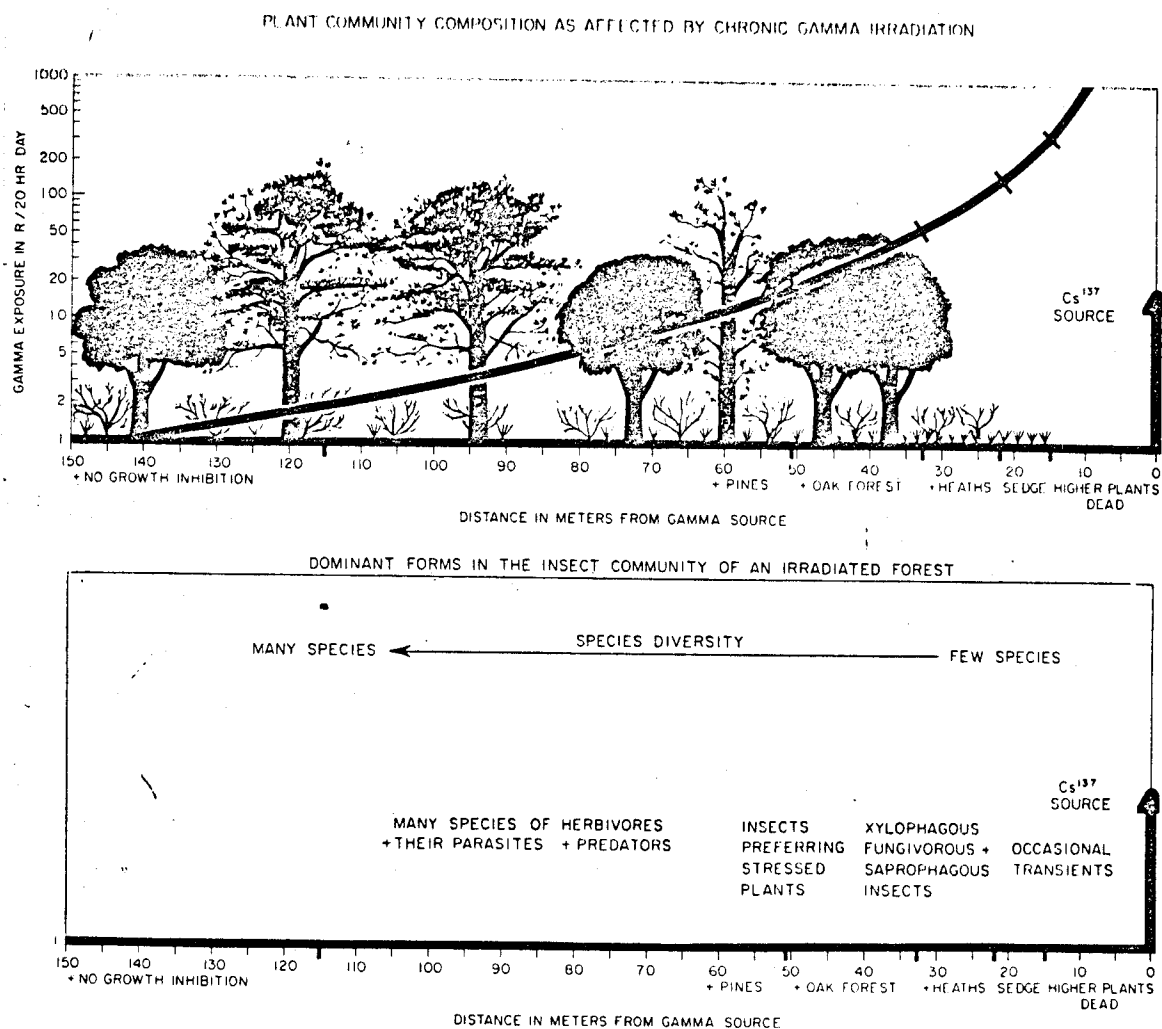
Området bestrålades 20 timmar om dagen i 2 års tid. Området var täckt av ek och tall.

Fem zoner kunde urskiljas:

- 1) Över 400 R/dag. Inga högre växter överlever.
- 2) 180-400 R/dag. Endast starr överlever.
- 3) 60-180 R/dag. Nu överlever även blåbär.
- 4) 20-60 R/dag. En del ekar överlever, men endast med svårighet.
- 5) 1-20 R/dag. Inga växter dog, men tillväxten upphörde i stort sett helt.

Resultatet visar att det krävs en växentlig höjning över bakgrundsstrålningen för att förändra ekosystemet. De mer känsliga arterna (exv tall) slås ut, ekosystemet förenklas och förlorar delvis sin stabilitet. Relationer som de mellan rovdjur - bytesdjur, växtparasit - växt, kan förändras radikalt. Sålunda kan en skadeinsekt gynnas, varpå en invasion av skadeinsekten kan uppstå.

Figur 3



#### 4. VART TAR DE RADIOAKTIVA ÄMNENA VÄGEN?

Då radioaktiva ämnen släpps eller läcker ut i omgivningen så sprids de ofta ut tämligen jämnt och därigenom späds de ut. Men de kan också koncentreras av och i levande organismer. Därigenom kan ett relativt harmlöst utsläpp nå oss i en livsfarlig koncentration i vår föda eller livsmiljö.

Det faktum att ett ämne är radioaktivt förändrar inte dess kemiska och biokemiska egenskaper. När ett radioaktivt ämne ansamlas i organismer återspeglar detta endast att detta grundämne naturligt ansamlas i organismen. Organismen ansamlar alltid ämnen som den igenkänner som näring.

Nedströms en reaktor vid Columbia-floden, USA, uppmättes halten fosfor i vattnet till 0,00003 mg/gram vatten. Halten fosfor i äggulan hos vattenfågel i floden var 6 mg/gram vatten, dvs 2 miljoner gånger högre koncentration än i vattnet. Även det radioaktiva fosfor (P-32) som kommer från reaktorn koncentreras på samma sätt. I fallet fosfor går sönderfallet tämligen raskt, varför den uppmätta koncentrationsökningen i medel blev 200 000 ggr, med toppvärden på 1,5 miljoner ggr.

Ett annat exempel är att jod koncentreras ca 500 ggr i sköldkörteln hos kaninen jämfört med ökenvegetationen runt om. Vegetationen hade fått de radioaktiva ämnena från radioaktiva gaser från en reaktor i närheten.

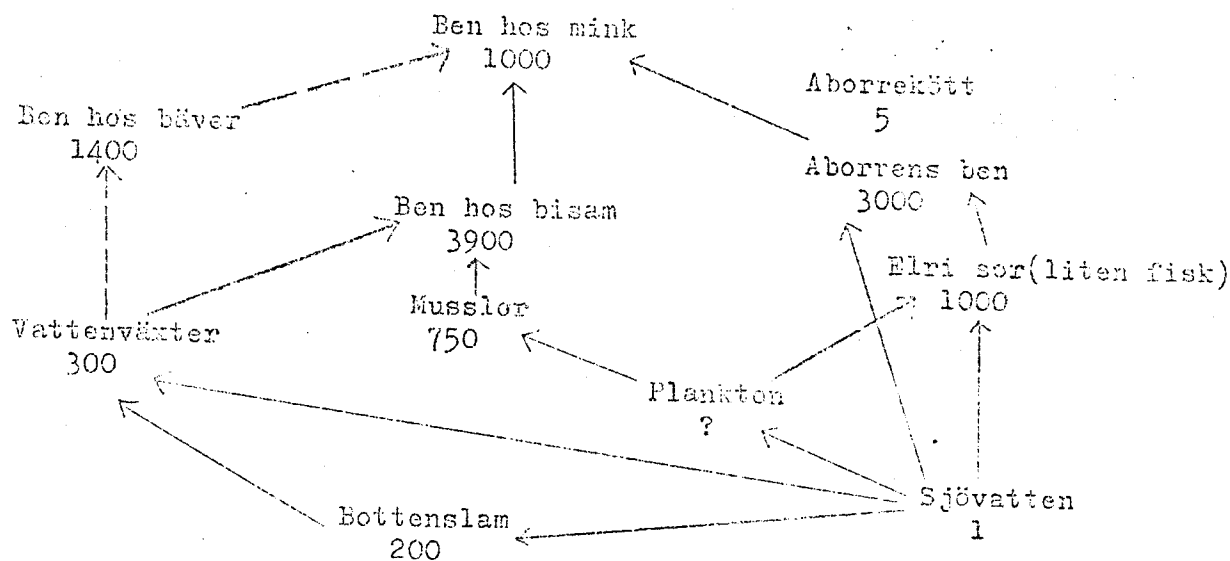
Ett tredje exempel, i detta fall en sjö, ges i figur 4 nedan.

Som en allmän regel kan sägas att en sådan här biologiskt koncentrerings alltid är starkare i näringsfattiga än näringsrika områden, och att koncentreringsen är starkare i akvatiska ekosystem än i terresta.

Genom radioaktiv märkning av exempelvis växter kan man mycket noggrant kartlägga den näringskedja som växten ingår i. Studier genom radioaktiv märkning har utvecklats till en mycket viktig metod i ekologin, eftersom den ger information som inte kan fås på annat sätt.

Figur 4

#### Strontium - 90 i Aborrsjöns näringsväv (en liten sjö i Kanada).



Diagrammet över en del av näringsväven visar den relativa koncentrationen av radioaktiv Strontium. Koncentrationerna jämförs med sjövattnets som sätts till 1. Strontiumet kommer från normala lågaktiva utsläpp från en reaktor. (Ophel, 1963)

## 5. NEDFALL FRÅN NUKLEÄRA BOMBER

De radioaktiva ämnen som bildas vid nukleära explosioner blandas med jord och stoft och gör de naturligt förekommande dammpartiklarna i atmosfären radioaktiva. Därigenom ökar ytterligare radioaktiviteten i atmosfären.

Mängden radioaktivt nedfall beror dels på bombtypen, dels på den mängd övrigt material som blandas upp i explosionen. Cirka 10 % av bombens energi återfinns som radioaktiv strålning.

Nedfallet uppträder huvudsakligen som ytterst fint damm som är starkt radioaktivt. Detta damm fastnar i hög grad på växternas blad. Därigenom skadas inte bara växten, utan också de djur som äter bladen (gräsen). I djurens tarmar omvandlas delvis de radioaktiva ämnena till löslig form av magsafterna, och därmed kan ämnena spridas tämligen fritt i näringskedjorna.

Biologiskt intressanta nuklider, som strontium-90, har ofta sin maximala koncentration hos djuren på ett stort avstånd från explosionsplatsen. I fallet strontium är avståndet 8-16 mil, och detta beror på att ämnet bildas ur andra nuklider som sönderfaller (Kr-90 → Rb-90 → Sr-90).

De stora megatonvapnen som prövades fritt i början av 60-talet spred radioaktiviteten upp i stratosfären, vilket resulterade i en världsomfattande radioaktiv smitta eftersom denna radioaktivitet endast långsamt når jordytan.

Det är i huvudsak nederbörds mängden som bestämmer hur mycket radioaktivt nedfall ett område får. Marina ekosystem tar i första hand upp andra nuklider (Fe-59, Zn-65, Mn-54, Ce-144, Pr-144, Zr-95, Rh-106) än de terrestra systemen (främst Sr-90 och Cs-137). Detta beror på att marina djur ofta lever på näring de silar direkt ur vattnet, under det att de terrestra organismerna måste ha näringen i vattenlöslig form.

Äterigen, typen av ekosystem är i hög grad avgörande för hur mycket av radioaktiviteten som samlas i levande organismer. Sålunda samlar får som betar på hedmarker ca 20 ggr mer strontium-90 än får som betar nere i intilliggande dal, trots att båda områdena har lika mycket nederbörd.

Människan skyddas i viss mån genom sin lagring och kokning av födan, eftersom en del av de radioaktiva ämnena då försvinner. Men där människan lever av djur som betar på näringsfattiga marker ökar riskerna. I en undersökning från 1965 på bland annat samer i norra Finland och eskimåer i Alaska återfanns en starkt förhöjd radioaktivitet av Cesium-137. Anledningen är dieten på ren.

## 6. RADIOAKTIVT AVFALL

Radioaktivt avfall från olika användningsområden av radioaktivt sönderfall i fredlig tjänst utgör ett betydligt större problem än det radioaktiva nedfallet från vapen - förutsatt att inte ett mycket omfattande kärnvapenkrig utbryter. Det är de ekologiska aspekterna som sätter gränsen för hur långt en utbyggnad kan ske, eftersom det, ur mänsklig synpunkt, finns en obegränsad mängd energi att utvinna ur radioaktiva processer.

Däremot kräver energianvändning omfattande mängder av råmaterial som alla är begränsade resurser. Det handlar om metaller, malmer, betong och dylikt. Användningen av dessa innebär att de blir oanvändbara i framtiden. Detta innebär i sin tur att nya högvärdiga och begränsade naturtillgångar måste exploateras.

Man klassar vanligen avfallet i tre grupper:

### 1. Högaktivt avfall

Detta utmärks av en utomordentligt hög radioaktivitet, och måste därför undanhållas biosfären till hundra procent. Det kan vara fråga om både vätska och fast material. 400-500 liter sådan vätska blir avfallet från varje ton använt atombränsle. Många lagringsmetoder har prövats, men ännu finns inget säkert lagringssätt.

### 2. Lågaktivt avfall

Vätskor, fasta material och gaser med mycket låg radioaktivitet, men i mycket stora mängder. Detta sprids i miljön på ett sådant sätt att inte bakgrundsstrålningen märkbart skall öka.

### 3. Medelaktivt avfall

Detta har tillräckligt hög radioaktivitet för att kräva inneslutning, men så pass låg aktivitet att högaktiva eller långlivade komponenter kan utskiljas och föras till det högaktiva avfallet. Resten blir lågaktivt avfall.

Atomkraft baserat på uran kan uppdelas i sju faser:

- 1) Gruvbrytning och malning
- 2) Förädling (kemisk omvandling)
- 3) Upparbetning (öka det procentuella innehållet av Uran-235)
- 4) Bränsletillverkning
- 5) Användning av bränslet i kärnreaktor
- 6) Upparbetning av använt bränsle
- 7) Inneslutning av avfallet

Mellan de olika faserna förekommer självklart transporter av ämnena. Radioaktiva föroreningar kommer från alla faserna (inklusive transporterna), men värst är faserna 5, 6 och 7. I synnerhet fas 6, upparbetningen, har orsakat besvärliga radioaktiva föroreningar.

Det bör påpekas att radioaktiva utsläpp, och dessa ämnens konsekvenser i miljön, ingalunda utgör det enda miljö- och föroreningsproblemet med kärnkraft. Två kända problem är tungmetallutsläpp i samband med uranbrytningen och varmvattenutsläpp vid kärnreaktorerna.

Säkerhets- och miljögruppen under den svenska energikommisionen har sålunda visat att den planerade uranbrytningen i Ranstad skulle medföra tungmetallutsläpp av storleksordningen 5-14 ggr mer än ett kolkraftverk (räknat per utvunnen kWh). Dessa tungmetaller är mycket giftiga, och kan naturligtvis inte nedbrytas biologiskt. De utgör idag en av våra värsta föroreningar.

Kärnreaktorer ger också upphov till stora värmeföroreningar då stora mängder måttligt upphettat (och därför oanvändbart) vatten fås som biprodukt. Detta uppvärmda vatten ger allvarliga konsekvenser för de akvatiska ekosystem som utsätts för det:

- a) Den ökade temperaturen gör växter och djur känsligare för miljögifter (inklusive radioaktiva).
- b) Många organismer har åtminstone en livsperiod, i regel kritiska perioder, då de måste ha en viss temperatur inom snäva gränser.
- c) Ökad temperatur gynnar de blågröna algerna framför den normala populationen av alger.
- d) I varmare vatten behöver djuren mer syre, men varmt vatten innehåller mindre syre.

All energianvändning medför miljöförstöring, oordning i miljön och förbrukning av användbara naturtillgångar. Dessa negativa sidoeffekter ökar ständigt, och de ökar i förhållande till den totala energianvändningen. Ju mer energi som används desto mindre möjligheter att kunna fortsätta i framtiden.

Gränsen sätts av ekosystemens förmåga att absorbera och eliminera miljöförstöring genom det energiöverskott som solstrålningen skänker oss. Om energianvändningen överstiger detta klimaxstadium kollapsar systemet då så mycket energi åtgår för att förhindra de negativa effekterna att inte energin räcker till att upprätthålla grundläggande livsfunktioner.

På detta vis utgör energin en av de viktigaste fysiska ramar inom vilka liv kan finnas.

#### FÖRKLARINGAR TILL TABELL 1 (se nästa sida)

Halveringstid - den tid det tar för ett radioaktivt ämne att halvera sin strålning.

Nuklid - en atom med ett visst masstal och atomnummer.  
I listan anges masstal med ett nummer.  
Atomnumret anges av namnet.

Indexsiffrorna på strålningen anger dess energi.  
0 - mycket låg energi, mindre än 0,2 MeV  
1 - relativt låg energi, 0,2-1 MeV  
2 - hög energi, 1-3 MeV  
3 - mycket hög energi, över 3 MeV

MeV = Megaelektronvolt = 1 miljon elektronvolt =  $1,602 \cdot 10^{-13}$  Joule

100 mrad = 1 mSv för gammastålning

TABELL 1. Radioaktiva ämnen av ekologisk betydelse

Grupp A Naturligt förekommande isotoper som bidrar till bakgrundsstrålningen.

NUKLID	HALVERINGSTID	STRÅLNING	
Uranium-235 ( <sup>235</sup> U)	7 × 10 <sup>8</sup> yrs.	Alpha <sup>3</sup>	Gamma <sup>0</sup>
Uranium-238 ( <sup>238</sup> U)	4.5 × 10 <sup>9</sup> yrs.	Alpha <sup>3</sup>	
Radium-226 ( <sup>226</sup> Ra)	1620 yrs.	Alpha <sup>3</sup>	Gamma <sup>0</sup>
Thorium-232 ( <sup>232</sup> Th)	1.4 × 10 <sup>10</sup> yrs.	Alpha <sup>3</sup>	
Potassium-40 ( <sup>40</sup> K)	1.3 × 10 <sup>9</sup> yrs.	Beta <sup>2</sup>	Gamma <sup>2</sup>
Carbon-14 (See Group B.)			

<sup>0</sup> Very low energy, less than 0.2 Mev; <sup>1</sup> relatively low energy, 0.2-1 Mev; <sup>2</sup> high energy, 1-3 Mev; <sup>3</sup> very high energy, over 3 Mev.

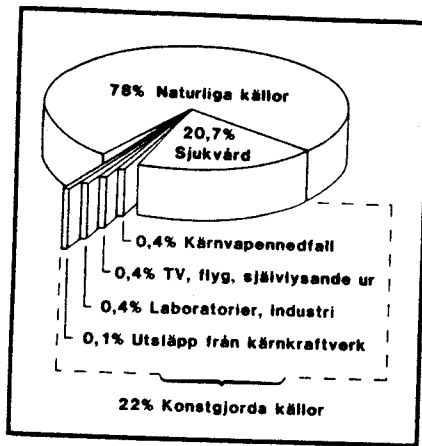
Grupp B Nuklider av grundämnen som utgör en viktig del av levande varelser. Dessa nuklider är därför viktiga på två sätt: dels kan de lätt komma in i djur/växter och förbli där, dels är de viktiga som "märkare" då man kartlägger ämnesomsättningar i naturen.

Calcium-45 ( <sup>45</sup> Ca)	160 days	Beta <sup>1</sup>	
Carbon-14 ( <sup>14</sup> C)	5568 yrs.	Beta <sup>0</sup>	
Cobalt-60 ( <sup>60</sup> Co)	5.27 yrs.	Beta <sup>1</sup>	Gamma <sup>2</sup>
Copper-64 ( <sup>64</sup> Cu)	12.8 hrs.	Beta <sup>1</sup>	Gamma <sup>2</sup>
Iodine-131 ( <sup>131</sup> I)	8 days	Beta <sup>1</sup>	Gamma <sup>1</sup>
Iron-59 ( <sup>59</sup> Fe)	45 days	Beta <sup>1</sup>	Gamma <sup>2</sup>
Hydrogen-3 (Tritium) ( <sup>3</sup> H)	12.4 yrs.	Beta <sup>0</sup>	
Manganese-54 ( <sup>54</sup> Mn)	300 days	Beta <sup>2</sup>	Gamma <sup>2</sup>
Phosphorus-32 ( <sup>32</sup> P)	14.5 days	Beta <sup>2</sup>	
Potassium-42 ( <sup>42</sup> K)	12.4 hrs.	Beta <sup>3</sup>	Gamma <sup>2</sup>
Sodium-22 ( <sup>22</sup> Na)	2.6 yrs.	Beta <sup>1</sup>	Gamma <sup>2</sup>
Sodium-24 ( <sup>24</sup> Na)	15.1 hrs.	Beta <sup>2</sup>	Gamma <sup>2</sup>
Sulfur-35 ( <sup>35</sup> S)	87.1 days	Beta <sup>0</sup>	
Zinc-65 ( <sup>65</sup> Zn)	250 days	Beta <sup>1</sup>	Gamma <sup>2</sup>

Also barium-140 (<sup>140</sup>Ba), bromine-82 (<sup>82</sup>Br), molybdenum-99 (<sup>99</sup>Mo) and other trace elements.

Grupp C Nuklider som bildas vid kärnsönderfall. Dessa har spritts ut i miljön från kärnexplosioner och kärnreaktorer.

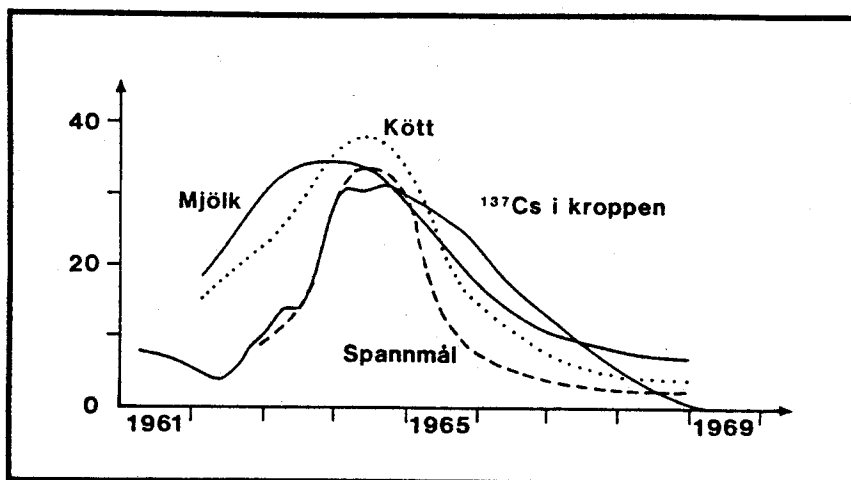
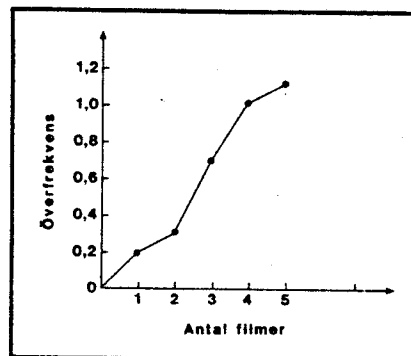
The strontium group			
Strontium-90 ( <sup>90</sup> Sr) and daughter yttrium-90 ( <sup>90</sup> Y)	28 yrs.	Beta <sup>1</sup>	
Strontium-89 ( <sup>89</sup> Sr)	2.5 days	Beta <sup>2</sup>	
	53 days	Beta <sup>2</sup>	
The cesium group			
Cesium-137 ( <sup>137</sup> Cs) and daughter barium-137 ( <sup>137</sup> Ba)	33 yrs.	Beta <sup>2</sup>	Gamma
Cesium-134 ( <sup>134</sup> Cs)	2.6 min.	Beta	Gamma <sup>1</sup>
	2.3 yrs.	Beta <sup>1</sup>	Gamma <sup>2</sup>
The cerium group			
Cerium-144 ( <sup>144</sup> Ce) and daughter praseodymium-144 ( <sup>144</sup> Pr)	285 days	Beta <sup>1</sup>	Gamma <sup>0</sup>
Cerium-141 ( <sup>141</sup> Ce)	17 min.	Beta <sup>2</sup>	Gamma <sup>2</sup>
	33 days	Beta <sup>1</sup>	Gamma <sup>1</sup>
The ruthenium group			
Ruthenium-106 ( <sup>106</sup> Ru) and daughter rhodium-106 ( <sup>106</sup> Rh)	1 yr.	Beta <sup>0</sup>	
Ruthenium-103 ( <sup>103</sup> Ru)	30 sec.	Beta <sup>3</sup>	Gamma <sup>2</sup>
Zirconium-95 ( <sup>95</sup> Zr) and daughter niobium-95 ( <sup>95</sup> Nb)	40 days	Beta <sup>1</sup>	Gamma <sup>1</sup>
Barium-140 ( <sup>140</sup> Ba) and daughter lanthanum-140 ( <sup>140</sup> La)	65 days	Beta <sup>1</sup>	Gamma <sup>1</sup>
Neodymium-147 ( <sup>147</sup> Nd) and daughter promethium-147 ( <sup>147</sup> Pm)	35 days	Beta <sup>0</sup>	Gamma <sup>1</sup>
	12.8 days	Beta <sup>1</sup>	Gamma <sup>1</sup>
	40 hrs.	Beta <sup>2</sup>	Gamma <sup>2</sup>
	11.3 days	Beta <sup>1</sup>	Gamma <sup>1</sup>
Yttrium-91 ( <sup>91</sup> Y)	2.6 yrs.	Beta <sup>1</sup>	Gamma
Plutonium-239 ( <sup>239</sup> Pu)	61 days	Beta <sup>2</sup>	Gamma <sup>1</sup>
Iodine-131 (see Group B)	2.4 × 10 <sup>4</sup> yrs.	Alpha <sup>3</sup>	Gamma <sup>1</sup>
Uranium (see Group A)			



Naturliga källor		$\mu\text{Sv}$
Kosmisk strålning		310
Markstrålning		380
Från kroppen		370
Radonprodukter		800
<b>Summa naturliga källor</b>		<b>1.860</b>
Konstgjorda källor		
Sjukvård		500
Kärnvapen		10
Diverse		8
Laboratorier, industri		9
Kärnkraft		3
<b>Summa konstgjorda källor</b>		<b>530</b>
<b>Totalt</b>		<b>2.390</b>

Procentuell andel i människans kropp av absorberad dos från olika strålningskällor (till vänster) och de motsvarande årliga bidragen i mikrosievert (till höger). Betydande geografiska och individuella variationer förekommer. Enheten Sv (sievert) används inom strålningskyddsverksamhet för dosekvivalenten (H), en storhet som relateras till den absorberade dosen (D) genom sambandet  $H = Q \cdot D$ . Faktorn Q tar hänsyn till den varierande verkan av olika strålslag. Den är exempelvis 1 för gammastrålning och 20 för alfastrålning.

Man har studerat sambandet mellan antalet filmer, som använts vid medicinsk-radiologiska undersökningar av blivande mödrar och funnit ett linjärt samband mellan onormal frekvens av cancersjukdomar hos de barn, som fötts efter bestrålning i moderlivet, och det antal röntgenfilmer som använts i de enskilda fallen.



Relativ förekomst av cesium-137 i föda och i människokroppen enligt undersökningar i Mellansverige under 1960-talet. Sambandet mellan omfattande provsprängningar av kärnvapen i Sovjetunionen i decenniets början och en stegrad halt av cesium-137 framgår tydligt. (Statens strålskyddsinstitut.)

Organ	Antal undersökningar 1980	Effektiv helkroppsdos [mSv]
Hjärta o lungor	1156	0,2
Magsäck	99	1,1
Tunntarm	20	1,4
Grovtarm	93	4,8
Buköversikt	57	1,4
Urografi	129	5,6
Bäckenmättn o fosterundersökningar	14	3,3
Länd- o korsrygg	141	4,4
Bäcken m höftleder	99	1,5
Höftled	174	

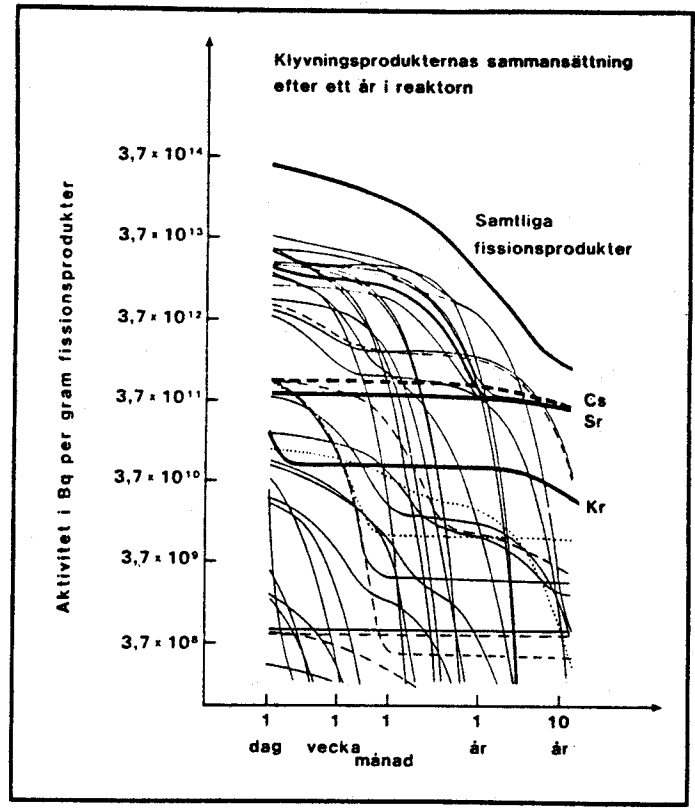
Patientdosen vid röntgenundersökningar vid ett av Sveriges sjukhus enligt en undersökning genomförd 1980. (Statens strålskyddsinstitut.)

Dosinteckning till befolkningen på norra halvklotet efter en kärnvapensats av totalt 10 000 Mt fissionsandel

Nuklider	Halveringstid	Typ av bestrålning	Huvudsakligt bestrålat organ	Dosintekning, Gy	Huvudsaklig källa till bestrålning
Många	10 - 65 dagar	Extern	Hela kroppen	0,02	Märkbeläggning
<sup>106</sup> Ru, <sup>144</sup> Ca	0,8 - 1 år	"	"	0,01	"
<sup>137</sup> Ca	30 år	"	"	0,04	"
<sup>106</sup> Ru, <sup>144</sup> Ca	0,8 - 1 år	Intern	Lungor	0,05	Märkluft
<sup>239</sup> Pu, <sup>241</sup> Pu	13 - 24 400 år	"	"	0,002	"
<sup>90</sup> Sr	29 år	"	Benmärg	0,06	Mjök, spannmål, grönsaker
<sup>137</sup> Ca	30 år	"	Hela kroppen	0,02	Mjök, kött, spannmål, grönsaker
<sup>14</sup> C	5 700 år	"	"	0,10 x)	All föda
<b>Totalt</b>				<b>0,26 xx)</b>	

x) Cirka 10% inom 30 år      xx) Total effektiv dosekvivalentintekning, Sv

Den dosintekning, som befolkningen på norra halvklotet skulle belastas med i fall av ett omfattande kärnvapenkrig. (Beräkning från Försvarets forskningsanstalt.)



Radioaktiva nuklider — blott tre av dem namngivna — i ett bränsleelement, som använts ett år i en energiproducerande kärnreaktor. Varje given nuklids radioaktivitet anges vid olika tider efter användningsperiodens slut. (Efter J. Rydberg & J. Pratz.)

## RADIOAKTIVT NEDFALL - VAD ÄR DET?

Sent fredagen 25 april 1986 havererade en kärnkraftsreaktor i Tjernobyl, Sovjetunionen. 1% av reaktorns radioaktiva innehåll läckte ut vilket var fullt tillräckligt för att orsaka ett kraftigt radioaktivt nedfall i Sverige ca 150 mil bort.

Radioaktivt damm (och aerosoler) liksom radioaktiva gaser kan transporteras mycket långa sträckor om partiklarna når högre luftlager. Vi kraftiga bränder förs damm mycket högt upp, och just det inträffade vid Tjernobylkatastrofen.

Det radioaktiva nedfallet hamnar främst där nederbörden är hög. I det aktuella fallet orsakade kraftig nederbörd mellan Uppsala och Härnösand längs den svenska ostkusten att just dessa områden fick emotta en särskilt kraftig radioaktiv smitta.

Det radioaktiva nedfallet består av ett stort antal radioaktiva ämnen som övergår i varandra i bestämda sönderfallsserier. I slutsteget finns alltid ett icke radioaktivt ämne. I nedfallets radioaktivitet är det mesta av snabbt övergående art. När nedfallet sker 150 mil från utsläppet har en stor del av de drygt hundratalet olika radioaktiva ämnen försvunnit. Kvar finns ett tiotal isotoper som genomgår radioaktivt sönderfall. Efter en vecka är det bara en handfull kvar. Efter några månader är några kvar. De blir kvar väldigt länge.

Olika radioaktiva ämnen strålar på olika sätt då de faller sönder. Det rör sig om avsevärda skillnader i såväl kvalitet som intensitet. De viktigaste strålningskvalitéerna är:

- Gammastrålning. Tränger igenom det mesta och därför lätt att mäta. Mäts vanligen i mikro-röntgen (normalt under 5 mikroröntgen i vår miljö). De flesta radioaktiva sönderfall sker med utsändning av gammastrålning.
- Beta-strålning. Går bara några decimeter i luft och cirka en millimeter i vår kropp. Men orsakar betydligt större biologiska skador eftersom effekten sprids på en kortare sträcka, hastigheten är lägre och att beta-partikeln är elektriskt laddad. Beta-strålning är svårare att mäta på grund av den korta räckvidden av strålningen. Utpräglade betastrålare är ofarliga om de är bundna i mark el.dyl., men farliga om de hamnar inne i kroppen via andningsluften eller maten.
- Alfa-strålning. Går ett par centimeter i luft, några mikrometer i kroppen. Extremt farlig strålning om strålningskällan är inne i kroppen! Mycket svårt att mäta, och mäts därför mycket sällan. Alfa-partikeln är kraftigt laddad och rör sig relativt långsamt - vilket får en förödande effekt i biologiska vävnader. Alla alfastrålare är också gammastrålare.

Dessa överväganden måste kompletteras med en bedömning av de ekologiska effekterna innan ett visst radioaktivt nedfalls farlighet kan bedömmas. Vissa radioaktiva ämnen är förrädiskt lika, kemiskt sett, vissa viktiga mineralnäringämnen. Det betyder att växter, och sedanbdjur kraftigt ansamlar dessa radioaktiva ämnen. Ansamlingsfaktorer på flera hundra är vanliga i exempelvis kött, även om extremexempel på faktorer runt miljonen finns. Andra ämnen stöts aktivt ut ur kroppen, och utgör därmed en väsentligt mindre risk.

Efter alla dessa överväganden finner man ett fåtal radioaktiva ämnen som är viktiga på grund av deras stabilitet, förmåga att ansamlas i näringskedjor och deras strålningssammansättning. De är:

JOD-131. Huvuddelen av radioaktiviteten från Tjernobyl var  $I^{131}$ . Det är en måttlig beta- och gammastrålare som ansamlas kraftigt i både växter och djur. De flesta åtgärder, som innehållande av kor och mjölk-kontroll, är åtgärder mot radioaktivt jod. Halveringstiden är 8 dygn, vilket betyder att över 90% försvinner på en månad.

**CESIUM-137.** Halveringstiden är 30 år, och cesium-137 är en måttlig betastrålare och en svag gammastrålare. En del cesium-137 fanns med i själva nedfallet, men en väsentligt större del bildas av andra ämnens sönderfall (varav några gasförmiga). Cesium ansamlas i växter och djur, på land och i vatten. Typisk ansamlingsfaktor kan vara 500 ggr i kött. Cesium förväxlas med kalium i kroppens ämnesomsättning, och omsättningshastigheten i våran kropp är ca 3 månader. Cesium binds i stor utsträckning i lera och humus (man räknar med att 95% binds) varför markstrålning kan verka mer alarmerande än den är. I sandjordar, på hedar och fjäll tas däremot en betydligt större andel cesium upp av lavar och ris. Djuren som lever i dessa miljöer blir särskilt utsatta.

**STRONTIUM-90.** Halveringstiden är 28 år, uteslutande beta-strålare. Liksom cesium-137 var strontium-90 vanlig i nedfallet från Tjernobyl. Strontium förväxlas med mineralnäringens kalcium av växter och djur. Hos däggdjuren återfins och ansamlas strontium-90 främst i benstommen. Här är den biologiska omsättningshastigheten låg. I benmärgen bildas blodkroppar och en lokal strålningskälla av strontium-90 här kan orsaka leukemi. Även strontium-90 bildas efter hand av andra sönderfallande radioaktiva ämnen.

**PLUTONIUM-239.** Halveringstiden är 24000 år, extremt stark alfastrålare och svag gammastrålare. Förekommer i mycket små mängder i nedfallet och bildas genom sönderfall av andra radioaktiva isotoper i nedfallet. Tas aktivt upp av växter och djur. Brukar betecknas som det farligaste av alla gift. Ämnet används som bränsle i s.k. breeder-reaktorer och som explosivt ämne i kärnvapen.

Eftersom cesium, strontium och plutonium bildas efterhand ur andra sönderfallande ämnen och eftersom de dessutom har lång halveringstid och ansamlas kraftigt i levande organismer, så ökar aktiviteten av dessa radioaktiva ämnen i kött, ägg m.m. under en lång tid. Mätningar av cesium-137 i renkött i samband med de stora kärnvapensprängningarna i Sovjet och USA i början på 60-talet visade att halterna blev som högst ett-till två år efter det att överjordiska sprängningar upphört. Toppen av strontium hamnar troligen ännu längre fram i tiden. Vad gäller plutonium är osäkerheten mycket stor.

De olika mätenheter och storheter som förekommer i radioaktivitetssammanhang är

**Bequerel.** Betyder antalet sönderfall per sekund, och är alltså ett mått på radioaktiviteten. Däremot säger den inget om strålningstyp.

**Röntgen.** Avser exponering för joniserande strålning. Vanligen rör det sig om gammastrålningens intensitet. Bakgrundvärdet är ca 5 mikroröntgen, som mest under nedfallet var det 400 mikroröntgen i Sundsvall och närmare 800 utanför Gävle - om man nu mätte allt. En dos på 300 röntgen är dödande.

**Gray.** Avser upptagen strålningsdos. En gy motsvarar 100 röntgen ifråga om gammastrålning.

**Sivert.** Är egentligen gy, men omräknat vad gäller andelar av alfa- och betastrålning så att dessa väger tyngre. På så vis det mest rättvisande måttet på biologisk farlighet hos strålningen. Den naturliga bakgrundstrålningen ligger kring 1,8 millisivert, och därtill kommer olika konstgjorda källor (mest sjukvård) på 0,6 millisivert. Årsdosen från Tjernobylolyckan beräknas till 2-3 millisivert. För en tydlig förhöjning av cancer och missfall beräknas hundra gånger mer behövas. 1200 millisivert leder till döden i 50% av fallen vid engångsdos.