



SSI
information

i 96:01

LEIF MOBERG B. ÅKE PERSSON

Tio år efter kärnkraft- olyckan i Tjernobyl

*Radiologiska konsekvenser och svensk
beredskap mot framtida olyckor*



Statens strålskyddsinstitut
Swedish Radiation Protection Institute

TIO ÅR EFTER KÄRNKRAFTOLYCKAN I TJERNOBYL

Radiologiska konsekvenser och svensk beredskap mot framtida olyckor

Sammanfattning

Denna rapport beskriver de radiologiska konsekvenserna av kärnkraftolyckan i Tjernoby, dels i Sverige, dels i Ukraina, Vitryssland och Ryssland. Rapporten bygger på uppgifter från många olika källor varav de viktigaste finns angivna i referenslistan. Rapporten beskriver även hur beredskapen i Sverige mot framtida olyckor har utvecklats till vad den är idag.

Sverige

Den 26 april 1996 är det tio år sedan reaktor nummer fyra vid kärnkraftverket i Tjernoby havererade. Olyckan medförde en omfattande radioaktiv beläggning över stora delar av Europa. Det radioaktiva moln som nådde Sverige den 27 april 1986 innehöll ett antal olika radioaktiva ämnen. Cirka 5% av utsläppet av radioaktivt cesium (Cs-137) uppskattas ha fallit ner i Sverige. Nedfallet av Cs-137 uppgick som högst till ca 200 kBq/m². Cs-137 är den enda radionuklid som idag har en kvarstående effekt i Sverige. Nedfallet i Sverige av de radioaktiva ämnena strontium och plutonium var mycket litet.

Tio år efter olyckan finns kvarstående konsekvenser framförallt i skogen och i insjöarna i de områden av Sverige som erhöll mycket nedfall (Västerbotten, Västernorrland, Gästrikland, Uppland och Västmanland) samt inom rennäringen. Koncentrationen av Cs-137 i vilt som älg och rådjur minskar mycket långsamt med tiden. Variationer förekommer dock mellan olika år och inom samma år beroende på vad djuren äter.

Koncentrationen av Cs-137 i fisk från insjöar i de drabbade områdena varierar kraftigt. Det finns sjöar där halterna i fisk avtagit till långt under Statens livsmedelsverks gränsvärde på 1500 Bq/kg (becquerel per kilo), med det finns också sjöar där halten i fisk fortfarande är hög och där nedgången är långsam.

Inom rennäringen finns det fortfarande områden i Jämtland och Västerbotten där renkroppar kasseras i större omfattning. Det senaste året (94/95) rör det sig om mindre än 10 % av slaktdjuren. Genom ändrade slakttider och stödutfodring minskas antalet kasserade djur. Statens livsmedelsverk ger årligen regler för provtagning och kontroll. Statens jordbruksverk betalar ut ersättning för kasserade renar.

Kollektivstråldosen till den svenska befolkningen under femtio år efter olyckan kan utifrån genomförda mätningar beräknas till ungefär 6000 mansievert. Denna kollektivdos uppskattas ge upphov till sammanlagt ca 300 fall av cancer med dödlig utgång. Det största stråldosbidraget kommer genom att vi bestrålas från radioaktivt cesium på marken, och från radioaktivt cesium som vi får i oss genom mat och dryck. Som jämförelse kan nämnas att ungefär 20000 människor i Sverige årligen dör av cancer, varav knappt två tusen är orsakade av joniserande strålning (väsentligen till följd av naturlig bakgrundsstrålning, radon i bostäder och röntgenundersökningar inom sjukvården).

Ukraina, Vitryssland och Ryssland

Tjernobylolyckans konsekvenser i Vitryssland, Ukraina och Ryssland är mycket omfattande. 31 människor dog av de akuta skador de ådrog sig i samband med själva olyckan. Ett stort antal barn, minst 565 barn till och med 1994, har utvecklat cancer i sköldkörteln. Antalet fall uppges fortfarande öka. Mer än hundratusen människor har fått överge sina hem, i många fall för alltid. 270000 människor bor kvar i områden med hög beläggning av Cs-137 (555-1480 kBq/m²), med bl.a. livsmedelskontroll och regelbundna hälsokontroller. I stora områden är det inte möjligt att bedriva jordbruk.

De undersökningar av cancerförekomst som genomförts i samarbete mellan de nya republikerna och forskare/läkare från västländer har inte kunnat påvisa någon ökning varken av leukemi eller av andra cancerformer som kan tillskrivas strålningen från de radioaktiva ämnen som spreds i omgivningen vid olyckan. Detta innebär att den ökning av dessa sjukdomar som kan ha förekommit inte är tillräckligt stor för att vara statistiskt påvisbar. Många andra sjukdomar, som inte anses strålningsrelaterade, tycks ha ökat men kan inte kopplas direkt till nedfallet efter Tjernobyl. Omfattande psykosociala effekter, vilka inte anses vara direkt relaterade till strålning, bedöms ha orsakats av brist på information omedelbart efter olyckan, stress till följd av flyttning till mindre kontaminerade områden, brytande av sociala strukturer, och oro för framtida skador till följd av strålningsexponering.

Det kommer att krävas många år av fortsatt uppföljning för att säkrare fastställa de medicinska effekterna av olyckan.

Svensk beredskap mot framtida olyckor

Den svenska beredskapen i händelse av en olycka i ett kärnkraftverk har genomgått betydande förändringar efter 1986. Bilateral avtal med andra stater och åtaganden för medverkan enligt internationella konventioner finns vad gäller tidig varning och informationsutbyte vid olyckor. Organisatoriskt har informationsberedskapen kraftigt utökats och samverkan mellan berörda myndigheter på beredskapsområdet har förstärkts. Det finns ett omfattande program för utbildning och övning av den personal som ingår i beredskapen.

Nationella mätresurser av betydelse för beredskapen har samordnats genom olika avtal. Den svenska beredskapen omfattar tio forskningslaboratorier i landet belägna från Umeå i norr till Malmö i söder där mer kvalificerade mätningar kan genomföras. Dessutom finns kvalificerad utrustning och personal vid de svenska kärnkraftverken. Som ett exempel vad gäller tidig varning om radioaktiva ämnen i luften eller på marken kan nämnas att det nu finns 37 gammastationer över landet som kontinuerligt förser SSI med aktuella värden på strålningsnivån. Dessa stationer är också utrustade med automatiskt larm i händelse att nivån stiger över ett förbestämt värde.

På forskningssidan har nya medel tillförts för en särskild satsning på radioekologins område genom inrättande av nio doktorandtjänster fördelade på olika universitet.

KONSEKVENSER I SVERIGE AV TJERNOBYLOLYCKAN

Den 28 april 1986

Olyckan i reaktor fyra vid kärnkraftverket i Tjernobyl i Ukraina blev först känd för omvärlden den 28 april 1986 i samband med att personal vid det svenska kärnkraftverket i Forsmark visade sig vara kontaminerade med radioaktiva ämnen när de passerade verkets kontrolldetektorer. Upptäckten att radioaktiva ämnen hade kommit in över Sverige innebar att en rad olika åtgärder vidtogs. En sådan var att genom omfattande mätningar kartlägga förekomsten av radioaktiva ämnen. Detta ledde bl.a. fram till en karta (se bild nästa sida) över depositionen av Cs-137 i Sverige som baserades på flygmätningar, mätningar i fält och mätningar på jordprover.

Det största nedfallet kom i de områden där det regnade när det radioaktiva molnet passerade. Den geografiska fördelningen är densamma idag men strålningsnivåerna har sjunkit dels på grund av att aktiviteten minskat genom fysikaliskt sönderfall, dels till följd av att återstående radioaktivt cesium trängt ned i marken.

Stråldoser och hälsoeffekter i Sverige

Stråldoser

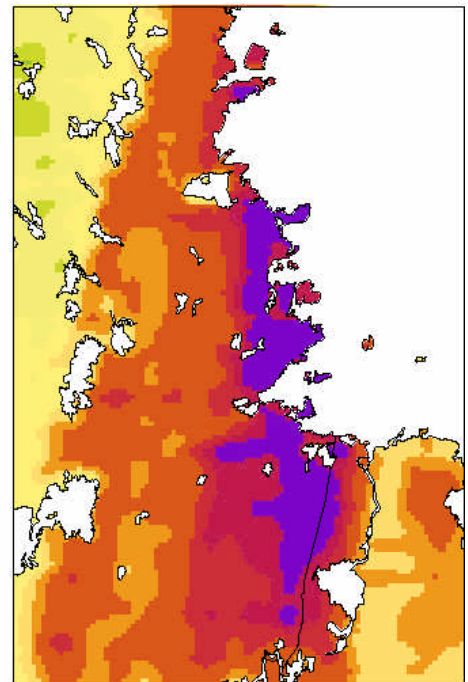
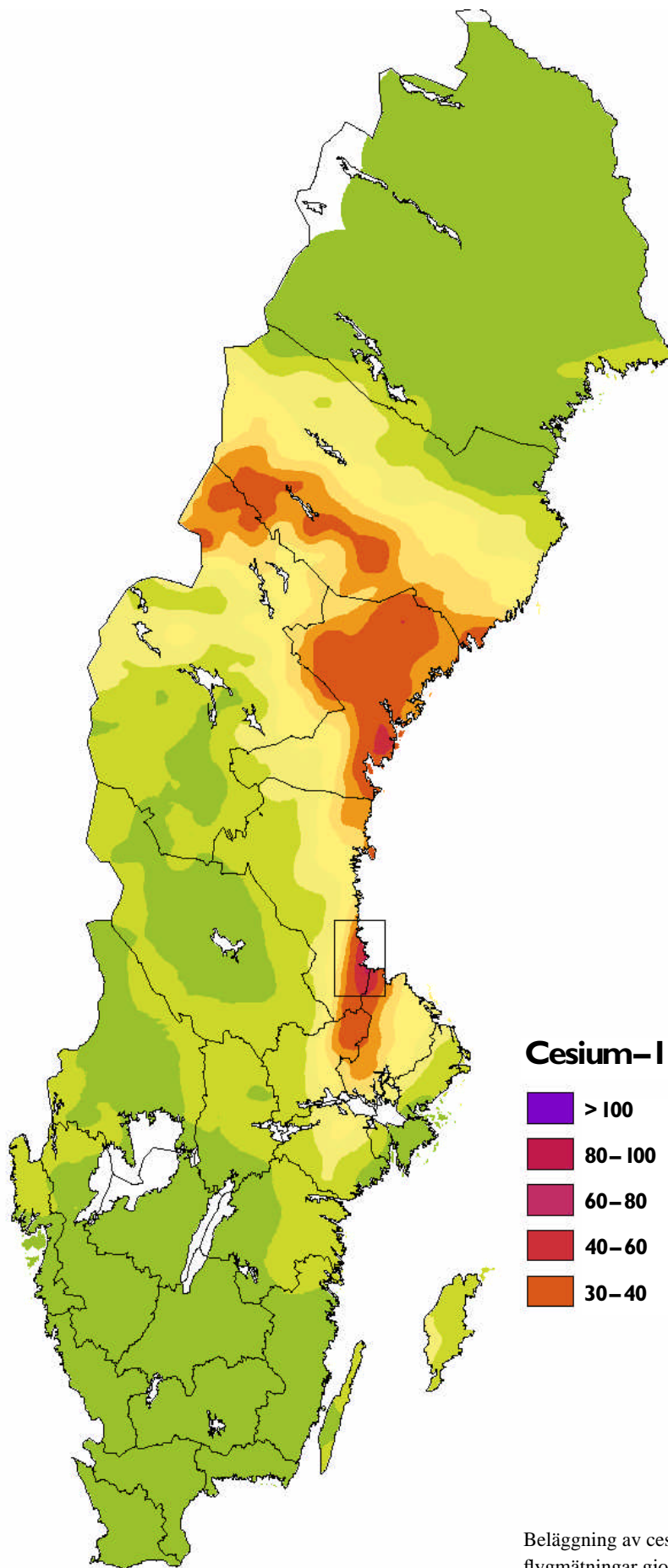
Kollektivstråldosen till den svenska befolkningen summerat över femtio år efter olyckan har beräknats till ungefär 6000 mansievert (manSv), med ett fel i uppskattningen på 1000 manSv. Av denna kollektivdos ger radioaktiva ämnen på marken upphov till ca 5000 manSv medan radioaktiva ämnen i livsmedel svarar för ca 1100 manSv. Bidraget från övriga bestrålningsvägar, främst inandning av luftburna radioaktiva ämnen den första tiden efter olyckan, har uppskattats till ca 150 manSv. Som jämförelse kan nämnas att den årliga kollektivdosen i Sverige från joniserande strålning uppgår till ca 35000 manSv. Beräkningen av kollektivdosen till följd av Tjernobylnedfallet är baserad på omfattande mätningar de första tio åren och extrapolationer in i framtiden för de kommande 40 åren.

Externstråldoser

Beräkningen av den totala stråldosen till befolkningen från radioaktivt cesium på marken (den externa stråldosen) baseras på de flygmätningar av cesiumdepositionen i Sverige som genomfördes 1986 (SGAB) och de förnyade mätningar över Gävleområdet som utfördes 1987-1992 (SGAB, SGU), noggranna fältmätningar av förekomsten av olika radioaktiva ämnen på ett antal platser i Sverige, samt analyser av de jordprover som togs i samband med dessa nuklidspecifika mätningar (FOA).

Mätningarna i fält visade att det förekom ett tjugotal gamma-strålände radionuklider i det moln som kom till Sverige. Några av de kortlivade radioaktiva ämnena som jod-131, tellur-132 och barium-140, gav de största bidragen till den totala gammastrålningen de första veckorna. Eftersom fördelningen mellan de olika radioaktiva ämnena varierade över landet så finns också en geografisk variation i dosbidragen från de olika nukliderna. Efter några månader så dominerades dosbidraget av Cs-134 och Cs-137. Dessa har en fysikalisk halveringstid av två respektive 30 år.

Mätningarna i fält och mätningarna på jordproven har utnyttjats för att beräkna nedträngningen av Cs-134 och Cs-137 i marken. Denna kunskap behövs för att kunna bestämma stråldosens (dosratens) minskning i tiden. En minskning till följd av nedträngning har kunnat observeras fram till 1989, varefter minskningen har antagits bara

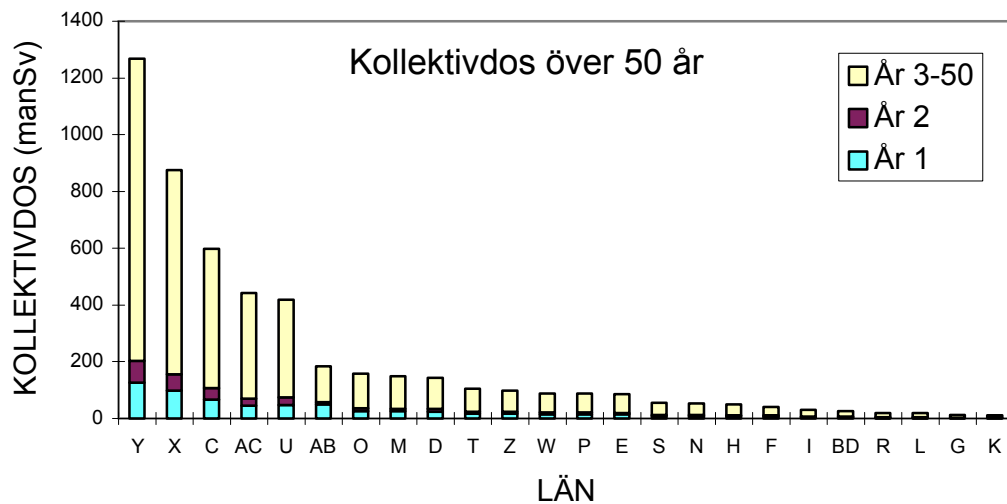


Cesium-137 (kBq/m²)

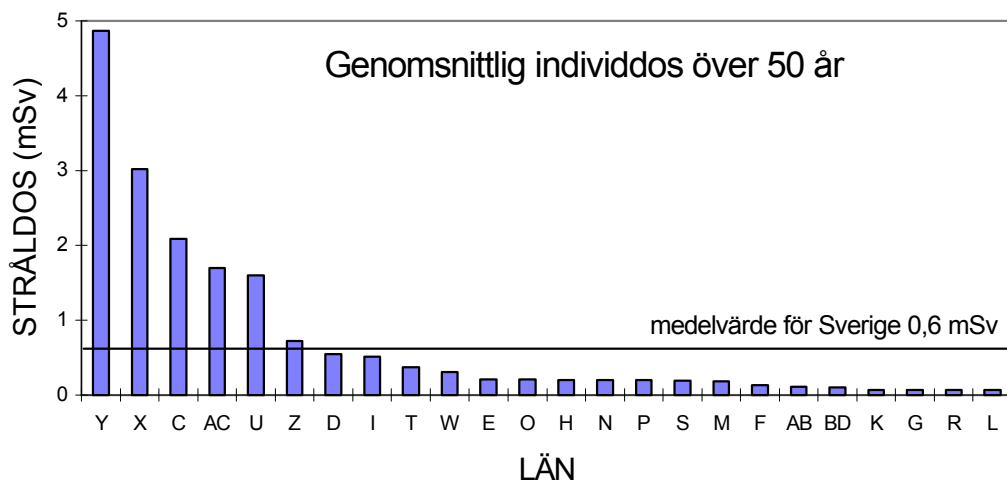


Beläggning av cesium-137 baserad på flygmätningar gjorda 1986.

bero på det fysikaliska sönderfallet av radioaktivt cesium. Nedträngningen är i genomsnitt tre cm på obrukad mark men varierar kraftigt beroende på marktyp. Med hjälp av den korrigerade dosraten och uppgifter om befolkningsfördelning på i vissa fall ned till församlingsnivå har stråldosen till befolkningen beräknats. Hänsyn har härvidlag också tagits till den skärmning av strålningen som man får vid inomhusvistelse, den tid man vistas inomhus samt skärmningseffekten av snö vintertid. Kollektivdosen 1986-2036 blir då 5000 ± 1000 manSv, med 600 manSv det första året efter olyckan och 400 manSv det andra året. De högsta kollektivdoserna summerat över 50 år erhålls som väntat (se följande bild baserad på data från Edvarson) i de områden som fick mest nedfall. Cirka två tredjedelar av 50-årsdosen erhålls i dessa områden.



Beräkningarna visar vidare att 70% av den svenska befolkningen första året erhöll en individstråldos mindre än 0,04 mSv, och 95% stråldoser mindre än 0,3 mSv. De högsta individdoserna erhöles i kustområdena i våtdepositionsområdet där 250000 personer erhöill en förstaårsdos över 0,5 mSv och 40000 en stråldos över 1 mSv. Den högsta externstråldosen, ca 2 mSv, erhöiles av mindre än 1000 personer. Följande bild (baserad på Edvarsons data) visar länsvis den genomsnittliga individdosen summerat över 50 år.



Den genomsnittliga externdosen till en person i Sverige kan beräknas till sammanlagt 0,6 mSv för 50-årsperioden efter olyckan. För personer bosatta i områden med låg deposition är stråldosen lägre och för personer som bor i exempelvis Västernorrland fås motsvarande stråldos till ca 5 mSv under 50 år. Som jämförelse kan nämnas att en person bosatt i Sverige i genomsnitt erhåller en stråldos på 4 mSv per år, dvs dostillskottet från externdosen i ett av de mest drabbade länen är knappt 3% under 50 år.

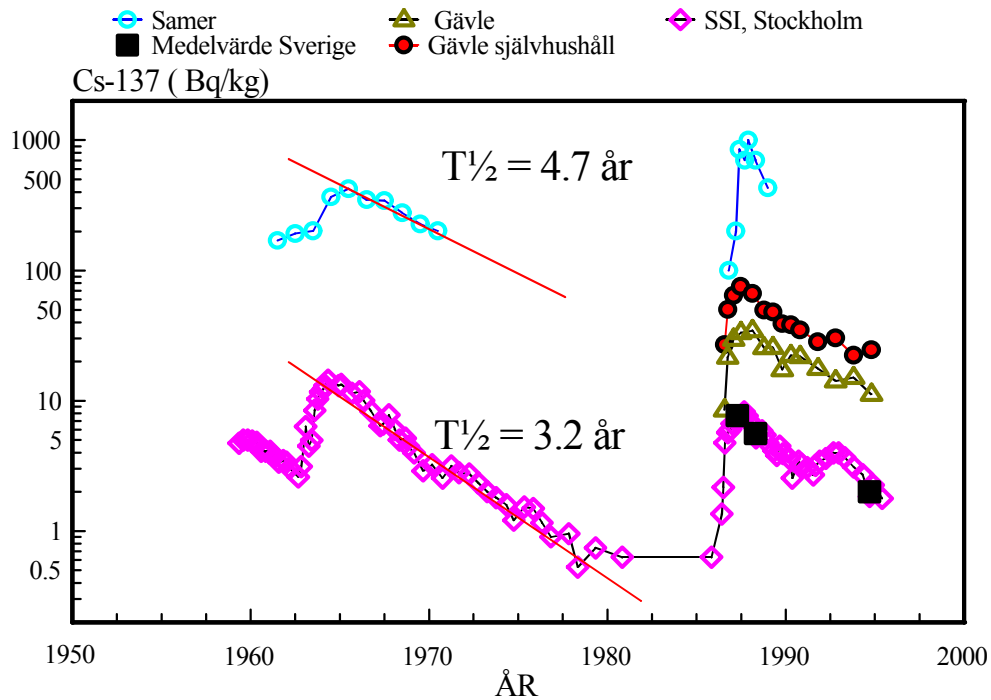
Internstråldoser

Tjernobylolyckan har medfört att många livsmedel innehåller radioaktivt cesium. Det cesium som vi får i oss via livsmedel tas upp i kroppen, fördelas i muskelvävnad och ger upphov till en stråldos. Det säkraste sättet att bestämma denna internstråldos är att mäta kroppsinnehållet av radioaktivt cesium och därefter beräkna stråldosen. Sådana helkroppsmätningar har genomförts vid flera olika tillfällen och på olika befolkningsgrupper. Baserat på dessa mätningar har kollektivdosen till den svenska befolkningen från internbestrålning uppskattats till ungefär 1100 mansievert för de kommande 50 åren. Den senaste beräkningen av kollektivdosen till den svenska befolkningen från livsmedel (den interna stråldosen) visar att den genomsnittliga stråldosen till en person i Sverige minskar i den takt som förväntats sedan tidigare. Den genomsnittliga individdosen är nu cirka fem gånger lägre än under de första åren efter olyckan.

Ett trettiotal anställda vid SSI har sedan 1959 regelbundet mätts i institutets helkroppsmätare, och resultaten från dessa mätningar ger en bra bild av hur helkroppsinnehållet har varierat under åren. Bidragen till innehållet av radioaktivt cesium i kroppen härrör från två källor, dels de atmosfäriska kärnvapenproven i början av 60-talet, dels Tjernobylolyckan. Resultaten från referensgruppen vid SSI är viktig vid beräkningen av kollektivdosen för Sverige efter Tjernobyli.

Detta beror på att tidsutvecklingen av kroppsinnehållet av radioaktivt cesium för referensgruppen överensstämmer väl med de medelvärden för befolkningen som erhållits vid de mätningar som vid tre tillfällen gjorts av statistiska urval ur den svenska befolkningen. Dessa urval har gjorts av Statistiska centralbyrån. Den första mätningen ägde rum ett år efter olyckan och omfattade 218 personer. Halva denna grupp mättes återigen ett år senare. År 1994 genomfördes den tredje mätningen på ett nytt urval (200 personer) av den svenska befolkningen. Våtdepositionsområdena var överrepresenterade i urvalet.

Följande figur visar helkroppsinnehållet uttryckt i becquerel per kg kroppsvikt för några olika grupper. (Mätningarna på samer har utförts av Lidén på 60-talet och av Johansson på 80-talet, övriga grupper är mätta vid miljölaboratoriet vid SSI.)



Som framgår av figuren ansluter mätresultaten för de statistiska urvalen (fyllda kvadrater) av den svenska befolkningen väl till mätvärdena för SSIs referensgrupp, dvs referensgruppens medelvärde kan betraktas som ett medelvärde för en person i Sverige och utnyttjas för att uppskatta kollektivdosen från intag av radioaktivt cesium. Med antagandet att det årliga intaget av radioaktivt cesium kommer att minska med en "halveringstid" av fyra år kan kollektivdosen för tiden 1986-2036 beräknas till 1100 manSv. En halveringstid på fyra år är något längre än vad som erhålls för referensgruppen efter de atmosfäriska bombproven (3,2 år) och vad som erhållits vid mätningar på muskelprover efter Tjernobyl (3,7 år). Under givna antaganden har osäkerheten i beräkningen uppskattats till ± 200 mansievert.

Mätningarna på urvalet av den svenska befolkningen visar att år 1994 har 90% av befolkningen mindre än 5 Bq/(kg kroppsvikt) och 99% av befolkningen mindre än 10 Bq/(kg kroppsvikt) av Cs-137. Bara ett begränsat antal personer förväntas ha värden överstigande 100 Bq/kg. Resultatet från den tredje befolkningsstudien visar vidare att hösten 1994 var den genomsnittliga stråldosen från radioaktivt cesium till en person bosatt i Sverige 0,005 mSv/år. I de fem drabbade länen varierar stråldosen i undersökningen mellan några μ Sv (mikrosievert) per år till 0,13 mSv/år.

Dessa resultat styrks av några andra undersökningar som genomförts parallellt. I en helkroppsundersökning genomförd våren 1994 av FOA i Umeå på jägare och deras familjer erhöles den genomsnittliga stråldosen till vuxna i områden med hög beläggning av Cs-137 (>40 kBq/m²) till ca 0,1 mSv/år. I områden med lägre deposition (7-10 kBq/m²) var motsvarande stråldos ca 0,02 mSv/år. Jägare och deras familjer är en grupp med en diet som kan innehålla stora mängder produkter från skogen och de kan därför väntas ha högre kroppsinnehåll av cesium än personer i samma område som väsentligen köper sina livsmedel i handeln. Denna skillnad framgår också av ovanstående figur vad avser en grupp lantbrukare i Gävleområdet som utnyttjar egna och skogens produkter

relativt en grupp i samma område som i större utsträckning köper livsmedel i handeln. En annan grupp som genom sitt kostsammansättning traditionellt har högre kroppsinnehåll av radioaktivt cesium är samer, vilket också framgår av ~~figuren~~.

Hälsoeffekter

Tjernobylnedfallet i Sverige medförde inte några akuta skador. Hälsoeffekterna består i stället av framräknade cancerfall.

Beräknade cancerfall

Kollektivdosen till den svenska befolkningen kan användas för att beräkna antalet förväntade cancerfall till följd av Tjernobylnedfallet. En sådan beräkning ger att bestrålningen under de första femtio åren efter olyckan kan komma att förorsaka sammanlagt ca 300 dödsfall i cancer. Detta är för få fall för att kunna upptäckas genom epidemiologiska studier. Som jämförelse kan nämnas att i Sverige dör ca 20000 människor varje år i cancer varav knappt 2000 beräknas vara orsakade av joniserande strålning. Variationen mellan olika år är betydligt större än tillskottet från Tjernobyl.

En svensk studie av leukemiförekomsten hos barn födda mellan åren 1980 och 1992 visar att det inte är möjligt att påvisa någon ökning av antalet leukemifall till följd av Tjernobylylyckan. Det fanns inte någon signifikant skillnad i risken att få leukemi varken vid jämförelse mellan områden med hög respektive låg beläggning efter maj 1986, eller vid jämförelse inom högbelagt område för perioden före respektive efter olyckan. Detta var heller inte att vänta.

Andra hälsoeffekter

Det har inte kunnat konstateras några andra hälsoeffekter i Sverige som kan tillskrivas strålningen från Tjernobylnedfallet.

Cesium i miljön och våra livsmedel

Ett tjugotal gammastrålande radionuklider deponerade i Sverige till följd av Tjernobylylyckan. Av dessa är det radioaktivt cesium (Cs-134 och Cs-137) som är av betydelse i miljön, och då i första hand i produkter som utnyttjas som livsmedel av människan. Koncentrationerna av cesium är för låga för att ge några påvisbara skadliga effekter på djur och växter. De första veckorna efter olyckan var också radioaktivt jod (I-131) av betydelse inom jordbruket eftersom det anrikas i komjölk. Särskilda restriktioner infördes av denna anledning. De första åren efter olyckan genomfördes ett stort antal kontrollmätningar och flera forskningsprojekt. Tio år efter olyckan sker uppföljningen av olyckan väsentligen genom ett antal forskningsprojekt, medan kontrollmätningarna är få. De centrala myndigheternas mer löpande kontroll begränsas till renkött och konsumtionsmjölk. På regional och kommunal nivå i de mest belagda områdena sker fortfarande viss kontroll av cesiumkoncentrationer i produkter från skogen och fisk från insjöar.

I det följande ges en översiktlig bild av situationen vad gäller insjöar, skog och jordbruk i områden med högre beläggning av radioaktivt cesium samt vad gäller livsmedel mer generellt.

Cesium i fisk - insjöar

Det radioaktiva nedfallet tillfördes sjöarna direkt eller indirekt via kringliggande avrinningsområden. Större delen (90-99%) av det radioaktiva cesiet återfinns i sjöarnas botten-sediment. Fisk tar upp cesium via födan. Tio år efter det radioaktiva nedfallet är det fisk i insjöar inom de högbelagda områdena som kan innehålla höga koncentrationer av radioaktivt cesium. Koncentrationerna i östersjöfisk är låga.

Beräkningar, baserade på ett mycket stort datamaterial, visade att hösten 1987 ca 14000 insjöar i landet, många mindre än en km², hade matfisk med koncentrationer av Cs-137 överstigande 1500 Bq/kg (SLVs riktvärde). Ett motsvarande dataunderlag finns inte för de senaste åren, och en förnyad beräkning kan därför inte göras. Tillgängliga data pekar emellertid på att det fortfarande är många sjöar i vilka cesiumkoncentrationerna i fisk överstiger 1500 Bq/kg. Höga cesiumkoncentrationer i fisk återfinns framförallt i grunda sjöar som har liten vattengenomströmning och som är näringsfattiga. Existerande data pekar vidare på att nedgångstakten i koncentrationen av cesium i fisk har minskat de senaste åren, dvs den ekologiska halveringstiden har blivit allt längre. I extrema fall kan den ekologiska halveringstiden närma sig 30 år, dvs den fysikaliska halveringstiden för Cs-137. Skillnaden mellan sjöar är dock stor, och det är också skillnader i tidsförlopp mellan olika fiskarter.

En viktig del av pågående forskning är att söka förklaringar till varför koncentrationerna i fisk minskar så långsamt i många sjöar. Resultaten pekar på att våg- och strömrörelser samt inverkan av bottendjur kan återföra partikelbundet cesium till vattenmassan (resuspension) för att sedan bli tillgängligt för växter och djur. Denna mekanism är särskilt betydelsefull i grunda sjöar. En annan orsak till det långsamma avtagandet kan vara tillförsel av radioaktivt cesium genom avrinning från mark runt sjön. Detta tycks vara en bidragande orsak främst i sjöar i områden med stort inslag av myrmark. Pågående forskning syftar också till att skapa prognosmodeller för utvecklingen av cesium i fisk.

Försök att genom olika åtgärder, främst kalkning men också tillsättning av kalium, påskynda minskningsförloppet har inte visat sig särskilt lyckosamma. Förbättringen ligger i bästa fall på procentnivå.

Cesium i skog och fjäll

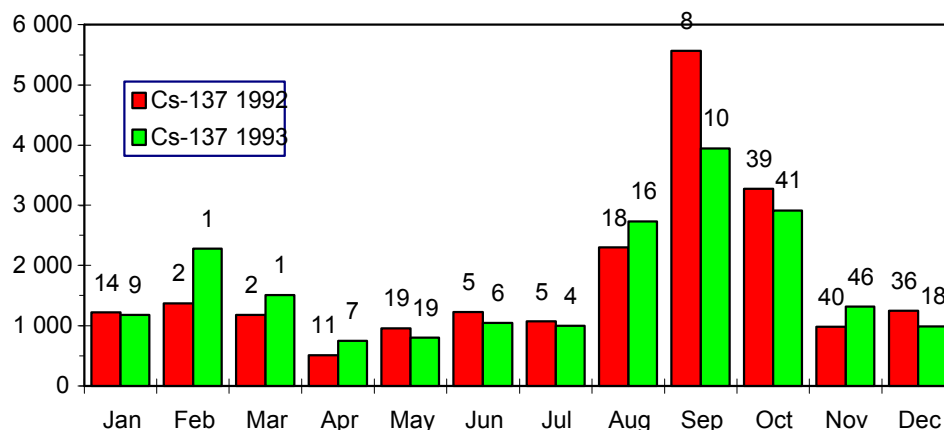
Det radioaktiva nedfallet i Sverige kom till stor del över skogklädda områden. Kunskaperna om hur radioaktiva ämnen uppträder i skogsekosystemet i Norden var före olyckan i Tjernobyli relativt begränsade. Mest kunskap fanns om renen och dess betesväxter, vilka studerades efter det nedfall som kom till följd av de atmosfäriska kärnvapenproven på 50- och 60-talen. Rätt tidigt efter Tjernobylylyckan stod det klart att rennäringen skulle drabbas samt att såväl bär som vilt kunde innehålla höga koncentrationer av radioaktivt cesium.

Idag är koncentrationerna av cesium i vilda bär genomgående lägre än SLVs riktvärde (1500 Bq/kg). Svamp kan fortfarande innehålla mycket höga koncentrationer av radioaktivt cesium.

Inom vissa områden, främst i Gävleborgs län, överstiger cesiumkoncentrationerna i rådjur relativt ofta gränsvärdet 1500 Bq/kg. Följande bild visar koncentrationen av Cs-137 i rådjur för två år samt variationen under dessa år (data från KJ Johanson, radioekologiska institutionen vid SLU). Siffrorna över staplarna anger antalet djur som ingår i medelvärdet.

Rådjur från Heby kommun

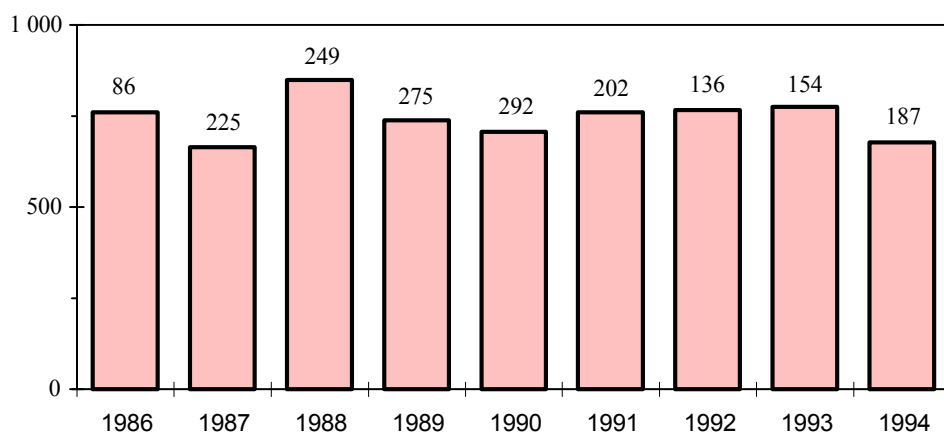
Bq per kg



Möjligheten att sätta ut så kallade slickstenar med berlinerblått för att minska cesiumkoncentrationen i rådjur och älg har provats, men resultaten är svårtolkade även om det finns indikationer på något tiotals procent minskning. Ändring i jakttider kan ge positiva resultat beroende på att koncentrationerna av radioaktivt cesium i köttet varierar kraftigt under året (se bild ovan). Koncentrationerna av radioaktivt cesium i älg är vanligen under 1500 Bq/kg. Följande bild visar koncentrationen av Cs-137 i älg under åren 1986 till 1994 (data från KJ Johanson, radioekologiska institutionen vid SLU). Siffrorna över staplarna anger antalet djur som ingår i medelvärdet.

Älg från Heby Kommun

Bq per kg



Inom rennäringen gäller att antalet renar som kasserats till följd av för höga koncentrationer av Cs-137 har sjunkit år från år, och enligt jordbruksverkets statistik för den senaste slaktsäsongen är den procentuella andelen under 10%. Detta beror delvis på en minskning av renens intag av cesium med betet. Men framförallt beror det på de åtgärder som vidtas i form av bl.a. stödutfodring före slakt och ändring av slakttider. I SLVs övervakningsprogram för ren bestäms inför varje slaktsäsong omfattningen av de

prov som måste tas. Det finns fortfarande ett antal samebyar i de mest kontaminerade områdena där alla slaktdjur kasseras under vinterslakten. Stickprov tas för att följa utvecklingen. I andra byar provtas alla slaktade djur innan försäljning. I de byar där man av erfarenhet vet att koncentrationerna av Cs-137 är under gränsvärdet tas endast stickprov.

Pågående forskning har visat att den ekologiska halveringstiden för ren (3-4 år) de första åren efter olyckan varit kortare än vad som förväntats utifrån data från 60-talet. Samtidigt tyder emellertid senaste data på att den ekologiska halveringstiden håller på att bli längre.

Cesium och jordbruket

Effekterna inom jordbruket begränsade sig till 1986-87 och med få undantag finns det idag inte några kvarstående effekter. Pågående forskning syftar bland annat till att långsiktigt följa hur olika åtgärder, inklusive gödsling och kalkning, påverkar upptaget i olika grödor.

På ett antal gårdar med naturbeten kan koncentrationerna av Cs-137 i får och nötkött överstiga gällande gränsvärden (300 Bq/kg).

Cesium i livsmedel

Livsmedelsverkets gränsvärden från juni 1987 för livsmedel som säljs i handeln gäller fortfarande vilket innebär 300 Bq/kg utom för vilt, ren, insjöfisk och skogsbär för vilka gränsvärdet är 1500 Bq/kg. Särskilda kostråd finns för personer som konsumerar mycket av vilt, ren mm. Inom EU saknas ett gemensamt gränsvärde för radioaktivt cesium i livsmedel. För import från tredje land till EU-land finns däremot ett gemensamt gränsvärde på 600 Bq/kg för ett antal angivna livsmedel, och 370 Bq/kg för barnmat, mjölk och mjölkprodukter.

Koncentrationen av radioaktivt cesium i livsmedel som saluförs i handeln är mycket låg och genomgående väl under gällande gränsvärden. Detta framgår av den så kallade matkorgsundersökning som SSI tillsammans med Livsmedelsverket genomförde under hösten 1994 för att bedöma hur mycket radioaktivt cesium som finns i livsmedel som kan köpas i butikerna. Från denna studie har det genomsnittliga intaget uppskattats till 270 ± 50 Bq för 1994. Från detta kan det genomsnittliga helkroppsinnehållet av Cs-137 beräknas till 1,3 Bq/kg, vilket kan jämföras med det värde på 2,0 Bq/kg kroppsvikt som erhöles vid direkta mätningar (se under helkroppsmätningar ovan). Skillnaden kan till större delen tillskrivas de födoämnen som inte täcktes av matkorgen, dvs livsmedel från älg, rådjur, insjöfisk, svamp och vilda bär.

SSI mäter regelbundet koncentrationen av radioaktivt strontium och cesium (Sr-90 och Cs-137) i mejerimjölk. Som högst rör det sig 10 år efter Tjernobylolyckan om några Bq/l av Cs-137 och ca 0,1 Bq/l av Sr-90, dvs mycket låga koncentrationer.

KONSEKVENSER I UKRAINA, VITRYSSLAND OCH RYSSLAND

Olyckan - vad hände, vad gäller idag för reaktorn?

Olycksnatten

Olyckan i reaktor fyra vid kärnkraftverket i Tjernobyl i Ukraina blev känd för omvärlden den 28 april 1986 i samband med att personal vid det svenska kärnkraftverket i Forsmark visade sig vara kontaminerade med radioaktiva ämnen när de passerade verkets kontrolldetektorer. Senare under måndagen blev det klart att olyckan hade inträffat mer än två dygn tidigare, på natten (kl. 01.23) till lördagen den 26 april. Olyckan hade emellertid inte tillkännagetts av de dåvarande sovjetiska myndigheterna.

I augusti 1986, vid ett internationellt möte i Wien, lämnade sovjetiska experter en uttömmande beskrivning om olycksförloppet. Under följande år har den bilden modifierats, bl.a. har operatörernas skuld till olyckan något tonats ned. Även om det exakta händelseförloppet fortfarande kan komma att revideras så är det en utbredd uppfattning att olyckan berodde på flera samverkande faktorer till vilka hör en reaktorkonstruktion med inbyggda svagheter, en dålig säkerhetskultur samt mänskligt felhandlande och brott mot givna regler. Avsaknaden av den betonginneslutning som finns runt västerländska reaktorer bidrog till den omfattande spridningen av radioaktiva ämnen. Omfattande utsläpp av radioaktiva ämnen pågick i tio dagar och i betydligt mer begränsad omfattning ytterligare några veckor.

De senaste uppskattningarna visar på att aktivitetsutsläppet² av jod-131 uppgick till cirka 1760 PBq, dvs 50-60% av reaktorhårdens innehåll av jod-131, och att utsläppet av cesium-137 uppgick till cirka 85 PBq, eller mellan 20 och 40% av hårdinnehållet. Cirka 10 PBq (5% av hårdens innehåll) av strontium-90 spreds i omgivningen. Därtill kommer mindre andelar av ett stort antal andra radionuklider samt alla ädelgaser.

Tjernobylreaktorerna idag

Två reaktorer, nummer ett och tre, är i drift i Tjernobyl, men det pågår diskussioner till och från om att stänga även dessa. En omfattande och detaljerad beskrivning av tillståndet för den betongkonstruktion, den sk sarkofagen, som byggts och färdigställdes i november 1986 runt den havererade reaktorn, finns i rapporten från en konferens som hölls i Zelene Mys i Ukraina i mars 1994. Av rapporten framgår bl.a. att förhållandena i sarkofagen är relativt väl kända vad avser exempelvis fördelning och tillstånd på det radioaktiva materialet (hårdresterna), dosrater, status för bärande delar etc. Kunskapen

¹Det förekommer ofta uppgifter i litteraturen och massmedia om konsekvenserna av Tjernobylolyckan i det gamla Sovjet. Inte sällan beskriver de kraftigt ökad förekomst av olika sjukdomar, även sådana som inte är kända att vara relaterade till strålning, samt cancer. Det är naturligtvis svårt att skapa sig en korrekt bild av det faktiska läget, och det är viktigt att vara medveten om de osäkerheter som finns. Det kommer att krävas många tiotals år av fortsatt kvalificerad uppföljning för att få fram en mer slutlig bild av olyckans medicinska konsekvenser. Därtill kommer andra effekter exempelvis på det socio-ekonomiska området. Beskrivningen i detta dokument av konsekvenser som är kända tio år efter olyckan bygger till stor del på rapporter och redogörelser från de stora internationella organisationerna inom området: IAEA/INSAGs rapporter (1986, 1992) om orsakerna till olyckan, UNSCEARs sammanfattning av konsekvenserna från 1988, resultaten från det internationella Tjernobylprojektet (1991) som utfördes i samarbete mellan en rad FN-organisationer, EU och det forna Sovjet, resultatet från WHO:s sk IPHECA pilotprojekt som avrapporterades vid en konferens i Genève i november 1995, den rapport över konsekvenserna tio år efter olyckan som nyligen publicerats av OECD/NEA samt resultat från en konferens i Minsk i mars 1996 vilken ordnades av EU i samarbete med Vitryssland, Ukraina och Ryssland. Därtill kommer information från den vetenskapliga litteraturen, konferenser och forskningsprojekt. Generellt gäller att sifferuppgifter av olika slag kan skilja något också mellan de källor som angivits ovan.

² samtliga uppgifter om utsläppt aktivitet och deposition avser 1986

baseras på fjärravläsningar av instrument inne i sarkofagen, men också på undersökningar som genomförts inne sarkofagen vid ett flertal tillfällen.

En viktig fråga är hur man ska ta hand om det radioaktiva avfallet, i första hand bränsleresterna, på ett långsiktigt och säkert sätt. I avvaktan på att denna fråga får en lösning har det bedömts väsentligt att sarkofagen hålls under kontroll.

En relativt utbredd bedömning är att sarkofagen är instabil och att man inte kan utesluta framtida större utsläpp av aktivitet. Den närmaste omgivningen kan kontamineras dels genom att bränsledamm läcker ut, dels genom att de radioaktiva ämnen, främst Cs-137, som finns i det vatten som finns ansamlat i sarkofagen tränger ut i omgivande jordlager. Totalt rör det sig om 1000 m² öppningar av olika slag genom vilka damm kan komma ut. En kollaps av större byggnadsdelar uppskattas kunna ge större utsläpp, vilket dock främst skulle drabba närområdet. Den aktivitet som hittills kommit ut är mindre än 11 GBq/år vad gäller Cs-137 och mindre än 0,1 GBq/år för plutonium och andra transuraner. Risken för ett större utsläpp bedöms emellertid öka.

Diskussioner har pågått länge om hur betonginneslutningen runt reaktor 4 bäst skall förbättras. Man har också utlyst tävlingar för förslag om detta, dock utan att ha kommit fram till något resultat. Hur en ny sarkofag ska finansieras är också en olöst fråga.

Radioaktivt kontaminerade områden

Cesium-137 har använts som mått på nedfallet av radioaktiva ämnen dels därför att denna radionuklid är lätt att mäta, dels därför att den långsiktigt ger det största stråldosbidraget. Det finns tre områden med mycket hög cesiumbeläggning: omedelbart väst och norr om reaktorn, 20 mil nord-nordöst om reaktorn och 50 mil nordöst om reaktorn.

De olika beläggningsområdenas³ storlek framgår av följande tabell. Som jämförelse kan nämnas att en areal av 3100 km² motsvarar Blekinges storlek.

Aktivitet Cs-137 i kBq/m ²	Areal i km ²
>1480	3100
555-1480	7200
185-555	18800
37-185	117000

Totalt uppskattas det att ca 37,2 PBq Cs-137 har deponerat över det forna Sovjet, varav 41% i Vitryssland, 35% i Ryssland och 24% i Ukraina. (Som jämförelse kan nämnas att ca 4,2 PBq Cs-137 deponerat över Sverige, med en högsta beläggning på ca 200 kBq/m²).

Depositionen av Sr-90 återfinns väsentligen inom den evakuerade 30-km zonen runt reaktorn med områden med beläggning över 100 kBq/m². Områden med beläggning av Sr-90 överstigande 40 kBq/m² finns nästan alla inom 100 km från reaktorn. Plutonium finns framförallt inom 30-km zonen.

³De något ojämna siffrorna i tabellen förklaras av att i Ukraina, Vitryssland och Ryssland anges depositionen i curie/km². Härvid svarar 1 Ci/ km² mot 37 kBq/m², 5 Ci/ km² mot 185 kBq/m², 15 Ci/ km² mot 555 kBq/m², och 40 Ci/ km² mot 1480 kBq/m².

Evakuering

De första evakueringarna av civilbefolkning genomfördes söndagen den 27 april 1986 och omfattade 49000 invånare i staden Pripjat som är belägen 3 km från reaktorn. Ytterligare 11000 personer från byar inom 10 km från reaktorn evakuerades den 2-3 maj, och 42000 personer inom resterande delen av 30 km zonen evakuerades den 4-7 maj. Under juni till september evakuerades ett femtiotal byar i Vitryssland, samt enstaka byar i Ukraina och Ryssland. Totalt uppges 116000 personer ha evakuerats mellan april och september 1986. Uppgifterna om antal evakuerade skiljer något mellan olika källor och ska uppfattas som ungefärliga. Ytterligare evakueringar har dessutom ägt rum under senare år.

Stråldoser

För att kunna beräkna sena strålskador, främst cancer till dem som exponerats för joniserande strålning, behövs en bestämning av stråldoserna. Helst bör denna bestämning baseras på mätningar av externstrålningen (från markbeläggningen och för första tiden efter olyckan även från radionuklider i luften) samt individernas kroppsinnehåll av cesium från intag via livsmedel och för första tiden efter olyckan också från inandning av radioaktiva ämnen. Det största problemet har visat sig vara att rekonstruera stråldosen till sköldkörteln eftersom de kortlivade jodisotoperna, i första hand jod-131, vilka ger den dominerande stråldosen klingade av redan de första månaderna efter olyckan och alltså inte längre kan mätas.

Evakuerad befolkning

Beräkningar av de stråldoser till sköldkörteln som de evakuerade erhöll före evakuering är till stor del baserade på de många mätningar som gjordes på sköldkörteln samt på intervjuer genomförda i efterhand om var man befann sig. Den genomsnittliga stråldosen till sköldkörteln för de som evakuerades från Pripjat, förorsakad huvudsakligen av inhalation av jod-131, uppskattas till 1,4 Sv för små barn och 0,07 Sv för vuxna. Spridningen i stråldos mellan individer kan dock vara stor.

Individuella helkroppsdoser har rekonstruerats för de evakuerade från Pripjat och byar inom 30 km zonen. I genomsnitt så har den effektiva dosen från externstrålning för Pripjat-evakuerade beräknats till 15 mSv och till dem i 30-km zonen till 20 mSv. De högsta doserna uppskattas till 50 respektive 300 mSv. (Som jämförelse kan nämnas att medeldosen per år till personer bosatta i Sverige är drygt 4 mSv, och att högsta tillåtna stråldos i radiologiskt arbete är 50 mSv för ett enstaka år)

Befolkning i högkontaminerade områden

Omkring fyra miljoner människor bor i områden med en deposition av Cs-137 högre än 37 kBq/m².

Omkring 270000 personer bor i så kallade strikt kontrollerade områden (550-1480 kBq/m²) där olika motåtgärder fortfarande vidtas till exempel sanering och införsel av okontaminerade livsmedel och där man regelbundet genomgår hälsokontroll.

I dessa områden genomfördes ett mycket stort antal mätningar av radioaktivt jod i sköldkörteln veckorna efter olyckan, dock är mätningarna av mycket varierande kvalitet. De stråldoser som kan beräknas i efterhand visar på stora variationer och även betydande osäkerheter. Mycket talar för att barn i Gomel regionen i Vitryssland erhöll de

högsta sköldkörteldoserna. Några hundra barn bedöms ha fått sköldkörteldoser mellan 10 och 40 Gy. I dessa områden dominerades intaget av radioaktivt jod via mjölk.

Helkroppsdoserna till befolkningen i den strikt kontrollerade zonen varierar kraftigt. I genomsnitt överväger stråldosen från externstrålningen eftersom det finns en livsmedelskontroll. De högsta individoserna fås emellertid av dem som konsumerar lokalt producerad mat, i första hand mjölk och nötkött samt svamp. Genomförda beräkningar visar att helkroppsdoserna för tiden fram till och med 1989 varierar mellan 5 och 250 mSv med ett medelvärde för fyraårsperioden på ca 35 mSv. Under senare år uppges årsdosen understiga 5 mSv/år.

Saneringspersonal

För att sanera radioaktivt kontaminerade områden, i första hand runt reaktorn och inom 30-km zonen, hämtades militär men också civil personal från olika delar av det dåvarande Sovjetunionen.

Enligt de bestämmelser som gällde begränsades externstråldoserna till uppröjningsarbetarna till 250 mSv under 1986, 100 mSv 1987 och 50 mSv 1988 och följande tre år. Dosbestämningen framförallt den första tiden efter olyckan är emellertid mycket osäker och baserad på ett begränsat antal mätningar. För 20% av arbetarna uppges dosregistrering saknas helt för 1986. Redovisade registerdata visar att de genomsnittliga doserna från externstrålning minskade med tiden och var ca 300 mSv för personer som arbetade med uppröjning de tre första månaderna efter olyckan, ca 170 mSv för resten av 1986, 130 mSv för 1987, 30 mSv för 1988 och 15 mSv för 1989.

Ett register över röjningsarbetare, evakuerade och kvarboende i kontaminerade områden inrättades 1986 i Obninsk. Från 1992 finns separata register i de tre republikerna. En uppgift säger att det finns ca 285000 officiellt registrerade röjningsarbetare (100000 för Ukraina och Ryssland, 20000 för Vitryssland och 65000 för övriga republiker)

Hälsokonsekvenser i Ryssland, Ukraina, Vitryssland

De hälsokonsekvenser som förknippas med joniserande strålning är i första hand akuta skador som uppkommer vid stråldoser över ca 1 Sv och cancer som kan uppkomma en längre tid efter bestrålning. Denna skiljelinje varierar mellan några år och flera tiotals år. Kortast är den för leukemi som har en latenstid på 3-7 år. Bestrålning av foster kan i första hand leda till mental efterblivenhet om stråldosen varit tillräckligt hög och inträffat under 8-16 graviditetsveckan. Strålskador på könsceller kan leda till skador på kommande generationer. Sådana genetiska skador har visats i djurförsök men har inte kunnat påvisas för människor.

Baserat på tillgängliga vetenskapliga redogörelser kan sammanfattningsvis sägas att de skador som hittills kunnat relateras direkt till olyckan (strålning) är

- de 31 personer som omkom i samband med räddningsarbetet i april 1986
- en kraftig ökning av antalet barn som fått sköldkörtelcancer till följd av att radioaktivt jod tillförts kroppen genom inandning då det radioaktiva molnet passerade eller genom kontaminerad mjölk.

Akuta skador

Akuta strålskador har endast inträffat bland de ca 400 personer som befann sig inom reaktorområdet på olycksnatten, och då främst bland räddningstjänstpersonal. Av de 237 personer som erhöll stråldoser över 1 Sv inom loppet av några timmar avled 28 personer av akuta strålskador i kombination med brännskador. Dessutom dog två i arbetet vid reaktorn och en av hjärtattack. En noggrann uppföljning av de överlevande pågår.

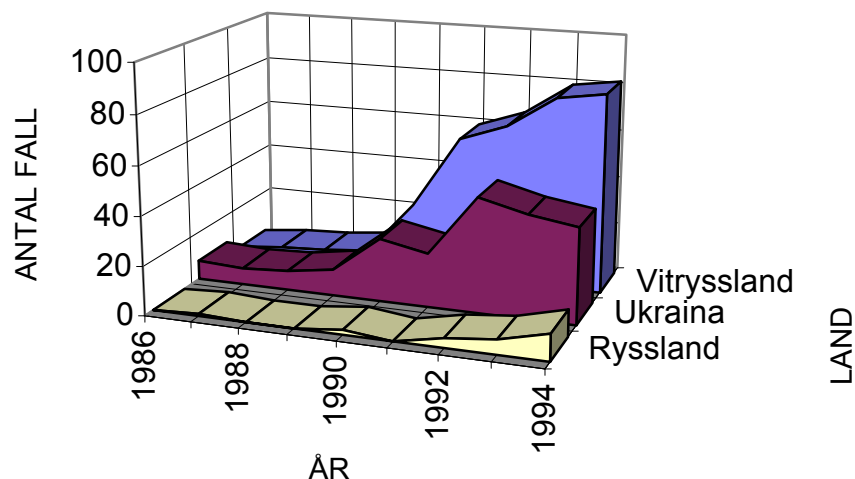
Sena skador

Ett flertal internationella studier har genomförts och pågår i Vitryssland, Ukraina och Ryssland för att bl.a. utreda de medicinska konsekvenserna av Tjernobylolyckan. En sådan studie genomfördes av WHO (IPHECA - International Programme on the Health Effects of the Chernobyl Accident). Huvudsyftet för den genomförda pilotstudien var att assistera hälsomyndigheterna i de tre drabbade republikerna genom experter, utrustning, utbildning och informationsutbyte. I programmet ingick delprojekt som rörde leukemi, sköldkörtelcancer främst hos barn, hjärnskador hos barn som exponerats i fosterstadiet, och framtagande av epidemiologiska register. Resultaten från detta projekt redovisades vid en internationell konferens i Geneve i november 1995.

Sköldkörtelcancer hos barn

Innehållet av radioaktivt jod i sköldkörteln uppges ha mätts i närmare 300000 personer. Dock är mätresultaten av mycket varierande kvalitet. Dosrekonstruktioner har gjorts särskilt för barn och man har funnit stråldoser upp till ca 40 Gy till sköldkörteln. Följande bild visar antalet fall per år av sköldkörtelcancer hos barn som var under 14 år när olyckan inträffade. Bilden bygger på bekräftade data till och med 1994. Totalt är detta 565 fall. Antalet fall har dock fortsatt att öka och enligt preliminära uppgifter uppgår antalet fall vid slutet av 1995 till omkring 700.

Sköldkörtelcancer hos barn 1986-1994



Detta betyder antalet fall av sköldkörtelcancer per miljon barn och år ökat i Vitryssland från 1 till 36 om man jämför åren före Tjernobyli med år 1994. För den vitryska Gomel-regionen är ökningen 100-faldig. För Ukraina är ökningen från 0,5 fall per miljon före olyckan till 3,9 år 1992. Den största andel fall finns i norra Ukraina. I Vitryssland finns ca 2,3 miljoner barn under 14 år, och i Ukraina är motsvarande antal 12 miljoner (varav

2 miljoner uppges bo i områden med en deposition av Cs-137 överstigande 185 kBq/m²).

Större delen (95%) av sköldkörteltumörerna hos barn uppges vara invasiva och sprider sig till omgivande vävnad. Vid rätt behandling är prognosen vid sköldkörtelcancer normalt god. Det är svårt att få fram tillförlitliga uppgifter om hur många barn som kan ha dött av sin sjukdom. Uppgifter om tre till tio barn förekommer. Det är inte belagt att den mer aggressiva form av sköldkörtelcancer som observerats hos små barn är av nytt slag. Detta beror bland annat på att det finns för få dokumenterade fall bland små barn i världen att jämföra med. Data från England och Frankrike visar dock en tendens till att sköldkörtelcancer kan vara mer aggressiv hos små barn än hos äldre.

Preliminära, men ännu inte bekräftade data tyder på att antalet sköldkörtelcancerfall hos barn födda efter 1987 är lågt och jämförbart med situationen före 1986. Detta skulle styrka sambandet mellan den observerade höjningen av antalet fall av cancer och det radioaktiva utsläppet vid olyckan.

Med tanke på att risken för sköldkörtelcancer kan vara högre än vad man kan förvänta från tidigare erfarenheter så är det viktigt att försöka utreda betydelsen av de kortlivade jodisotoper (andra än I-131) som förekom i utsläppet och externstrålningens inverkan. Också betydelsen av jodbrist i området, genomförd jodprofylax (utdelande av jodtabletter), andra miljöfaktorer och genetiska betingade faktorer för canceruppkomsten är oklar.

Övriga cancerformer

Det finns inte några vetenskapliga undersökningar rörande befolkningen i kontaminerade områden som visar en ökning av frekvensen av andra cancerformer än sköldkörtelcancer, exempelvis leukemi som har en latenstid på 3-7 år, och som kan tillskrivas olyckan i Tjernobyl.

De utifrån stråldosdata teoretiskt beräknade antalet cancerfall till följd av Tjernobylolyckan är stort. I jämförelse med det totala antalet cancerfall som uppkommer av andra orsaker är emellertid det beräknade antalet fall relativt litet och kräver en långsiktig medicinsk och statistisk uppföljning för att eventuellt kunna påvisas.

Ärftliga skador till följd av Tjernobylolyckan förväntas inte kunna påvisas för kommande generationer.

Andra sjukdomar än cancer

I samband med den omfattande hälsokontrollen av befolkningen i de drabbade delarna av Vitryssland, Ukraina och Ryssland har antalet diagnosticerade sjukdomar ökat, men denna ökning har inte kunnat relateras direkt till strålning. Fyra miljoner människor bor i de mest kontaminerade områdena. Indirekt och i samverkan med andra faktorer som sociala, ekonomiska och politiska förändringar kan olyckan ha bidragit till en ökad sjuklighet genom bl.a. ökad stress och oro. Det är också troligt att den ökade medicinska övervakningen efter Tjernobylolyckan i sig förklarar en del av den observerade ökningen av antalet sjukdomar.

Flertalet av de sjukdomar som ökat anses inte vara strålningsinducerade. Hit hör exempelvis ämnesomsättningsrubbningar, mentala störningar, nervsjukdomar och magsjukdomar.

Saneringspersonal

Hälsokonsekvenserna för de 600000-800000 arbetare som deltog i uppröjningen runt Tjernobylreaktorn 1986 är oklar. Det finns uppgifter både om ökad sjuklighet och dödlighet och om minskad. Det finns idag inte några belägg för att röjningsarbetare som erhållit större stråldoser har visat en högre grad av sjuklighet. Det bedöms viktigt att följa upp saneringspersonalen särskilt vad avser framtida cancersjukdomar och deras samband med strålningsexponering efter olyckan. Detta kräver dock epidemiologiska studier över mycket lång tid, flera decennier, och i internationell samverkan. De vetenskapliga förutsättningarna för sådana studier har bedömts som goda.

Miljöeffekter mm

De mest omfattande miljöeffekterna finns i den utrymda 30-km zonen runt den havererade reaktorn.

De långsiktiga miljöeffekterna inom bebodda områden rör framförallt jordbruket och skogen medan effekterna på vattensystemen är mindre. Tio år efter olyckan är det Cs-137 och Sr-90 som är av radiologiskt intresse, och betydelsen av Sr-90 kan öka på sikt.

På de stora kollektiva jordbruken är vanligen koncentrationen av radioaktivt cesium i produkter som mjölk och kött under de gränsvärden som gäller. En bidragande orsak till detta är olika slag av insatta motåtgärder. På de små privatägda jordbruken kan däremot koncentrationen av cesium vara högre än gränsvärdet. Detta beror ofta på för litet utnyttjande av gödselmedel och dåliga jordar. Bland många småbrukare tycks det också finnas ett motstånd mot att utnyttja rekommenderade motåtgärder. Problemen gäller i första hand mjölk och kött.

Mer än 30000 km² skog erhöll en deposition av Cs-137 över 37 kBq/m² och för ungefär 1000 km² var nedfallet högre än 1500 kBq/m². Många skogsprodukter kan innehålla höga koncentrationer av Cs-137. Av särskild betydelse är svamp, men också vilda djur kan uppvisa höga koncentrationer. Utnyttjande av skogsträvaror har medfört problem.

Jämfört med andra exponeringsvägar är inte dricksvatten för närvarande ett problem. Man har emellertid uppmärksammat möjligheten av en framtida kontaminering av de dricksvattentäkter som finns i vattensystemet Pripjatfloden-Dnjepr. Dessa vattenvägar bedöms av vissa forskare som de viktigaste transportvägarna av radioaktiva ämnen från högbelagda till lågbelagda områden.

BEREDSKAP MOT FRAMTIDA OLYCKOR

Den nationella beredskap som idag finns i Sverige mot kärntekniska olyckor är uppbyggd för att kunna ta hand om olyckor som kan inträffa inom landet såväl som utomlands och vilka kan leda till en mer eller mindre landsomfattande radioaktiv förorening. Beredskapen omfattar alla nivåer i samhället - regeringskansli, centrala och regionala myndigheter och kommuner. Beredskapen är i stort ett resultat av erfarenheterna från reaktorhavariet vid det amerikanska kärnkraftverket Three Mile Island nära Harrisburg 28 mars 1979 och olyckan i Tjernoby 26 april 1986.

Målsättningen för beredskapen mot kärnenergiolyckor är att få en tidig varning och att snabbt kunna ge information om att en olycka inträffat. Målet är att förhindra akuta strålskador och undvika höga stråldoser under de första dagarna efter olyckan samt att lindra obefogade störningar i samhället. Dessutom skall den kollektiva stråldosen till befolkningen i ett längre tidsperspektiv efter ett omfattande radioaktivt utsläpp begränsas så långt som detta är rimligt möjligt och höga individuella stråldoser förhindras.

Länens beredskap

Som en följd av olyckan vid kärnkraftverket på Three Mile Island kom beredskapen i de fyra kärnkraftlänen väsentligt att utvidgas. Detta skedde efter att strålskyddsinstitutet genomfört en utredning i samråd med berörda länsstyrelser ("Effektivare beredskap" 1979/80), och att regeringen lagt en proposition därom (1980/81:90). Den kraftigt utvidgade beredskapen i kärnkraftlänen gällde främst utbildning för en beredskapsorganisation vid länsstyrelser och vissa centrala myndigheter, planering av mätverk-samhet i närområdet till kraftverken, sambandsmedel och en specificering av beredskapszoner.

Detta innebär att för området ut till 12-15 km från kärnkraftverken, den sk inre beredskapszonen, finns en beredskap att via tyfoner utomhus och telefon eller radio (RDS-mottagare) inomhus snabbt kunna ge larm till allmänheten om en olycka inträffar. Jodtabletter har delats ut till alla hushåll tillsammans med information och anvisningar om vad som skall göras i samband med ett larm. Lantbrukarna i beredskapszonen har fått vissa anvisningar om åtgärder för djurens skötsel och hanteringen av foder i händelse av en olycka. Länsstyrelsen har också en planering för en utrymning av beredskapszonen om detta skulle visa sig nödvändigt. Inom en indikeringszon, vilken omfattar området ut till 50 km från kraftverken, tränas räddningskåren för att kunna utföra strålningsmätningar med syftet att ge en första indikation om konsekvenserna av ett radioaktivt utsläpp och att snabbt upptäcka kraftigt förorenade landområden.

Det är länsstyrelsen som har ansvaret för den regionala beredskapsplaneringen samt uppgiften att informera och besluta om åtgärder för att skydda allmänheten vid kärntekniska olyckor. Länsstyrelsen har därför mandatet att uppdra åt t.ex. den kommunala räddningstjänsten, polisen, kustbevakningen, Sveriges Radio, SOS Alarm att genomföra de räddningstjänstinsatser som kan bli aktuella i samband med en kärnenergiolycka. Hur samverkan skall ske framgår av den plan för räddningstjänsten vid radioaktiva utsläpp som länsstyrelsen gör upp. För att träna denna beredskap genomförs olika övningar där länsstyrelsens beredskap övas tillsammans med kärnkraftverk och myndigheter som Statens strålskyddsinstitut (SSI), Statens kärnkraftinspektion (SKI), SMHI etc.

Tjernobylolyckan visade med all tydlighet att inget område kan undantas från möjligheten att drabbas av en radioaktiv förorening i samband med ett allvarligt reaktorhavari. Samtliga länsstyrelser har därför numera uppgiften att ha en beredskap för att kunna ge information till allmänheten, genomföra vissa strålningsmätningar, sambands-

utrustning och sanering. En sådan mer allmän beredskap mot strålningsolyckor vid samtliga länsstyrelser är främst med tanke på att såväl kärnkraftolyckor utomlands som inom landet kan medföra att stora landområden blir radioaktivt förorenade. Kärnkraftlänens beredskap är dock av naturliga skäl betydligt mer detaljerad och omfattande främst vad avser alarmering, jodtabletter, förhandsinformation till hushållen i beredskapzonen samt återkommande utbildning och övningar. En förstärkt beredskap finns vidare i Västerbottens län, med syftet att också kunna bistå angränsande län med tanke på de speciella problem som en radioaktiv beläggning kan medföra i norra Sverige. I Södermanlands län finns en särskild beredskap med anledning av forskningsreaktorn i Studsvik. Men denna beredskap är inte så omfattande som den i kärnkraftlänerna.

Tidig varning om en olycka

Som ett led i att få en tidig varning om en olycka inträffar utomlands har Sverige ingått överenskommelse med andra stater genom den internationella IAEA-konventionen om tidig varning och informationsutbyte i samband med kärntekniska olyckor. Dessutom finns bilaterala avtal om varning och informationsutbyte med de nordiska länderna, Tyskland och Ryssland. Sverige har avsikten att teckna avtal även med övriga stater runt Östersjön som Polen, Estland, Lettland och Litauen.

Som en följd av medlemskapet i EU har Sverige skyldighet att hålla en beredskap i händelse av en kärnenergiolycka för varning och informationsutbyte med övriga medlemsstater inom unionen. Detta informationsutbyte samordnas genom EU-kommissionen.

SSI och SKI har avtal och förberedda satellitförbindelser för att säkerställa en tidig varning med kärnkraftverken i Ignalina i Litauen, Sosnovy Bor i Ryssland och kärnkraftverket på Kola. Överenskommelse om varning och informationsutbyte finns också med myndigheterna i Murmansk.

För tillämpningen av avtalen om tidig varning svarar SSI och SKI. En central del i larmkedjan har SMHI i Norrköping med uppgiften att vara larmmottagare och vidarebefordra meddelanden till SSI, SKI och SRV.

Statens strålskyddsinstitutets beredskap

Riksdagens beslut om en utvidgad beredskap i Sverige som en följd av reaktorhaveriet i Harrisburg gav SSI en ny central roll inom kärnenergiberedskapen. SSIs uppgifter blev att analysera konsekvenserna av och att samordna rådgivningen till den berörda länsstyrelsen om en olycka skulle inträffa vid en anläggning i Sverige. För detta upprättade SSI en särskild analysgrupp. Genom analysgruppen kunde SSI och SKI samordna sina resurser förutom att bli SMHI och SRV ingick i analysgruppen.

Konsekvenserna av Tjernobylyolyckan täcktes emellertid inte av den beredskapsplanering som främst beaktade en olycka inom landet och åtgärder för mer begränsade landområden. Tjernobylyolyckan medförde att stora delar av Europa blev radioaktivt förorenat av den havererade reaktorn. Att en sådan situation skulle kunna uppstå var förutsett, men alla de problem som uppstår med krav på information och mätningar, förorenade livsmedel och grödor, rekommendationer om skyddsåtgärder är av så mångskiftande natur att det är svårt att i förväg planera för att ha en beredskap för lämpliga åtgärder. I rapporten "Effektivare beredskap" hade SSI betonat markbeläggningens stora betydelse för en långsiktig påverkan av ett utsläpp och att den största radiologiska konsekvensen av en reaktorolycka med omfattande utsläpp kunde väntas vara skador i form av cancer och ärftliga skador på stora avstånd. Beredskapsinsatser skulle dock inte vara lika ef-

fektiva som inom olycksplatsens närområde. Vidare betonades i utredningen att en markbeläggning med radioaktivt cesium skulle kunna medföra mycket långvariga problem för samhället.

När Tjernobylolyckan inträffade kunde inte den dåvarande beredskapsorganisationen svara upp till den mycket stora efterfrågan på information om olyckan och anvisningar om åtgärder som kom från myndigheter och allmänheten. Samordningen av de nationella mätnsresurser som fanns var också otillräckligt förberedd. Tillgång till mätnsresurser är en väsentlig förutsättning för att det på kort tid skall vara möjligt att få en överblick och ett tillräckligt detaljerat och rättvisande informationunderlag för att bedöma alla olika konsekvenser av en mer eller mindre landsomfattande radioaktiv beläggning. Även i ett längre tidsperspektiv efter en olycka är olika mätverksamheter av största vikt för att bedöma behovet av lämpliga åtgärder för att lindra konsekvenserna av ett utsläpp.

Nuvarande beredskap vid SSI har efter Tjernobylolyckan utformats för att snabbt kunna träda i funktion efter varning om en överhängande fara för eller inträffad kärnenergiolycka. Informationsberedskapen har utökats kraftigt och insatser gjorts för att nationella mätnsresurser skall kunna samordnas i en olyckssituation. I händelse av en olycka med utsläpp av radioaktiva ämnen ska SSIs beredskapsorganisation

- samordna rådgivningen från centrala myndigheter till länsstyrelser, andra myndigheter och organisationer;
- vidtaga åtgärder enligt åtagandena i internationella och bilaterala avtal;
- informera regeringen, myndigheter, massmedierna, allmänheten etc. om konsekvenserna från strålskyddssynpunkt av olyckan och de råd som getts och de åtgärder som i övrigt har vidtagits.

Nästan all personal vid SSI ingår i institutets beredskapsorganisation. För samverkan med andra myndigheter finns en samverkansgrupp med bl.a. SKI, SMHI, Statens livsmedelsverk, Statens jordbruksverk, Räddningsverket, Socialstyrelsen och Arbetarskyddsstyrelsen som de mest framträdande.

Vid myndigheter som Statens livsmedelsverk och Statens jordbruksverk finns dessutom förberedelser för att i händelse av en olycka inrätta en katastrofgrupp som utgörs av experter från myndighetens olika verksamhetsområden. Avsikten är att katastrofgruppen under verksamheten skall kunna besluta om åtgärder och ge information inom myndighetens ansvarsområde.

Förutom att SSI och SKI samordnar personal i en gemensam informationsenhet inom SSIs beredskapsorganisation finns det också en beredskapsorganisation vid SKI. Uppgiften för denna är att göra en teknisk analys av ett inträffat haveri och av olyckans förlopp för att bedöma när och hur länge ett radioaktivt utsläpp kan ske och dess omfattning (källterm). Om en olycka inträffar utomlands skall SKI genom sina kontakter med bl a motsvarande myndigheter i det land olyckan inträffat inhämta information om händelseförloppet och analysera och bedöma uppgifter om olyckans tekniska utveckling.

Tillsammans med socialstyrelsen har SSI organiserat en medicinsk expertgrupp. SSI skall med stöd av den medicinska expertgruppen utarbeta underlag för en bedömning av de medicinska konsekvenserna och de råd eller rekommendationer som behöver ges från myndigheternas sida. Socialstyrelsens uppgift är att sammanställa och till sjukvårdshuvudmännen och sjukhusens mottagningar förmedla den medicinska och annan informa-

tion som kan vara av betydelse för hälso- och sjukvårdens åtgärder i samband med ett radioaktivt utsläpp.

Efter Tjernobylyolyckan har SSI också inrättat en nationell expertgrupp för sanering. Avsikten är att denna expertgrupp skall vara en nationell resurs med en kunskap att kunna bistå länsstyrelserna med ett tekniskt och ekonomiskt underlag för beslut om lämpliga saneringsåtgärder. Detta gäller främst om en sanering av förorenade områden skulle bedömas som nödvändig att genomföra och när staten skall svara för kostnaderna.

Nationella mätresurser

Inom landet finns en rad olika resurser för strålningsmätningar som är värdefulla för att kunna användas samordnat i en beredskapssituation. Efter Tjernobylyolyckan fick SSI uppgiften att genom överenskommelser och avtal tillse att lämpliga mätresurser skulle finnas i den nationella beredskapen mot kärnenergiolyckor. Avsikten är att olika slag av mätningar och provtagningar skall kunna ske på ett samordnat sätt under SSIs ledning för att underlätta tolkningen av alla de olika mätresultat som erhålls. Avsikten är också att förbättra förutsättningen för SSIs rådgivning.

Mätning av strålnivån

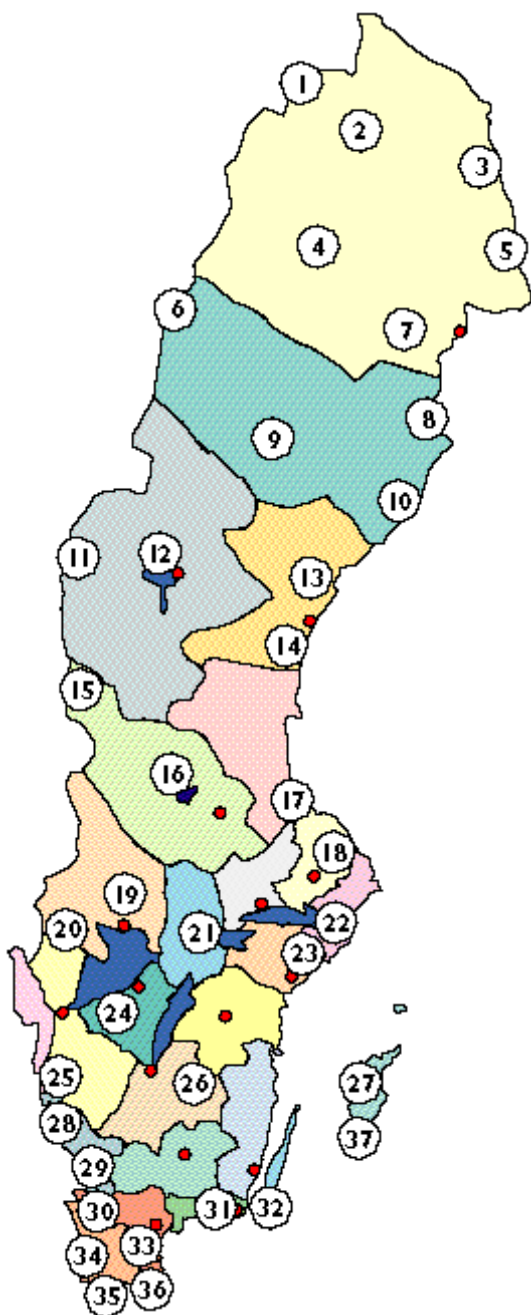
För att ge en tidig varning vid ökning av strålnivån i omgivningen (dosraten från gammastrålning) har SSI ett nätverk med 37 mätstationer fördelade över hela landet (se bild). Dessa registrerar kontinuerligt strålnivån. De första mätstationerna sattes upp redan 1959 med syftet att övervaka uppbyggnaden av radioaktiva ämnen i naturen från de kärnvapentester som på den tiden utfördes i atmosfären. Efter Tjernobylyolyckan har mätstationerna moderniserats och nätverket kompletterats med ett tiotal nya stationer. Om strålnivån ökar utöver den inställda larmnivån ger stationerna automatiskt larm till SSI förutom till den tjänstgörande strålskyddsinspektör som alltid finns tillgänglig och kan kvittera ett larm. Strålskyddsinstitutet har också tillgång till mätdata från mätstationer som finns i övriga nordiska länder. Denna samverkan mellan beredskapsmyndigheterna i de nordiska länderna medför att SSI även kan få mätdata från ett tiotal mätstationer som Finland och Norge har satt upp på Kola.

Luftfiltermätningar

Vid försvarets forskningsanstalt (FOA) finns en expertgrupp för strålningsdetektion med uppgiften att övervaka förekomsten av luftburna radioaktiva ämnen över Sverige. FOA har åtta luftfilterstationer för att samla in luftprover. Genom ett glasfiberfilter filteras ca 1000 kubikmeter luft eller mer per timme. Utvärderingen av luftproverna görs vid FOAs mätlaboratorium i Ursvik utanför Stockholm. Med den använda metodiken kan mycket små och långsamma förändringar av olika radioaktiva ämnen i luften påvisas. Metoden är betydligt känsligare för att upptäcka förändringar av strålmiljön än SSIs mätstationer men fordrar tid för provinsamling och utvärdering och är därmed långsammare. FOAs och SSIs nätverk av mätstationer är därför ett komplement till varandra. Efter Tjernobylyolyckan har nätverket utökats av SSI med en luftfilterstation på Gotland. FOA svarar för driften också av denna station.

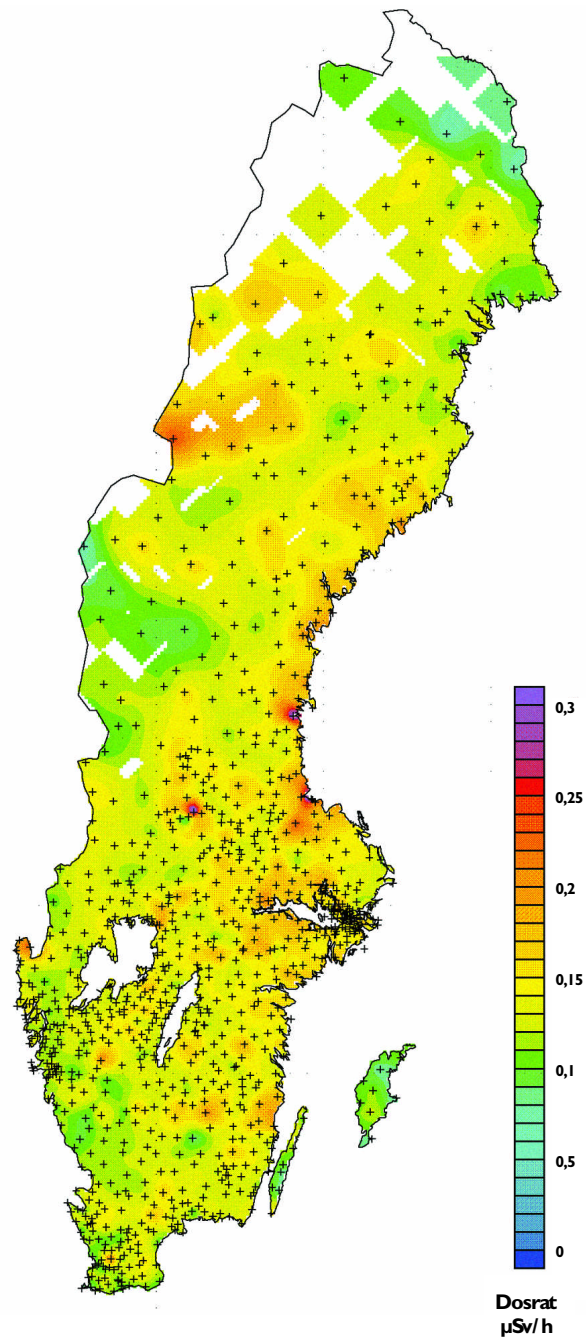
Flygmätningar

I samband med Tjernobylyolyckan genomfördes omfattande flygmätningar för att kartlägga den radioaktiva föroreningen över Sverige. Flygmätningar är en kraftfull



SSI:s fasta mätstationer

- | | | |
|--------------|---------------|-----------------|
| 1 Katterjåkk | 14 Njurunda | 27 Visby |
| 2 Kiruna | 15 Idre | 28 Ringhals |
| 3 Pajala | 16 Mora | 29 Halmstad |
| 4 Tjåmotis | 17 Gävle | 30 Ljungbyhed |
| 5 Övertorneå | 18 Alunda | 31 Ronneby |
| 6 Hemavan | 19 Gustafsfor | 32 Ölands södra |
| 7 Älvsbyn | 20 Blomskog | udde |
| 8 Skellefteå | 21 Örebro | 33 Everöd |
| 9 Ulvoberg | 22 SSI Solna | 34 Malmö |
| 10 Umeå | 23 Åda | 35 Smygehamn |
| 11 Storlien | 24 Skara | 36 Sandhammaren |
| 12 Tång | 25 Landvetter | 37 Hoburgen |
| 13 Bredbyn | 26 Eksjö | |



Sveriges kommuners mätningar av gammastrålning

Resultat från kommunernas referensmätningar av dosrat som utförs var sjunde månad. Figuren visar medelvärdet under sommarperioden.

metod för en kartering av radioaktiv markbeläggning av stora landområden. Denna verksamhet fordrar emellertid tränad expertis och speciell utrustning för navigering, datainsamling och behandling av data samt produktion av kartor. Kompetens och erfarenhet för denna typ av mätningar finns vid Sveriges geologiska undersökning (SGU) och genom ett samverkansavtal med SSI är detta en viktig komponent i den nationella mätberedskapen.

Kommunernas mätningar

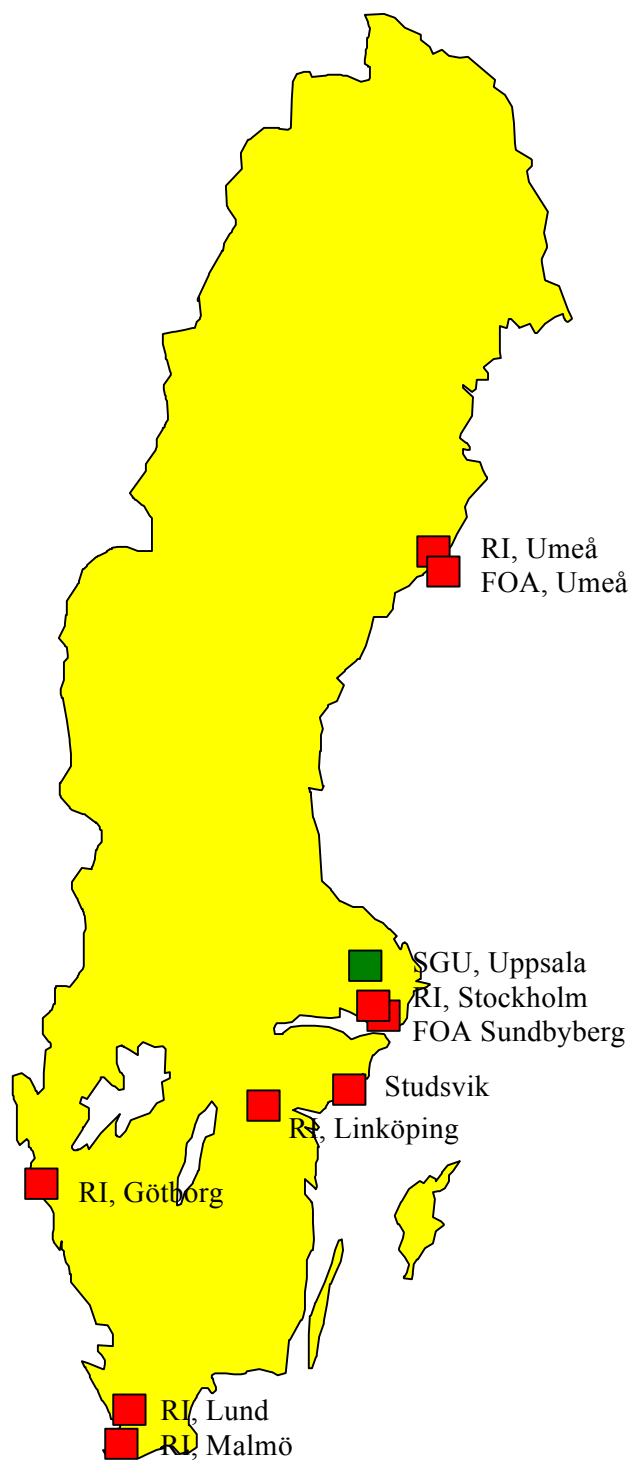
Efter Tjernobyloolyckan har samtliga länsstyrelser och kommuner tilldelats egna mätinstrument för mätning av gammastrålning. Det finns minst ett instrument i varje kommun och två hos varje länsstyrelse. Syftet med dessa mätningar är att varje kommun och länsstyrelse skall kunna utföra egna mätningar av strålnivån och därmed få ett underlag för att kunna informera sina invånare om situationen i sin kommun och län. Tjernobyloolyckan visade att avsaknaden på ett sådant underlag för information till allmänheten medförde att kommuner och länsstyrelser vände sig till strålskyddsinstitutet med detaljfrågor om mätresultat som inte fanns att tillgå. Detta skapade både oro och irritation över att myndigheterna inte kunde svara upp till ett sådant informationsbehov. Det är också rimligt att allmänheten kan få information om strålnivån från sin kommun eller länsstyrelse.

Som ett led att uppehålla en god kvalitet på mätningarna utför kommunerna referensmätningar var sjunde månad i två till fyra förberedda mätpunkter (se bild). Kommunerna rapporterar sina mätvärden till länsstyrelsen som i sin tur rapporterar dessa till SSI för mer landsomfattande sammanställningar och bearbetningar av mätvärdena. Koordinater och tidigare mätvärden finns inlagda i en databas med mellan 800 och 900 mätpunkter över landet. Detta ger en bild av bakgrundsstrålningens variationer med årstiden såväl som variationer över landet. En förändring motsvarande en 50% ökning av strålningsnivån kan registreras med denna metod. Vid ett hot om en radioaktiv beläggning kan kommunerna utföra mätningar ofta och efter ett nedfall kommer det att vara möjligt att efter något dygn få en första landsomfattande överblick om vilka områden som har berörts och dit kvalificerade mätresurser bör styras.

Kvalificerade mätresurser

Vid en olycka svarar SSI för ledning av provtagning och mätningar för att myndigheterna efter ett nedfall skall få ett underlag för att kunna informera om strålningsläget och besluta om de åtgärder som kan behövas på kort och lång sikt. För denna verksamhet har SSI samordnat olika kvalificerade nationella mätresurser för laboratoriemätningar och mätningar i fält. Detta betyder att för närvarande ingår tio olika forskningslaboratorier vid universitetens institutioner för radiofysik, FOA, Studsvik och SSI i den nationella beredskapen. Dessutom finns vid kärnkraftverken kvalificerad utrustning och personal som är förberedda för att kunna medverka i den nationella mätberedskapen. På begäran skall ett kärnkraftverk inom tio timmar kunna sända en mätpatrull med två strålskyddstekniker och mätutrustning till ett annat län i händelse av en olycka i ett svenskt kärnkraftverk.

Kontraktslaboratorier för mätningar vid kärnenergiolycka



Utbildning och övning

För att upprätthålla den nationella beredskapen mot kärnenergiolyckor genomförs regelmässigt utbildning och övningar för den berörda personalen. I detta sammanhang har SRV uppgiften att organisera och genomföra utbildning för beslutsfattare och handläggare vid länsstyrelserna. Detta sker under medverkan av andra expertmyndigheter som t. ex. SSI, SKI och SJV. Särskilda kurser inom mätteknik och strålskydd har genomförts av SSI för personal från länsstyrelser och kommuner.

En gång per år genomförs en så kallad totalövning där ett kärnkraftverk, länsstyrelse och myndigheter som SSI, SKI och SMHI övas samtidigt. Utvärderingen av dessa övningar sker i räddningsverkets regi. SRV utövar dessutom tillsyn av länens beredskapsplanering.

Ett flertal projekt drivs också i SSIs regi, under medverkan av SKI och SRV, för att aktivt stöda uppbyggnaden av beredskapen mot fredstida kärntekniska olyckor i de baltiska staterna och för att utbilda och öva personal som har uppgiften att där ansvara för och arbeta med beredskapsfrågor.

Sverige deltar även i olika internationella och nordiska övningar, verksamheter som kraftigt ökat i omfattning efter Tjernobylyckan.

NÅGRA REFERENSER

Detta är ett urval av de viktigaste referenserna som utnyttjats i ovanstående översikt

Sverige

EDVARSON, K. External doses in Sweden from the Chernobyl accident. In: The Chernobyl fallout in Sweden. (MOBERG, L., Ed.). The Swedish Radiation Protection Institute, Sweden (1991) 527-545.

FALK, R., EKLUND, G., GIERTZ, H., and ÖSTERGREN I., Cesium in the Swedish population after Chernobyl: Internal radiation, whole-body counting. In: The Chernobyl fallout in Sweden. (MOBERG, L., Ed.). The Swedish Radiation Protection Institute, Sweden (1991) 547-577.

HJALMARS, U., KULLDORFF, M., and GUSTAFSSON, G., Risk of acute childhood leukaemia in Sweden after the Chernobyl reactor accident, *BMB09* (1994) 154-157

JOHANSSON, K.J., Underlag till figurerna om koncentrationen av Cs-137 i älg och rådjur.

JOHANSSON, L., WICKMAN, G., ÅGREN, G., ERIKSSON, A., JONSSON, H. and TAVELIN B. Distribution of Radiocaesium in the population of northern Sweden 1988-1993, *Radiat. Prot. Dosim.* 62 (1995) 203

LINDELL B., Strålrisker och Tjernobylyolyckan, *Vår Föda*, Volym 38 Supplement 3 (1986).

MOBERG, L., The Chernobyl fallout in Sweden. Results from a research programme on environmental radiology, Stockholm (1991), ISBN 91-630-0721-5

MOBERG L, FALK R, MELLANDER H, EDVARSON K, and NYBLOM L. Long term health effects of the Chernobyl accident in Sweden. Contribution to the Conference One decade after Chernobyl, Vienna 8-12 April 1996

MÖRE, H., BECKER, W., FALK, R., BRUGÅRD KONDE, Å., and SWEDJEMARK, G.A., Food basket investigation autumn 1994. Swedish Radiation Protection Institute, SSI Report 95-22 (1995) ISSN 0282-4434.

OLOFSSON, L., and SVENSSON, H., The Chernobyl accident. Transport of radionuclides to man living in northern Sweden, *Acta Oncol* 27 (1988) 841-849

SOU 1995:22. Radioaktiva ämnen slår ut jordbruket i Skåne. Delbetänkande av Hot och Riskutredningen.

ÅHMAN, B., Radiocaesium in reindeer after fallout from the Chernobyl accident, PhD Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala (1994)

ÅGREN, G., DROTT-SJÖBERG, B-M., ENANDER, A., BERGMAN, R. and JOHANSSON, K.J., Radioactive caesium in hunters and their families, National Defence Research Establishment (FOA), Umeå, Sweden (1995) Report FOA-R--95-00196-4.3--SE, ISSN 1104-9155

Ukraina, Vitryssland och Ryssland

EU. The radiological consequences of the Chernobyl accident. Proceedings of the first international conference. Minsk, 18-22 March 1996.

IAEA. Summary report on the post-accident review meeting on the Chernobyl accident. Safety Series no 75-INSAG-1, 1986

IAEA. The Chernobyl accident. Updating of INSAG-1. Safety Series no 75-INSAG-7, 1992

IAEA. Det internationella Tjernobylprojektet. 1991

OECD/NEA. Sarcophagus safety '94: The state of the Chernobyl nuclear power plant unit 4. Paris 1994.

OECD/NEA. Chernobyl - Ten years on. Radiological and health impact. Paris 1996.

UNSCEAR. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. Annex D: Exposures from the Chernobyl Accident. pp 309-374 (United Nations, New York) 1988

WHO. Health consequences of the Chernobyl accident. Results of the IPHECA pilot projects and related national programmes. Summary Report. Geneva 1995.

KORT ORDLISTA

Storheter och termer

Aktivitet

Antalet atomkärnor som sönderfaller per tidsenhet i en given mängd radioaktivt material. Enheten för aktivitet kallas becquerel (Bq)

1 Bq = ett sönderfall per sekund

Curie

Äldre enhet för aktivitet där 1 curie (Ci) = 37 gigabecquerel (GBq)

Några vanliga prefix (betydelsebärande förstavelse)

peta	P	10^{15}
tera	T	10^{12}
giga	G	10^9
mega	M	10^6
kilo	k	10^3
milli	m	10^{-3}
mikro	μ	10^{-6}

Exempel: 8PBq = $8 \cdot 10^{15}$ becquerel och 3mSv = $3 \cdot 10^3$ sievert

Absorberad dos

Strålningsenergi per massa som har tagits upp i en för joniserande strålning utsatt kropp.

Enheten för absorberad dos kallas gray (Gy). (1 Gy = 1 joule/kg)

Biologisk halveringstid

Den tid det tar innan ett ämne till hälften har försvunnit ur ett organ eller en levande organism

Ekvivalent dos

Produkten av absorberad dos i ett organ eller vävnad och en faktor som anger effektiviteten hos olika strålslag att orsaka biologisk skada. För gammastrålning är denna faktor 1 och för alfastrålning 20.

Enheten för ekvivalent dos kallas sievert (Sv).

En ekvivalent dos av en sievert (1 Sv) orsakar samma biologiska effekt oavsett strålslag.

Effektiv dos

Summan av produkterna av ekvivalent dos och en viktningsfaktor för olika organ i kroppen.

Enheten för effektiv dos kallas sievert (Sv).

Effektiv dos är den storhet som är bäst relaterad till risken för cancer efter bestrålning.

Ekologisk halveringstid

Den tid det tar för koncentrationen av ett radioaktivt ämne att minska till hälften då man tagit hänsyn både till omgivningens påverkan, ekologiska processer och fysikaliskt sönderfall

Extern bestrålning

Bestrålning av biologiskt objekt med strålkälla som befinner sig utanför objektet.

Fysikalisk halveringstid

Den tid det tar för hälften av antalet atomer i ett radioaktivt ämne att sönderfalla

Intern bestrålning

Bestrålning av biologiskt objekt med strålning från radioaktiva ämnen som befinner sig inne i objektet.

Invasiv

(Om tumörer) sprider sig lokalt eller växer utanför sin ursprungsvävnad.

Joniserande strålning

Strålning i form av partiklar eller elektromagnetiska "vågpaket" (fotoner) med sådan energi att de kan orsaka jonisation, dvs slå ut elektroner från atomer eller molekyler och därmed orsaka kemiska förändringar i bestrålat material.

Jodprofylax

Förhindrande eller förebyggande av att sköldkörteln tar upp radioaktiv jod.

Kollektivdos

Den genomsnittliga stråldosen per individ i en grupp, multiplicerad med antalet personer i gruppen. Enheten för kollektivdos kallas mansievert (manSv).

Tidiga (akuta) strålskador

Tidiga strålskador uppstår när så många celler har skadats att en vävnad eller organ inte kan fungera normalt. För sådana skador finns ett tröskelvärde på stråldosen, under vilket ingen skada framträder. Ovanför tröskelvärdet ökar skadornas allvarlighet med stråldosen.

Vid stråldoser över 1 000 mSv uppträder symptom som illamående, kräkningar och diarré och den bestrålade kan riskera att dö till följd av skador på benmärgens blodbildande organ. Med god medicinsk vård har man 50 procent chans att överleva en stråldos på 3 000 mSv. Om stråldosen till hela kroppen överstiger 6 000 mSv är möjligheten att överleva liten.

Sena strålskador

Skadas en cell av strålning kan den långt senare, tiotals år, ge upphov till cancer därav benämningen sena skador. Skadorna uppträder slumpartat med en frekvens som ökar med stråldosen. Skadans allvarlighetsgrad är oberoende av stråldosen. Uppskattningsvis ökar risken att dö av cancer inom 50 år med ungefär 0,1 procent vid en extra stråldos om 20 mSv. Om dosen fördubblas bedöms risken öka till det dubbla. Denna riskökning kan jämföras med att ungefär 20 procent av den svenska befolkningen dör i någon form av cancer.

Radioaktiv strålning

Oegentlig benämning på joniserande strålning

Förkortningar

OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OECD/NEA	OECDs Nuclear Energy Agency
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
WHO/IPHECA	World Health Organisation/International Programme on the Health Effects of the Chernobyl Accident
FOA	Försvarets forskningsanstalt
SGU	Sveriges geologiska undersökning
SJV	Statens jordbruksverk
SKI	Statens kärnkraftinspektion
SLV	Statens livsmedelsverk
SMHI	Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
SRV	Statens räddningsverk
SSI	Statens strålskyddsinstitut
RDS	Radio Data System