



r

SSI Rapport

SSI report

2003:23 LARS MALMQVIST et al.

*Strålskydd vid
svenska kärnkraftverk
under perioden 1994-2002, samt
reflexioner om kommande utveckling*



Statens strålskyddsinstitut
Swedish Radiation Protection Authority

AUTHOR/ FÖRFATTARE: Stig Erixon, Thommy Godås, Peter Hofvander, Ingemar Lund, Lars Malmqvist, Ingela Thimgren och Hanna Ölander Gür.

AVDELNING/ DEPARTMENT: Avdelningen för personal och patientstrålskydd/ Department of Occupational and Medical Exposures.

TITEL/ TITLE: Strålskydd vid svenska kärnkraftverk under perioden 1994-2002, samt reflexioner om kommande utveckling/ Radiation protection actions at Swedish nuclear power plants 1994-2002 and some reflections about the near future

SAMMANFATTNING: I rapporten beskrivs utvecklingen under åren 1994-2002 av omvärldsfaktorer och utveckling av strålskyddsarbetet inom den svenska kärnkraftindustrin. Åtgärder för att reducera strålnivåer i reaktorsystemen, utfall av stråldoser till personal, samt reflexioner om utvecklingen presenteras.

SUMMARY: This report provides a summary of radiation protection experiences over the years 1994-2002 in the Swedish nuclear power industry. Actions to reduce radiation levels in reactor systems, occupational exposure results and some reflections about the near future are presented.

SSI rapport: 2003:23

december 2003

ISSN 0282-4434



Innehållsförteckning

INLEDNING.....	3
SLUTSATSER.....	4
OMVÄRLDEN	7
OMVÄRLDSFAKTORER.....	7
INTERNATIONELLA ORGAN	7
AVVECKLING.....	9
AVREGLERING AV ELMARKNAD.....	10
MILJÖKRAV	10
MYNDIGHETSKRAV	11
TIDIGARE STRÅLSKYDDSFÖRHÅLLANDEN	12
ÖKADE KRAV.....	12
STRÅLKÄLLOR.....	12
ANLÄGGNINGSHISTORIA OCH INTRESSANTA ARBETEN	13
<i>Barsebäcksverket</i>	13
<i>Forsmarksverket</i>	15
<i>Oskarshamnsverket</i>	15
<i>Ringhalsverket</i>	17
ÅTGÄRDER FÖR ATT BEGRÄNSA STRÅLDOSER.....	19
FORSKNING OCH UTVECKLING	19
ADMINISTRATIVA ÅTGÄRDER	21
TEKNISKA ÅTGÄRDER	26
NUVARANDE STRÅLSKYDDSFÖRHÅLLANDEN.....	32
ALLMÄNT	32
REVIDERADE KRAV	35
BEGRÄNSNING AV STRÅLDOSER	36
FRAMTIDEN	39
TEKNISKA ÅTGÄRDER	39
MODERNISERINGSKRAV	40
KOMPETENS OCH UTBILDNING	40
ORGANISATION	42
UNDERHÅLLSINSATSER VS EKONOMI OCH STRÅLDOSER	43
POLITISKA FAKTORER	43
REFERENSER.....	45

Figurförteckning

<i>Figur 1. Internationell jämförelse mellan kollektivdoser vid kokarreaktorer i olika länder</i>	12
<i>Figur 2. Antal personer vid svenska kärnkraftverk som har fått doser över 15 mSv 1986-2001</i>	13
<i>Figur 3. Kollektivdoser vid Barsebäcksverket</i>	14
<i>Figur 4. Kollektivdoser vid Forsmarksverket</i>	15
<i>Figur 5. Kollektivdoser vid Oskarshamnsverket</i>	17
<i>Figur 6. Kollektivdoser vid Ringhalsverket</i>	18
<i>Figur 7. Årlig stråldos till personal vid svenska kärnkraftverk</i>	33

Inledning

Statens strålskyddsinstitut, SSI, skrev 1994 på regeringens uppdrag en sammanställning över strålskyddsläget vid de svenska kärnkraftverken (SSI-rapport 94-14). Stråldoserna till underhålls- och servicepersonal på de svenska kärnkraftverken började i inledningen av 1990-talet öka från att sedan starten av det svenska reaktorprogrammet ha legat på en internationellt sett låg nivå. SSI uppmärksammade omgivningen på denna utveckling vilket ledde till att regeringen gav SSI i uppdrag att undersöka bakomliggande orsaker. 1994 presenterade SSI en rapport för regeringen och kunde där konstatera att huvuddelen av problemen stod att finna hos kokvattenreaktorerna (*boiling water reactor*, BWR), medan förhållandena vid tryckvattenreaktorerna (*pressurized water reactor*, PWR) inte visade på någon anmärkningsvärd förändring. Det framgick även att det förekom en fortsatt ökning av strålnivåerna i reaktorerna och att detta, i kombination med att stora reparations- och underhållsarbeten genomfördes, förorsakade höga stråldoser till personalen. Även andra förhållanden av betydelse för strålskyddet, som skillnader i systemutformning hos de tre olika generationerna för kokvattenreaktorer som ingår i det svenska reaktorprogrammet belystes.

Då SSI uppmärksammade de ökande personaldoserna inleddes särskilda överläggningar med kraftindustrin om insatser för att bryta utvecklingen. En målmedveten satsning med engagemang från kraftverkens högsta ledningar initierades beträffande såväl tekniska som administrativa åtgärder. Under perioden ställdes även krav från SSI i nya föreskrifter, SSI FS 1994:2, på att speciella dosreduktionsprogram skulle upprättas vid anläggningarna och att personalens strålskyddsutbildning skulle utvidgas för vissa personalkategorier.

SSI:s rapport från 1994 avslutas med konstaterandet att tillståndshavarna vid tidpunkten hade vidtagit, och också fortsatte att vidta, kraftfulla åtgärder för att bryta dosutvecklingen vid anläggningarna. Bedömningen som SSI gjorde vid tillfället då rapporten skrevs var att vidtagna och planerade åtgärder skulle komma att leda till förbättring av strålskyddsläget vid reaktorerna. Dock konstaterade SSI att det sannolikt skulle komma att ta flera år innan åtgärderna fått fullt genomslag i sänkta strålnivåer och stråldoser. Slutligen konstaterades att framtida ombyggnads- och säkerhetsåtgärder med ogynnsam påverkan på dosutvecklingen inte kunde uteslutas.

Det har nu gått nio år sedan sammanställningen gjordes av SSI, och i denna rapport beskrivs den fortsatta utvecklingen. Rapporten innehåller också en analys av effekter av vidtagna åtgärder under perioden och en beskrivning av nuvarande läge beträffande strålskyddet vid anläggningarna. Slutligen innehåller rapporten ett försök att uttolka framtida utmaningar, samt hur dessa eventuellt kan påverka inriktning och behov av framtida insatser av såväl kärnkraftindustrin som SSI.

Slutsatser

Under början av 1990-talet uppmärksammade SSI ett trendbrott i doserna till personalen vid de svenska kokarreaktorerna. SSI påtalade i en rapport till regeringen år 1994 att stråldoserna hade ökat och låg i nivå med doserna i utlandet från att tidigare legat på en internationellt låg nivå. Orsakerna till att doserna ökat var dels stora säkerhetshöjande ombyggnadsarbeten, dels förändrad inriktning av provningsverksamheten. En rad åtgärder, både administrativa och tekniska, för att förbättra strålskyddsförhållandena vidtogs av kärnkraftsindustrin och SSI.

I föreliggande rapport beskrivs utvecklingen under de senaste nio åren. Här redovisas vidtagna administrativa satsningar som till exempel utökad strålskyddsutbildning, ändrade dosgränser, bättre planering, ändrade underhållsrutiner och forskningsinsatser. Vidare beskrivs under perioden genomförda tekniska åtgärder som till exempel utbyte av material i rör och ventiler, kemisk rengöring, ändring av vattenflöden och vattenkemi, nykonstruktion av reaktornära rörsystem och förebyggande av bränsleskador.

SSI kan konstatera att de vidtagna åtgärderna har resulterat i sänkta stråldoser för personalen och sänkta strålnivåer i anläggningarna. Den totala årliga stråldosen för personal vid de svenska kärnkraftverken har sjunkit från en nivå runt 20 manSv i början av 1990-talet till att i slutet på perioden vara cirka 10 manSv. Medelvärdet av stråldosen till den personal som arbetade vid kärnkraftverken var under perioden 1999 – 2001 runt 2 mSv att jämföra med 3 – 4 mSv under perioden 1994 – 1997. Strålnivåerna har minskat bland annat till följd av aktiva insatser för att förhindra produktion och spridning av radioaktiva ämnen i reaktorsystemen. Kärnkraftsindustrin har även, i större omfattning än tidigare, tillämpat metoder för rengöring av reaktorsystem vid ombyggnadsarbeten, service och reparationer.

SSI vill understryka att dosutfallet under den senare delen av 1990-talet kunde ha varit betydligt högre än under början av 1990-talet om inga åtgärder vidtagits. Även under år med högre stråldoser, på grund av omfattande ombyggnadsarbeten vid några verk, har ett gott strålskyddsarbete bedrivits och vidtagna åtgärder har förhindrat ett än större dosutfall.

I strålskyddsarbetet är det i många fall så att de eftersträvade ”dosvinsterna” har kunnat uppnås genom att man har byggt upp hög kompetens och erfarenhet inom sina personalgrupper och genom att ledningen för respektive anläggning har stärkt strålskyddsarbetet genom engagemang för långsiktiga satsningar. Det är svårt, även efteråt, att välja ut enskilda åtgärder eller enskilda insatser som de mest betydelsefulla för att ett visst resultat har uppnåtts. SSI har valt att redovisa erhållna erfarenheter genom att välja ut några nyckelord: kompetens, erfarenhetsutbyte, förebyggande åtgärder och långsiktighet, som sammanfattar de senaste årens verksamhet och som samtidigt kan utgöra ledord för arbetet under kommande år.

Kompetens

En förutsättning för ett gott strålskyddsarbete är att personalen vid kärnkraftverket är medveten om strålningens risker, vad som kan göras för att motverka och förhindra onödig exponering för strålning och vad ett gott strålskydd innebär. SSI har i rapporten pekat på betydelsen av den utökade strålskyddsutbildning som införts vid de svenska

verken. Medvetenheten har stegvis ökat samtidigt som arbetet med att sänka strålnivåer och stråldoser har fortskridit och sakfrågorna diskuterats på arbetsplatserna.

Intresset för strålskydd ökade i samband med många omfattande och doskrävande arbeten genomförda under 1990-talet. Speciellt har detta varit fallet för mekaniker, isolerare, provningspersonal och strålskyddare eftersom personer från dessa yrkeskategorier i flera fall fått högre stråldoser än övrig personal. I enkätundersökningar och andra sammanhang har SSI fått bekräftat att entreprenörspersonal uppskattat den utökade strålskyddsutbildningen och den information de får av skyddspersonalen vid kärnkraftverken.

SSI understryker vikten av att chefer på olika nivåer deltar i säkerhetsarbetet och genom handling visar att säkerhet och strålskyddsfrågor är prioriterade verksamheter. SSI pekar på betydelsen av det engagemang som chefer på olika nivåer vid kärnkraftverken visat för arbetet med att sänka strålnivåer och förebygga höga stråldoser.

Erfarenhetsutbyte

En viktig del i strålskyddsarbetet är att kontinuerligt utbyta erfarenheter om arbetsmetoder och inträffade händelser såväl inom som utanför den egna anläggningen. I rapporten redogör SSI för olika nationella och internationella organ och nätverk för erfarenhetsutbyte och så kallad "bench-marking". Ett exempel är det av FN-organet IAEA och OECD/NEA, gemensamt drivna ISOE (*Information System of Occupational Exposure*), en databas för utbyte av dosstatistik, information, teknikfrågor med mera.

SSI pekar på vikten av öppenhet och transparens i verksamheten, något som främjar att missförhållanden rapporteras tidigt, att goda idéer tillvaratas och att förbättringar sker. I den säkerhetskultur som råder inom svensk kärnkraftindustri har sedan länge ingått att inträffade händelser och erfarenheter från utförda arbeten rapporteras, samlas och analyseras. Kommunikation, extern såväl som intern, ska vara generös och ingå som en självklar del i verksamheten.

För att värna om öppenheten i organisationen gäller det att tillvarata den viktigaste resursen, medarbetarna. Det är viktigt att se till att människor medverkar i strålskyddsarbetet och känner sig delaktiga i verksamheten. Därför måste rutiner finnas som underlättar för medarbetare att informera vidare när något hänt utan att de behöver känna rädsla för att ifrågasättas eller utsättas för bestraffning. Såväl kärnkraftorganisationerna som myndigheterna bör verka för att denna öppenhet kan vidmakthållas.

Förebyggande åtgärder

Ett gott strålskydd främjas av förebyggande åtgärder. Till dem hör arbetet med att hålla så låga strålnivåer som rimligt möjligt i anläggningen, det vill säga att förhindra spridning och deponering av radioaktiva ämnen i reaktorsystemen. I föreliggande rapport pekar SSI på förebyggande åtgärder såsom förbättringar i driftsätt, materialval och optimerad vattenkemi som alla lett till lägre strålnivåer. Utbyte och förbättringar av olika reaktorsystem, optimering av provning och underhållsprogram är exempel på andra vidtagna åtgärder.

Ett faktum värt att belysa är att strålskyddsfrågor nu beaktas i ett tidigare stadium av verksamhetens planering. Även detta är ett exempel på förebyggande verksamhet. Tidigare var ofta strålskydd något som kopplades in relativt sent i projekt eller

verksamheter när utformning, omfattning och tidsplan var bestämda och det praktiska arbetet skulle starta.

Långsiktighet

För att kunna göra investeringar, såväl tekniska som kompetenshöjande, i ökad säkerhet och bättre strålskydd, krävs framförhållning men också långsiktighet. SSI pekar på behovet av att undvika korta tidsperspektiv när det gäller säkerhetsåtgärder och att vi redan idag måste försöka att förutse och möta framtida behov. Viktiga områden är kompetenssäkring, forskning, teknikutveckling och investeringar.

På det politiska planet pekar SSI på vikten av de nu förda förhandlingarna mellan kärnkraftsindustrin och den svenska regeringen i syfte att finna en form för den fortsatta driften av de svenska kärnkraftverken och deras framtida stängning. Detta för att motverka osäkerhet och kortsiktig planering vad gäller underhålls-, reparations- och moderniseringsåtgärder. Det är SSI:s erfarenhet att långsiktighet och god framförhållning bidrar till ett gott strålskydd.

Avslutningsvis gör SSI bedömningen att väsentliga åtgärder för att förbättra förhållandena vid de svenska kärnkraftverken har genomförts under perioden. Vidare bedömer SSI att strålskyddsläget vid de svenska kärnkraftverken är gott, men anser det viktigt att industrin fortsätter att prioritera strålskyddsområdet. Ledorden här är kompetens, erfarenhetsutbyte, förebyggande åtgärder och långsiktighet.

Omvärlden

Omvärldsfaktorer

Strålskyddet vid kärnkraftverken påverkas av en rad olika faktorer. I första hand ingår faktorer som mål, ambition och styrning från ledningen, intresse och engagemang genom hela organisationen samt individens eget intresse för strålskydd, faktorer som kan styras eller kontrolleras inom anläggningarnas verksamhet. Utöver dessa finns även en rad faktorer från omvärlden som direkt, eller i de flesta fall indirekt, påverkar strålskyddet vid de svenska kärnkraftverken. I detta avsnitt ges en beskrivning av de yttre faktorer som SSI anser är eller har varit relevanta för strålskyddet vid kärnkraftverken.

Internationella organ

ICRP

Arbetsätt, filosofi och metodik inom strålskyddsområdet är i högsta grad baserade på internationellt utarbetade värderingar. Strålskyddet bygger främst på den Internationella strålskyddskommissionens, ICRP:s tre grundprinciper om *Berättigande*, *Optimering* och *Dosbegränsningar* [1]. SSI och tillståndshavarna har således samma grundläggande mål, vilket utgör en idealisk situation med avseende på kommunikation och ömsesidig förståelse [2]. Utöver den internationella vägledning avseende normer och strålskyddsfilosofi som ges av ICRP och i viss mån de resultat som tas fram inom FN:s vetenskapliga strålningskommitté, UNSCEAR, finns ett antal andra internationella organ vars arbete direkt eller indirekt påverkat strålskyddsarbetet vid de svenska kärnkraftverken.

EU

I och med Sveriges EU-inträde 1995 underställde sig Sverige EU:s lagar. På det kärntekniska området gäller Euratomfördraget från den 1 januari 1958. Fördraget syftade till att skapa en gemensam politik för att utveckla den fredliga användningen av kärnkraft i medlemsländerna. Euratomfördraget reglerar bland annat säkerhetsfrågor, forskning och utveckling på kärnkraftsområdet. Medlemsländerna ska följa EU-förordningar och i den nationella lagstiftningen införa de anvisningar och bestämmelser som den Europeiska kommissionens råd (Rådet) utfärdar i olika direktiv. För personalstrålskyddsfrågor inom bland annat det kärntekniska området är rådsdirektivet från den 13 maj 1996, Direktiv 96/29/Euratom, särskilt viktigt [3]. SSI har, i sin författningssamling SSI FS, implementerat delar av detta EU-direktiv i olika föreskrifter avseende bland annat krav på kategoriindelning av arbetsplatser och arbetstagare, hälsoundersökningar, dosgränser samt dosmätningar. Nyligen har kommissionen föreslagit två nya direktiv, dels om kärnsäkerhet och dels om avfall med krav på enhetlig reglering inom EU. Direktivförslagen har tillkommit bland annat med hänvisning till EU:s utvidgning, som innebär att ytterligare ett antal kärnreaktorer och andra kärntekniska anläggningar hamnar inom unionen.

Vilka skrivningar i BSS (*Basic Safety Standards*), har då påverkat strålskyddet vid kärnkraftverken? Den anpassning till ICRP 60 som görs i direktivet med bland annat kravet på ny dosgräns till 100 mSv/5 år infördes redan 1994 i SSI:s författningssamling. Möjligheten för medlemsländerna att ha en dosgräns på 20 mSv/år har medfört att utländska entreprenörer kan ha hårdare krav på individdosgränser för sin egen personal. Detta har sannolikt påverkat de svenska anläggningarna vid upphandling av arbetskraft utomlands. Kraven på att dosmätare skall vara godkända av den nationella myndigheten har troligen inneburit en kvalitetshöjning vid verken. Redan tidigare utfördes årliga bestrålningstester av TL-systemen, men nu finns även myndighetskrav på kvalitet och dokumentation i övrigt.

Under 90-talet ökade rörligheten av arbetskraft inom EU. För de svenska verken har det betytt större konkurrens vid upphandling av underhålls- och servicearbeten. Exempel på positiva effekter av detta kan vara att utförda arbeten blir billigare och att man får in nya erfarenheter, men det kan också innebära språksvårigheter och skillnader i arbetskultur som kan påverka strålskyddet negativt.

IAEA

FN:s Internationella Atomenergiorgan, IAEA, har inom säkerhets- och strålskyddsområdet en viktig roll att utforma och rekommendera standarder, metoder och praktiska tillvägagångssätt inom kärnenergiområdet. IAEA har, tillsammans med flera internationella organisationer gett ut en internationell standard avseende strålskyddsfrågor, den så kallade IAEA BSS (*Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources [4]*). I Sverige har de av IAEA år 1982 påbörjade OSART-granskningarna (*Operational Safety Review Team*) varit värdefulla. OSART-granskningar innebär att säkerhetskulturen vid ett kärnkraftverk jämförs med hur arbetet sker i andra länder (s.k. *bench-marking*). Granskningen utförs av ett internationellt sammansatt team av experter.

Sverige ratificerade den internationella konventionen om kärnsäkerhet i september 1995 och den trädde i kraft den 24 oktober 1996. Medlemsländerna i IAEA ska enligt kärnsäkerhetskonventionen redovisa det nationella kärnsäkerhetsarbetet i en rapport vart tredje år. Som avslutning av en granskningsomgång hålls ett två veckors internationellt granskningsmöte där representanter från samtliga deltagarländer deltar. Den första granskningsomgången genomfördes av en särskilt utsedd delegation (SKI, SSI och kärnkraftsindustrin) med avslutningsmöte 13 – 23 april 1999 i Wien där deltagarländernas granskningar redovisades. Det andra internationella granskningsmötet ägde rum 15 – 26 april 2002. Vid det tillfället deltog 46 av de 53 länder som då ratificerat konventionen i mötet genom att presentera sina nationella rapporter och delta i granskningen av andras. Sveriges nationella rapport, Ds 2001:41 [5] och presentationen av det svenska säkerhets- och strålskyddsprogrammet blev väl mottagna och den svenska tillsynsmodellen väckte stort intresse. På strålskyddsområdet efterfrågades bland annat orsakerna till den goda utvecklingen i Sverige, samt sättet att bedriva underhåll och beräkningsgrunden för använda alfavärden ("*cost-benefit value*"). Sverige fick även frågor om samarbetet mellan säkerhets- och strålskyddsmyndigheterna, användningen av tekniska stödorganisationer samt åldring och livstidsförlängning av anläggningar.

WANO

Kärnkraftsindustrin har egna internationella organisationer och sammanslutningar och inom ramen för dessa sker ett betydande arbete med erfarenhetsåterföring och

”benchmarking”, det vill säga jämförelse av arbetssättet vid ett visst kärnkraftverk med internationell praxis. Till exempel sker detta inom ramen för WANO (*World Association of Nuclear Operators*) och INPO (*Institute of Nuclear Power Operations*). Den svenska kraftindustrin äger bolaget KSU (*Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB*). KSU är de svenska kärnkraftverkens centrum för utbildning och simulatorträning. KSU svarar också för de svenska medlemsskapen i WANO och i NucNet, en global nyhetsförmedling som riktar in sig på frågor om kärnkraft. Rapporter om händelser i utländska anläggningar presenteras för de svenska anläggningarna, medan rapporter om svenska händelser meddelas till WANO som i sin tur svarar för den globala spridningen. I en årsrapport sammanfattas driftdata för de svenska anläggningarna och händelser av särskilt intresse beskrivs och kommenteras.

OECD/NEA

Organisationen för ekonomiskt samarbete och utveckling, OECD, har en särskild kärnenergibyrå, NEA (*Nuclear Energy Agency*), som inrättades redan år 1958 men fick sin nuvarande utformning år 1972. NEA samarbetar ofta med FN-organet IAEA i olika sakfrågor. NEA är uppdelat på ett antal huvudkommittéer, till exempel NDC (*Nuclear Development Committee*), CRPPH (*Committee on Radiation Protection and Public Health*) och RWMC (*Committee on Radioactive Waste Management*). Under dessa bildas tillfälliga expertgrupper och semipermanenta organ för att ta fram ställningstaganden i olika sakfrågor. OECD/NEA har gett ut ett stort antal rapporter avseende olika sakfrågor med direkt eller indirekt anknytning till strålskydd och kärnkraft (energipolicyfrågor, omgivningskontroll, avfallshantering, avvecklingsfrågor m.fl.). Sverige har t.ex. nyligen deltagit i arbetsgrupper under CRPPH för att ge kommentarer och synpunkter på den Internationella strålskyddskommissionens, ICRP:s, förslag till nya generella rekommendationer [6].

En fråga som har fått mycket uppmärksamhet och möda är ALARA-arbetet (*As Low As Reasonably Achievable*), det vill säga arbetet med att hålla stråldoser till personal inom kärnenergiområdet så låga som rimligt möjligt med hänsyn tagen till nationella ekonomiska och sociala aspekter. Som tidigare nämnts i rapporten startade NEA år 1992 en databas för utbyte av dosstatistik, information, teknikfrågor med mera avseende ALARA-frågor: ISOE (*Information System on Occupational Exposure*). Sverige har deltagit sedan starten med representanter från kraftverken och SSI. År 1997 utvidgades samarbetet och IAEA och NEA bildade ett gemensamt sekretariat för ISOE:s verksamhet. Såväl de svenska kärnkraftsbolagen som SSI är medlemmar i ISOE och olika personer deltar aktivt i arbetet med datainsamling, statistik, konferenser och workshops. Konceptet med särskilda strålskyddsprogram, ALARA-program, som SSI kräver att tillståndshavarna skall utarbeta vid de svenska kraftverken [7], är till stor del ett resultat av det idéarbete om strålskyddsoptimering som pågått eller pågår inom det internationella området.

Avveckling

Kärnkraften är en energipolitisk fråga som till och från uppmärksammas i media. Ett delområde som under senaste tioårsperioden kontinuerligt debatterats i media, är avvecklingsfrågan.

Osäkerheten kring de politiska besluten om avveckling kan ge negativa effekter på frågor som berör personal. Risken att man förlorar kompetens måste beaktas och myndigheterna följer också denna fråga. Osäkerheter avseende tidpunkt för slutlig avställning av kärnkraftverk kan påverka strålskyddet negativt genom att personalen tappar engagemang och framtidstro för verksamheten. Strålskyddet kan också påverkas tekniskt om behovet av långsiktigt nödvändiga investeringar underskattas. Detta har dock inte kunnat påvisas i de granskningar som genomförts.

Avreglering av elmarknad

Avregleringen av elmarknaden inleddes i Sverige och i de närmaste grannländerna under år 1996 och det infördes också en nordisk elbörs i Oslo. Priset på den senaste producerade energin skulle därmed styras av tillgång och efterfrågan. Detta ledde till förändringar av kostnadsläget vid kärnkraftverken, som inledde rationaliseringsprocesser med nya organisationsstrukturer som resultat. Ett annat sätt att minska kostnader har varit att se över investeringsplaner. Detta har i några fall inneburit att åtgärder, en del med möjlig påverkan på strålskyddet, som inte planerats på grund av direkta myndighetskrav, skjutits fram i tiden.

Till utgifterna hör även politiskt styrda skatter och avgifter. I dagsläget konkurrerar inte samtliga elproducenter på lika villkor. Kärnkraften har en särskild produktionsskatt på elkraft vilket gör att vinstmarginalerna ytterligare begränsas.

Miljökrav

Under den senaste tioårsperioden har fokuseringen på miljöfrågor ökat. För ägarna till de svenska kärnkraftverken, och i den allmänna debatten, har utsläpp av radioaktiva ämnen till omgivningen kommit i fokus och fått en än större betydelse än tidigare.

Diskussionerna och arbetet med ”skyddet av naturen” har medfört att en förändrad skyddsfilosofi växt fram inom strålskyddsområdet: Utsläpp skall reduceras om det är möjligt med rimliga tekniska insatser, oavsett om stråldosen till de mest exponerade personerna är liten. I detta sammanhang används begreppet:

- *Bästa möjliga teknik* - användande av den mest effektiva metoden för att begränsa utsläpp av radioaktiva ämnen och utsläppens skadliga effekter på människans hälsa och miljö, och som inte medför orimliga kostnader

Det förändrade synsättet har inneburit att man vid de kärntekniska anläggningarna genomfört tekniska förändringar för att ytterligare minska utsläppen av radioaktiva ämnen.

SSI vill i detta sammanhang varna för en resurstilldelning som för mycket styrs av den massmediala exponeringen. SSI anger i sin författningssamling (SSI FS 2000:12) att ”möjligheterna att stråldoser till personal kan komma att öka då utsläppen till omgivningen begränsas skall beaktas vid optimeringen, liksom konsekvenserna för annan avfallshandling”.

Frågan om risköverföring, det vill säga att en riskminskning för en person, eller en grupp av personer, kan innebära riskökning för andra personer, är ett identifierat problem inom det nuvarande, internationellt utarbetade systemet för strålskydd. När skyddet av naturen

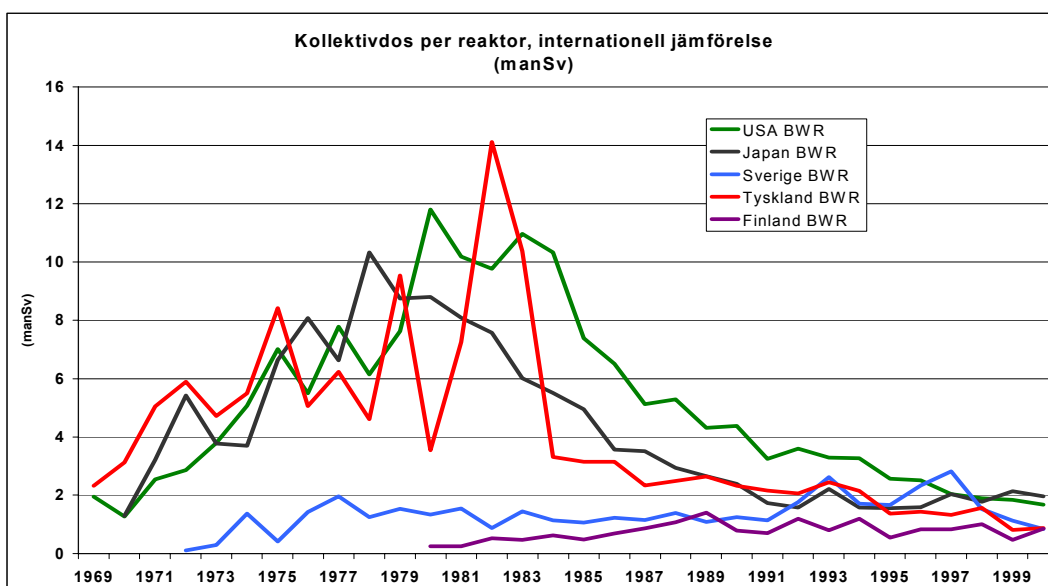
(ekosystemet) skall beaktas, anser SSI det viktigt att rutiner för ett nytt optimeringsförfarande etableras (SSI FS 2000:12, 4 §).

Myndighetskrav

Vid sidan av SSI finns även andra myndigheter som bedriver tillsyn vid de svenska kärnkraftverken. Framförallt gäller det Statens kärnkraftinspektion, SKI, som ansvarar för tillsynen av reaktorsäkerheten. Sedan 90-talet har SKI kontinuerligt infört höjda säkerhetskrav på kärnteknikanläggningarna. SKI har utarbetat föreskrifter inom olika områden som till exempel provning, säkerhetsbarriärer och kompetens. Målet är att de svenska kärnkraftverken säkerhetsmässigt genom modernisering skall uppgraderas till att motsvara de internationella krav som idag ställs på nybyggda reaktorer. Kraven har lett till säkerhetshöjande åtgärder som har resulterat i stråldoser vid införandet, men som på sikt bedöms komma att bidra till lägre doser och lägre risk för radiologiska olyckor. Moderniseringsprojekten är inte enbart styrda av SKI:s krav; de äldsta anläggningarna är 25-30 år gamla och behöver även åtgärdas på grund av slitage och åldrande, men också för att medge större effektuttag.

Tidigare strålskyddsförhållanden

I slutet av 80-talet och början på 90-talet fanns en trend med sjunkande stråldoser vid de svenska kärnkraftverken, den bröts 1992 och ersattes av ökade stråldoser. Vid en internationell jämförelse skilde sig Sverige från övriga länder, där man fortfarande kunde se sjunkande stråldoser. Orsaken till den svenska ökningen kunde delvis hänföras till ett ökat behov av underhåll och provning av kokarreaktorerna, men framförallt sammanföll tidsmässigt ett antal större arbeten vid de olika reaktorerna.



Figur 1. Internationell jämförelse mellan kollektivdoser vid kokarreaktorer i olika länder

Ökade krav

Statens kärnkraftinspektion kom i slutet av 1980-talet ut med en provningsföreskrift som, på grund av svårigheter att få fram tillförlitliga provningsmetoder, efterlevdes först 1992. Provningsföreskriften krävde utökad provning och då framförallt provning av system närmare reaktortanken där strålningsnivån är högre. Kraven på utökad provning och utvecklingen på bättre provningsmetoder ledde till att defekter och sprickor, samt indikationer på sådana, upptäcktes. Arbetet med provning och reparationer resulterade i högre stråldoser för inblandad personal.

Strålkällor

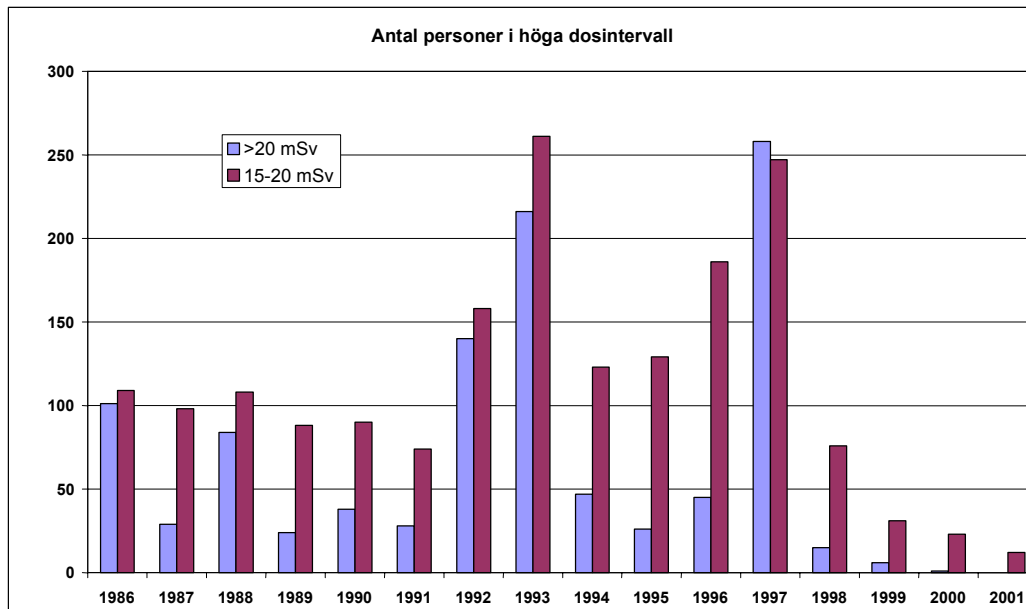
Erosion och/eller korrosion av konstruktionsmaterial leder till att korrosionsprodukter frigörs i reaktorsystemen. Olika ämnen deponerar bland annat på bränslet, blir aktiverade och sprids därefter i reaktorsystemen.

Aktiverade korrosionsprodukter, framförallt kobolt-60, är vid normala driftförhållanden den huvudsakliga källan till den stråldos som personalen erhåller. Kobolt-60 bildas genom neutronbestralning av grundämnet kobolt som ingår bland annat som en

förorening i vanligt rostfritt stål. I det mycket hårda materialet stellite, som är vanligt förekommande i ventilslitytor, ingår kobolt med upp till 60 procent.

På primärsidan i en reaktor finns många ventiler där man av tekniska skäl använt slitytor av stellite, vilket leder till uppbyggnad av kobolt-60 på bränslet som senare sprids vidare via reaktorvattnet till olika systemtor och där bidrar till dosratsuppbyggnaden. Genom ökning av bränslets utbränning aktiveras materialet i härden ytterligare och därigenom förstärks denna effekt. Kraftiga bränsleskador kan också ge en ökad spridning av kobolt-60 till systemtor. Detta uppmärksammades första gången 1988 i samband med en bränsleskada vid Oskarshamn 2.

Under 1992 och 1993 kunde man se en markant ökning av antalet personer i de högre dosintervallen (se figur 2). Nedgången 1994 kan i viss mån förklaras av SSI FS 1994:2, där SSI bland annat införde ny dosgräns, krav på utökad utbildning i strålskydd, samt införde krav på ett åtgärdsprogram för att hålla personaldoserna så låga som rimligt möjligt. Orsaken till de markanta topparna 1993 och 1997 kan härledas till att man då genomförde ombyggnadsarbeten vid ett antal reaktorer.



Figur 2. Antal personer vid svenska kärnkraftverk som har fått doser över 15 mSv 1986-2001.

Anläggningshistoria och intressanta arbeten

Barsebäcksverket

Den så kallade "Barsebäckshändelsen" som inträffade i augusti 1992, kom att få stor inverkan på dosutvecklingen under efterföljande år. En styrventil i inneslutningen öppnades oavsiktligt vid Barsebäck 1 och orsakade att isoleringsmaterial slets loss och spolades ner till vattenbassängen under reaktortanken och satte där igen de filter som ingår i nödkylsystemet. Händelsen ledde till ett driftstopp för de fem externpumpsreaktorerna, det vill säga kokarreaktorerna av 1:a generationen, Oskarshamn 1 och Ringhals 1 samt 2:a generationen, Barsebäck 1, Barsebäck 2 och Oskarshamn 2.

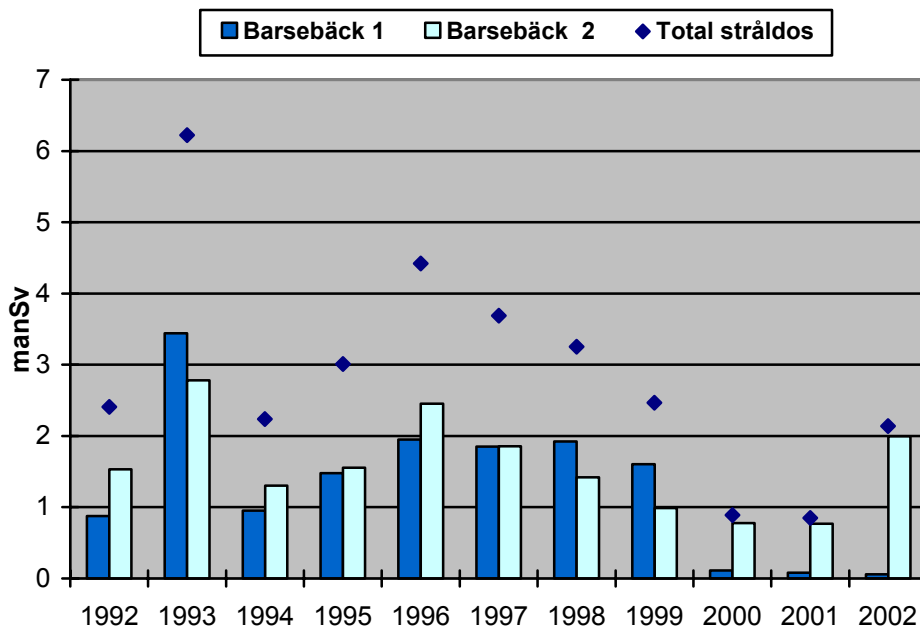
Händelsen vid Barsebäcksverket resulterade i att anläggningsägarna blev tvungna att se över befintlig säkerhetsdokumentation för att identifiera, och åtgärda eventuella fel och brister i systemen. Behovet av en långsiktighet i planeringen där strålskyddet skall medverka på ett tidigt stadium blev emellertid än mer uppenbart, vilket bidrog till att SSI ställde krav på ALARA-program.

Kollektivdosutfallet 1996 för Barsebäck 1 och 2 blev 4,4 manSv. Under revisionerna vid blocken upptäcktes sprickor i rör tillhörande kylsystemen för avställd reaktor. Utökad provning samt reparationer av svetsskarvar och utbyten av rördelar medförde högre stråldoser än vad som förutsetts.

Revisionerna 1997-1999 var av normal omfattning och gick enligt plan, med undantag av förseningar på grund av utökad provning, reparation och service.

Efter regeringsbeslut upphörde produktionen av elektrisk ström vid Barsebäck 1 den 30 november 1999. Reaktorn hade då varit i drift sedan den 15 maj 1975. Efter avställningen hölls reaktorn i så kallad "avställningsdrift" med bränslet kvar vid reaktorn. Under 2000-2001 transporterades en stor del av det använda bränslet till mellanlagret i Oskarhamn (CLAB). Ej utbränt bränsle transporterades från Barsebäck 1 till Barsebäck 2. Från 2001, då allt bränsle laddats ur, drivs reaktorn endast med "servicedrift".

Vid Barsebäck 2 utfördes under 2002 projektet PRIM - modernisering av primärsystemen i reaktorinneslutningen. Inom PRIM-projektet genomfördes kemisk rengöring (dekontaminering) av primärsystemen vilket innebar att totala stråldosen för projektet kunde begränsas. Cirka 125 meter rör och cirka 100 ventiler i primärsystemet byttes ut för att minska risken för materialförsvagning och för att underlätta framtida kontroller. Kollektivdosen under 2002 slutade på 2,1 manSv.



Figur 3. Kollektivdoser vid Barsebäcksverket

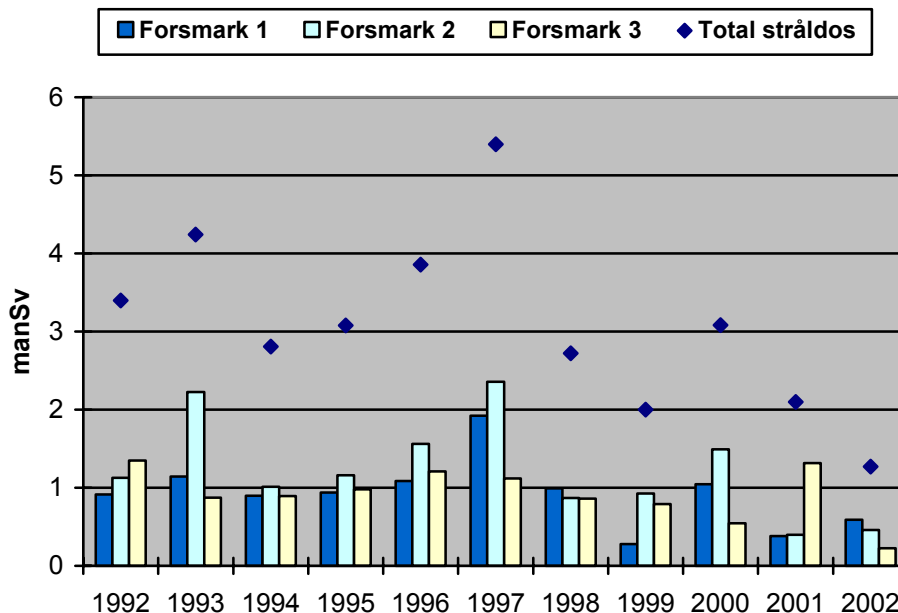
Forsmarksverket

De tre kokarreaktorerna vid Forsmarksverket, är internpumpsreaktorer. Vid dessa ökade inte stråldoserna under de första åren av 1990-talet lika mycket som vid de äldre kokarreaktorerna. Stråldoserna vid Forsmarksverket ökade dock successivt för att kulminera under 1997. Därefter har byte av ångseparatorer vid Forsmark 1 och Forsmark 2, justeringar av driftparametrar, samt utbyte av rörledningar i reaktornära system lett till lägre strålnivåer och lägre stråldoser, såväl för arbeten i reaktor- som turbinsystem.

Under åren 1994 – 1996 dominerades, från strålskyddssynpunkt, bl. a. revisionsarbetet vid blocken av provning och åtgärder på infästningssvetsar till konsoler för lockbalkarna i reaktortanklocken. Stora problem med den robotutrustning som användes för materialprovning medförde att arbetet blev tidsödande med många oplanerade manuella ingrepp i miljöer med hög strålnivå.

År 1997 erhöles relativt höga kollektivdoser vid Forsmark 1 och 2, beroende på långa och omfattande revisioner. Ett viktigt arbete för framtida dosbegränsningar på turbinsystemen var utbytet av ångseparatorer vid de båda blocken. Redan i början av 1990-talet genomförde man ett delutbyte och under 1997-1998 utbyttes de resterande ångseparatorerna. Utbytet innebar minskad fukthalt i ångan och därmed minskad överföring av radioaktiva ämnen till turbinsidan. En halvering av fukthalten i ångan till turbinerna beräknades ge en halvering av strålnivåerna på turbinsidan. Effekten av delutbytet 1997 blev att fukthalten sjönk med en faktor 3 och att strålnivåerna i turbinanläggningen sjönk mer än väntat.

Vid Forsmark 3 genomfördes en omfattande systemdekontaminering (kemisk rengöring) år 2001. Optimering av olika underhållsinsatser har också bidragit till sänkta stråldoser.



Figur 4. Kollektivdoser vid Forsmarksverket.

Oskarshamnsverket

Projekt OKR (Oskarshamn 1 Kallbockade Rör) genomfördes våren 1993 och innebar utbyte av drygt 400 kallbockade rördelar. Projektet initierades av påträffade sprickor i kallbockade rör på Oskarshamn 1. Till följd av misstanke om liknande problem inuti reaktortanken inleddes projekt FENIX - kontroll av status på reaktortank och anslutande system. En total tömning av reaktortanken på bränsle och interna delar genomfördes under hösten 1993. I början av 1994 genomfördes en stor systemdekontaminering av nedre delen av tanken i Oskarshamn 1. Resultatet av dekontamineringen var bra och innebar att man utan något större dosbidrag manuellt kunde applicera utrustning för provning nere i tankens botten. Under pågående projekt utökades dock omfattningen successivt, vilket innebar svårigheter att detaljplanera arbetet från strålskyddssynpunkt. Totaldosen för detta omfattande projektet blev 8 manSv.

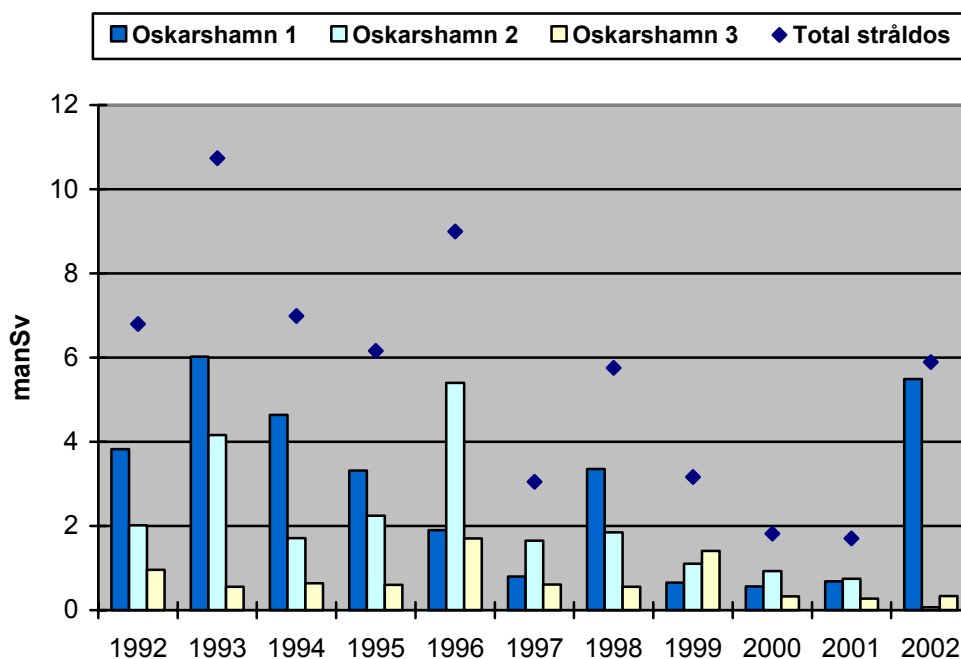
Från oktober 1995 till och med revisionsavställningen 1996 genomfördes projekt MELK - byte av elkomponenter och elgenomföringar i reaktorinneslutningen på Oskarshamn 2. Den första grova dosuppskattningen var 5 manSv, men ett intensivt arbete under planeringsfasen med att nå dosmålet 2,2 manSv ledde till att utfallet blev 2 manSv.

Under revisionen 1996 genomfördes vid Oskarshamn 1 projekt VMAN - byte av rör och skalventiler i renings- och kylsystem. Arbetena föregicks av dekontaminering av berörda system. De fyra skalventiler som byttes ut ersattes med ställitfria ventiler. I planeringen inför VMAN var för första gången ALARA och doskrav med som ett styrmedel vid val av entreprenör, vilket innebar att dosprognosen minskades med 0,6 manSv. Dosminskningen berodde till stor del på teknikval för svetsarbeten som var de mest doskrävande i detta projekt. Även förändrade arbetsmetoder minskade dosen, vilket tydligt visade på den dosvinst som kunde göras genom att beakta strålskyddet redan från inledningen av projekten. Totaldosen blev knappt 0,8 manSv.

Ett av de dominerande arbetena under den omfattande revisionen på Oskarshamn 3 1996 var genomförandet av ett projekt, som innebar byte och ombyggnad av skalventiler i matarvattensystemet och kylsystemet för avställd reaktor. Inför arbetet genomfördes en systemdekontaminering med sämre utfall och därmed högre doser än förväntat. Delar av matarvattensystemet har på denna reaktortyp en ogynnsam placering i inneslutningen, vilket medför att doserna för flertalet av de jobb som utförs där är svåra att begränsa på annat sätt än genom att påverka strålkällorna i systemen.

Under revisionsavställningen 1998 genomfördes på Oskarshamn 1 projekt MAX - urkapning av interna delar (moderator tank, moderator tanklock samt ångseparatorer). Arbetet som planerats under två års tid genomfördes på ett ur strålskyddssynpunkt mycket bra sätt. Totaldos knappt 0,4 manSv.

År 1999 utfördes vid Oskarshamn 3 projekt MINK - utbyte av ventiler och rördelar i primära system med för hög kolhalt. Detta arbete kunde genomföras med ett betydligt lägre dosutfall än 1996, på grund av en lyckad dekontaminering.



Figur 5. Kollektivdoser vid Oskarshamnsverket.

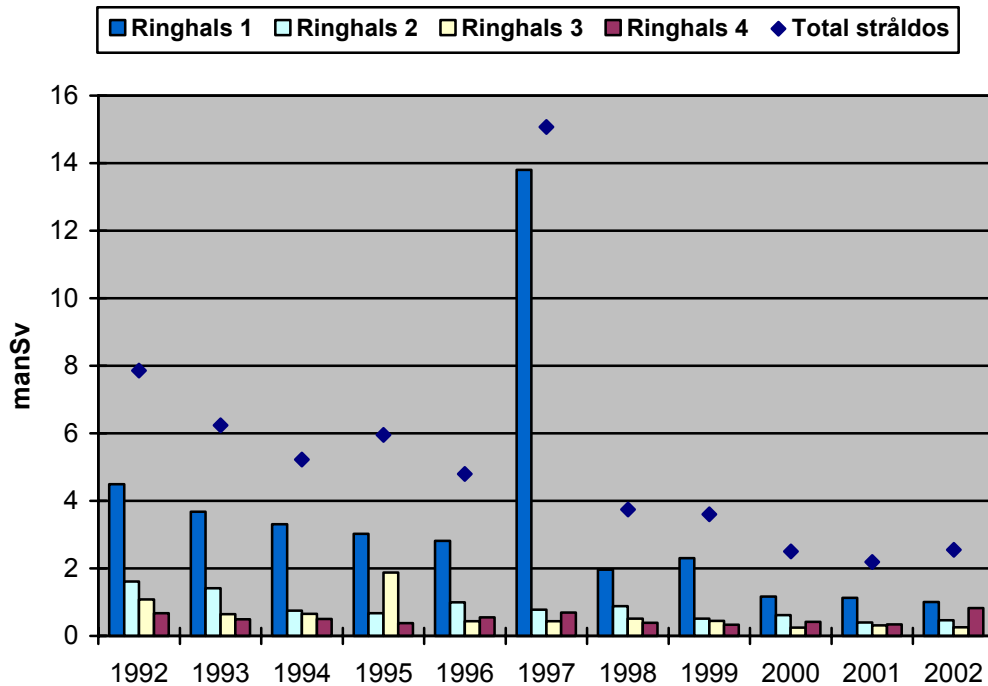
Ringhalsverket

De tre tryckvattenreaktorerna vid Ringhalsverket, har haft en utveckling med minskande stråldoser sedan långsiktiga åtgärder sattes in mot tubproblemen i ånggeneratorerna och optimering av de vattenkemiska förhållandena i primärsystemet. Större arbeten under perioden på tryckvattenreaktorerna har varit ånggeneratorbyte på Ringhals 2 1989, och motsvarande byte på Ringhals 3 1995. År 1992 uppkom ett problem med sprickor i genomföringar i tanklocket på Ringhals 2. Verksamheten med att genomföra materialkontroll och att åtgärda problemet krävde en stor arbetsinsats, men en effektiv planering av åtgärderna resulterade i ett relativt lågt dostillskott (cirka 1 manSv).

Ett exempel på ett omfattande säkerhets- och strålskyddsprojekt som till del hade sitt ursprung i den översyn som skedde efter Barsebäckshändelsen, var projekt SPRINT - Säkra Primärsystemets Integritet. Projektet genomfördes 1997 på Ringhals 1, under en drygt 7 månader lång avställning. Projektets huvudsyfte var att höja säkerhetsstatusen på primärsystemen som är anslutna under hårdnivå på Ringhals 1. Målet var att säkerhetsnivån på Ringhals 1 efter genomfört projekt skulle kunna jämföras med internpumpsreaktorernas. För att kunna genomföra projektet med rimliga strålskyddsinsatser ingick även en omfattande kemisk systemdekontaminering som en viktig förutsättning för att begränsa dosbelastningen.

Ett viktigt delprojekt ur strålskyddssynpunkt inom SPRINT var att ersätta tätningsytor i avstängningsventiler i huvudcirkulationskretsen med stelitfritt material. Utredningar som genomförts visade att omkring 50 procent av kobolttillförseln till reaktorsystemen härrör från dessa ventiler. Problem som påverkade den ursprungliga planeringen uppstod i samband med projektet och orsakade såväl förlängd revision som förhöjd kollektivdos. Samtliga moment inom projektet kunde dock genomföras under avställningen och dosvinster på lång sikt kan förutses.

I syfte att kunna följa upp återkontaminering av de system som dekontaminerades under SPRINT-projektet 1997, genomfördes 1998 ett program, kallat OLA (*On-Line-Activity gamma spectrometry*), med syftet att installera fasta mätpunkter på rörsystem i reaktorinneslutning och reaktorbyggnad. OLA gav möjligheten att under drift följa aktivitetssupbyggnaden på olika system och på så sätt öka kunskapen om driftförhållandenas betydelse för aktivitetsförändringar i systemen.



Figur 6. Kollektivdoser vid Ringhalsverket.

Åtgärder för att begränsa stråldoser

Forskning och utveckling

Dosökningen i början på 1990-talet blev startpunkten för ett massivt forskningsprogram för att försöka vända trenden. Tidigt förstod man att det konventionella strålskyddet baserat på de tre fundamenten tid, avstånd och skärmning inte skulle vara tillräckligt för att hålla doserna på en låg nivå i framtiden utan nu gällde det att hitta metoder för att minska källtermen det vill säga den aktivitet ute i de olika systemen som ger personalen stråldos. Nedan följer korta beskrivningar av ett antal forskningsprojekt genomförda under perioden.

DORIS

I april 1993 initierade SSI projektet DORIS - dosreduktion i svenska kokarreaktorer. Projektet syftade till att hitta orsaken till dosökningen, hitta metoder för dosreduktion och att försöka förutsäga framtida doser utifrån ett optimalt nyttjande av de föreslagna metoderna för dosreduktion. Detta projekt gav en väsentlig kunskapshöjning, men visade också på en komplex bild av samspelet mellan framförallt materialval, reaktorvattenkemi och driftsätt.

År 1997 initierade SSI projektet DORIS 2 [8]. Detta uppföljningsprojekt till DORIS initierades av SSI för att följa upp nyvunna erfarenheter om aktivitetssupbyggnad och transport av radioaktiva ämnen i reaktorsystem. Liksom DORIS var således även DORIS 2 avsett att ge en gemensam kunskapsbas för såväl kärnkraftindustrin som myndigheten. Senare projekt har varit inriktade på att mer i detalj studera vissa fenomen, till exempel projekt ALEX – Aktivitetsmätning med ytkomplEX vars syfte var att skaffa sig kunskaper om de olika transportmekanismerna i det tunna oxidskiktet närmast systemytorna. Projektet beställdes av kärnkraftverken och SSI tillsammans.

ALARA 2000

Samtidigt med DORIS 2 pågick ett av kärnkraftverken beställt projekt ALARA 2000, som i stort har samma målsättning, men som är direkt relaterat till anläggningarnas reaktorer.

KEMOX

Projektet KEMOX – KEMi och OXider startades på initiativ av kraftindustrin och Statens kärnkraftinspektion. Projektet påbörjades 1989, då man utförde tester med järndosering vid Forsmark 2. Korrosionsprodukter på systemytor, i reaktorvatten och på bränslekapsling (bränslecrud) domineras i regel av metallen järn följt av krom och nickel. Det finns tecken som tyder på att om kvoten Fe/Ni ökar kan detta leda till ett ökat aktivitetsupptag av kobolt-58 och kobolt-60 på systemytor, samtidigt som förekomsten (aktivitetshalten) i reaktorvattnet blir lägre.

Under åren 1994-1996 genomfördes även tester med järndosering vid de övriga blocken vid Forsmarksverket. Slutsatser redovisades bland annat vid KEMOX-symposiet i november 1995. Halten av kobolt-60 sjönk i reaktorvattnet, något som var positivt för blocken Forsmark 1 och 2 som hade hög fukthalt och höga turbindoser. Effekten på

yt-dosraten i kylsystemet för avställd reaktor, var dock mindre än förväntad, vidare ökade ytaktiviteten av antimon-124 signifikant vid järndosering. Under senare år har man bytt ångseparatorer i Forsmark 1 och 2 och därmed reducerat problemet med hög fukthalt i ångan till turbinsystemen. För närvarande sker ingen järndosering vid Forsmarksverket.

NORDZINK

Ett sätt att förhindra att systemytor tar upp aktivitet är att befria dessa från porer och därmed försvåra vidhäftningen, passivering. Ett annat sätt är att dosera olika ämnen som zink, järn med mera till reaktorvattnet. Dessa bygger då upp ett inaktivt oxidskikt och på så sätt reduceras närvaron av den aktiva nukliden kobolt-60 i oxidskiktet. Vid Barsebäck 2 startades i mars 1999 ett storskaligt försök med att injicera zink till reaktorvattnet med ett visat gott resultat. En påtaglig minskning av aktivitetsspridningen kunde påvisas. Detta gjordes inom projektet Nordzink.

Zinkdosering i kokarreaktorer har sitt ursprung i USA när doser och dosrater ökade på ett alarmerande sätt under 1970-talet. Det var framförallt dosrattsökningen på de omfattande huvudcirkulationskretsarna på General Electrics kokarreaktorer som bidrog med höga kollektivdoser och kraftigt ökande strålnivåer. I sökandet efter åtgärder noterades att ett naturligt zinkinnehåll i matarvattnet ledde till positiva effekter på primärsystemens ytor. Zinkkällan var mässingstuber i turbinkondensorn och i vissa fall i förvärmarna till lågtryckssteget i turbinen. Sådana effekter av mässing (legering av zink och koppar) har även setts i Sverige, till exempel vid Oskarshamn 1 och Barsebäck 2.

OLA

Projektet OLA genomfördes 1998 vid Ringhals 1, för att under drift kunna följa aktivitetssuppleveringen på olika system som dekontaminerades under SPRINT-projektet 1997. Detta gjordes med hjälp av On-line-Activity gamma spectrometry, för att få en bättre kunskap om hur aktivitetsförändringarna är kopplade till olika driftbetingelser såsom snabbstopp, effektändringar med mera. Fasta mätpunkter installerades i reaktorinneslutningen och reaktorbyggnaden. Denna metod har visat sig värdefull för klarläggandet av betydelsen av variationer i driften under året. Tidigare kunde man endast mäta eventuell påverkan vid driftstopp.

Dekontamineringsmetoder

Bränslededekontaminering är ett effektivt sätt att minska strålnivån, eftersom 80 procent av den aktivitet som har utbyte med andra systemytor sitter på bränslekapslingen. En förstudie av bränslededekontaminering med ultraljud gjordes i SSI:s regi i mitten på 1990-talet. Metoden har därefter modifierats. Ringhals genomförde våren 2001 en dekontaminering av ett bränsleelement, där man använde vatten-is blandning istället för ultraljud. Metoden uppfyller flertalet krav men kräver ytterligare utveckling för att kunna anses vara etablerad. Det finns också ekonomiska vinster med att ha renare bränsle, eftersom verkningsgraden ökar utan ett skikt av föroreningar på bränslet.

Systemdekontamination med kemiska tillsatser används allt oftare inför större arbeten för att minska strålnivån vid arbetsstället. En utveckling mot ”mjukare” metoder har skett under 1990-talet, och möjliggjort dekontaminering utan risk för negativ påverkan på metallytor.

Även rengöring med högtrycksvatten eller genom spolning kan ibland leda till bra resultat. Förekomst av partikulär aktivitet i reaktorvattnet, som haft en tendens att vara

betydligt större i samband med HWC-drift (*Hydrogen Water Chemistry*), har ibland lett till att spolning av olika rörsystem varit tämligen effektivt för att sänka dosrater före olika ingrepp och arbetsmoment. Även efter en kemisk dekontaminering är det viktigt att spola bort lösjord aktivitet.

Stellitutbyte

Arbetet med att ersätta kobolthaltigt material har fortsatt även under senare år. Pumpar och ventilers hårda slitytor består i regel av stellite, ett koboltbaserat material, som är den stora källan till det kobolt-60 som starkt bidrar till strålmiljön och dos till personalen. Andra legeringar har tagits fram och program pågår för utbyten till komponenter med stellitefritt material, men man kan inte idag ersätta stellite i alla applikationer.

SSI har tillsammans med kärnkraftverken finansierat en undersökning utförd av DUROC som går ut på att med högeffektlaser smälta på ett tunt slitskikt av ett tillsatsmaterial. Resultatet blir en omformning av materialet med helt nya egenskaper och hårdhet. Tekniken är mycket lovande men komponenterna måste tas till verkstad då det för närvarande inte finns lämplig mobil högeffektlaser framtagen.

Sammanfattningsvis anser SSI att de åtgärder som framkommit genom den stora mängden forskningsprojekt och utredningar, samt erfarenheter, såväl nationellt som internationellt, har bidragit till dagens låga doser, men att det fortfarande finns områden som behöver kartläggas, för att kunna förbättra eller bibehålla läget med dagens låga doser.

Administrativa åtgärder

SSI inför en ny dosgräns

I SSI:s föreskrifter, som trädde i kraft den 1 juni 1994 och som var riktade enbart till kärnkraftverken [9], infördes en ny dosgräns som en komplettering av dåvarande svenska dosgränser. Detta för att påskynda ett införande av de krav som ICRP då rekommenderat, men som inte vid den tidpunkten kunde föras in i SSI:s befintliga generella föreskrifter om dosgränser.

Ändringen hade följande paragraftext:

”Verksamheten skall bedrivas så att ingen person, under fem på varandra följande kalenderår, erhåller en effektiv dosekvivalent som överstiger 100 mSv.”

Den högsta tillåtna årsdosen (effektiv dos) var fortfarande 50 mSv men nu måste också arbetet planeras på ett sådant sätt att medeldosen under fem på varandra följande år understiger 20 mSv. Bakgrunden till den nya dosgränsen var rekommendationer från den Internationella strålskyddskommissionen, ICRP, i deras publikation 60.

SSI:s nya krav måste också ses med perspektivet att provning av svetsar och material kraftigt ökat i samband med att SKI utfärdat nya säkerhetsföreskrifter. SSI ville undvika att ett fåtal kvalificerade personer tillhörande specifika yrkeskategorier årligen erhåller höga persondoser i samband med teknisk provning vid de svenska kärnkraftverken. Den nya dosgränsen ledde dels till en förbättring i sättet att planera arbeten i utrymmen med högre strålnivåer, dels till att entreprenörsfirmor såg över sin tekniska utrustning. Arbeten

av komplicerad natur förbereds, i än högre grad än tidigare, med hjälp av så kallade ”*mock-up*” utrustningar där arbetsmomenten kan tränas i en strålningsfri miljö.

Den nya dosgränsen bidrog till, i kombination med utökade krav på strålskyddsutbildning, att enskilda personers intresse och kunskaper om strålskydd ökade. På senare tid har SSI:s generella föreskrifterna om dosgränser reviderats och de här beskrivna kraven återfinns därefter i SSI FS 1998:4.

SSI kräver utökad strålskyddsutbildning

Ökad kunskap ger ökad förståelse och ett ökat intresse för skyddsfrågor. SSI har i villkor och föreskrifter sedan länge bestämt att de som exponeras för joniserande strålning från artificiella strålkällor på sin arbetsplats, skall erhålla en grundläggande information om de risker som arbete i strålningsmiljö innebär. Även information om åtgärder vid larm, anläggningens interna bestämmelser och rutiner, samt praktiska strålskyddsåtgärder ingår här.

I samband med att SSI gav ut ovan nämnda föreskrifter 1994 ställde SSI även krav på utökad strålskyddsutbildning.

”All personal med strålskyddsuppgifter samt egen personal med arbetsuppgifter inom drift och underhåll ska genomgå fördjupad strålskyddsutbildning som bland annat omfattar grundläggande strålskyddsprinciper.

För entreprenörspersonal med arbetsledande funktion skall fördjupad strålskyddsutbildning anpassas till arbetets art och till den miljö i vilken arbetet skall utföras.”

SSI krävde således att strålskyddspersonal, kraftverkets egen personal sysselsatt med drift och underhåll samt entreprenörer med arbetsledande funktion skulle genomgå fördjupad strålskyddsutbildning.

Under åren 1993 och 1994 utformade KSU, Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB, tillsammans med kärnkraftverken ett för dessa gemensamt och omfattande kursmaterial i strålskyddsteknik. KSU:s gamla undervisningsmaterial behövde förnyas och man kände till att SSI avsåg att ställa krav på ytterligare strålskyddsutbildning i de kommande föreskrifterna. Utbildning i strålskyddsteknik med det nya kursmaterialet infördes vid kärnkraftverken under våren/hösten 1996. Kursen avslutas med ett kunskapstest och repetitionskurs genomförs vart tredje år. Innehållet i kursen uppdateras av en arbetsgrupp med representanter från kärnkraftverken som träffas två gånger per år för att redovisa erfarenheter och vidareutveckla utbildningsmaterialet.

Innebörden av begreppet ”arbetsledande funktion” orsakade en del diskussioner. Vid kärnkraftverken har dock i regel alla entreprenörer som är arbetsbefäl utbildats, det vill säga alla de personer som har rätt att kvittera ut arbetstillstånd. Sedan kursstarten år 1996 och fram till och med juni 2001 hade ungefär 3000 personer genomgått fördjupad strålskyddsutbildning. Av dessa hade vid samma tillfälle cirka 1000 personer även genomfört en första repetitionsutbildning. De ingående kursmomenten är:

- Strålningsfysik
- Strålningens biologiska verkan

- Strålskyddsbestämmelser
- Strålningsmiljö
- Dosimetri
- Mätinstrument (endast driftpersonal)
- Praktiskt strålskydd
- Avfallshantering

Därutöver ingår i regel skyddsverksamhet vid aktuellt kärnkraftverk samt praktiska övningar. För stationstekniker utökas till exempel kursen med praktisk strålskyddsträning under en vecka. Kursen används som grundkurs för de som ska arbeta med strålskydd vid verken.

SSI bedömer att den fördjupade strålskyddsutbildningen varit ett viktigt inslag i arbetet med att sänka stråldoserna vid de svenska kärnkraftverken. I kontakter med strålskyddare vid kärnkraftverken framhålls ofta vikten av de genomförda utbildningsinsatserna.

SSI inför krav på ALARA-program

Ytterligare ett föreskriftskrav som infördes 1994 av SSI var kravet på så kallade ”ALARA-program”.

”Alla stråldoser skall begränsas så långt detta rimligen kan göras med hänsynstagande till såväl ekonomiska som samhällliga faktorer. För detta ändamål skall finnas ett särskilt utformat program som är väl känt på alla nivåer inom anläggningens organisation. Programmet skall förutom den dagliga strålskyddsverksamheten även omfatta strategier för det långsiktiga personalstrålskyddet”.

Ursprungligen bygger detta krav på Internationella strålskyddskommissionens, ICRP:s, rekommendation om att hålla alla stråldoser så låga som rimligt möjligt (ICRP 60, 112 §).

SSI utfärdade inga allmänna råd om hur dessa så kallade ALARA-program skulle se ut eller utformas, men i samband med inspektioner och vid möten med verksledningarna vid de svenska kärnkraftverken etablerades en praxis om innehåll och struktur, dock med möjligheter till stora lokala variationer - programmen skulle anpassas till verkens eller blockens specifika situation. Den verksamhet som byggdes upp vid verken enligt ALARA-programmen följde i stort den filosofi som utarbetats för en ”lärande organisation”. De rådande strålskyddsförhållandena vid de svenska kokarreaktorerna, med relativt höga dosutfall och stora planerade ombyggnads- och provningsarbeten, ledde till att stor vikt lades vid dessa frågor vid verken.

SSI genomförde temainspektioner under åren 1995, 1997 och 1999 då uppföljningar av verkens ALARA-program stod på dagordningen. Resultaten av de första temainspektionerna redovisades bland annat i en SSI-rapport daterad 1995-12-11 (SSI dnr 8200/3336/95) samt i SSI-rapporten 97:17, *En granskning av kärnkraftverkens dosreduktionsprogram*. Den senaste temainspektionen, som genomfördes 1999, fokuserade på de långsiktiga och tekniska aspekterna.

För att ALARA-programmen skulle ges önskvärd tyngd i verkens organisationer var en av SSI:s utgångspunkter att programmen gavs ett tydligt och uttalat stöd från verkens företagsledning. Strålskyddsprogrammen borde därför fastställas på en hög nivå inom organisationen, till exempel blocknivå, för att få önskad genomslagskraft. Vikten av att programmen hålls aktuella och att innehållet sprids inom hela organisationen betonades. Företagsledningen har ansvar för att ge riktlinjer för programmen, besluta om mål och delmål, samt följa upp och utvärdera utfallet.

Vid utveckling av ALARA-program är det viktigt att kompetens och erfarenheter från olika verksamhetsgrenar tillvaratas. Förutom strålskyddskompetens bör även drifterfarenhet, kemi, materialkunskap, teknik och säkerhetsfrågor beaktas.

De mål med avseende på kollektivdoser som anläggningen formulerar bör vara genomförbara inom ett relativt kort perspektiv (3-5 år), uttryckas i direkta måltal och vara realistiska. Måltalen bör specificeras för varje reaktorblock och helst brytas ner i delposter för lägre nivåer för att underlätta uppföljning och skapa lokalt engagemang i organisationen. På längre sikt kan däremot kollektivdosmålen ha en hög ambitionsnivå och vara något att sträva mot i det fortsatta arbetet med att reducera stråldoser.

När det gäller måltal för individdoser anser SSI att det lämpligaste är att dessa är gemensamma för hela anläggningen. Styrmedel för att innehålla måltal (till exempel planeringsvärden) bör vara dokumenterade. Det är viktigt att ALARA-programmen beskriver hur uppföljningen av mål och vidtagna åtgärder ska ske, samt hur redovisningen av resultat och erfarenhetsåterföring ska ske i den egna organisationen.

ALARA-programmen vid verken innehåller ofta listor på de olika åtgärder, av teknisk eller administrativ karaktär, som ska vidtas för att minska stråldoser. En viktig del av dessa åtgärder är att minska koboltfrigörelse i systemvattnet, utbyte av ställkomponenter samt skärnings- och dekontamineringsåtgärder i samband med de årliga revisionerna. En uttalad policy om åtgärder i samband med större bränsleskador i syfte att undvika spridning av frigjord aktivitet i reaktorns system krävs i SSI:s föreskrifter.

Efter den inspektion som genomfördes år 1997 gjorde SSI bedömningen att strålskyddet vid de svenska anläggningarna hanterades enligt ALARA-principen. Vid samtliga anläggningar visade sig viljan att hålla doser och dosrater på låga nivåer vara påtaglig. Stödet från verksledningen var uttalat. Vidare används system för att dokumentera iakttagelser och erfarenheter från arbetsmoment vilket gör att det finns goda möjligheter till att utveckla och systematisera analyser.

System för erfarenhetsåterföring

En viktig del i arbetet med att minska stråldoser och strålnivåer vid verken är att tillvarata vunna erfarenheter och personalens kunskap. Det senare omfattar även alla de entreprenörer vars arbetsinsats utgör merparten av revisionsverksamheten vid de svenska kärnkraftverken, både räknat i antalet arbetstimmar och i erhållen dos. En del arbeten utförs av specialister vars arbetsmarknad snarare är internationell än nationell. De system för erfarenhetsåterföring som byggts upp håller sig inte heller innanför nationsgränser utan täcker flertalet länder med kommersiella kärnkraftsreaktorer.

Säkerhetskulturen inom svensk kärnkraftsindustri har sedan länge byggt på att inträffade händelser och erfarenheter från utförda arbeten skall rapporteras, samlas och analyseras. I skriften *Säkerhetskultur* som togs fram 1994 av SKISOS, en arbetsgrupp från

kärnkraftindustrin och de två säkerhetsmyndigheterna, ges rekommendationer avseende innebörden av en god säkerhetskultur, prioriteringar, planering, öppenhet, yrkesmannaskap och lärande. I denna återfinns även en presentation av begreppet Erfarenhetsåterföring:

”Det finns ett styrt system för erfarenhetsåterföring från den egna verksamheten. Vid inträffade händelser analyseras dessa metodiskt för att identifiera grundorsakerna, prioritera, åtgärda och följa upp resultatet.

De egna erfarenheterna förmedlas till andra intressenter och på motsvarande sätt tar man till sig andras erfarenhet.

Kommunikationen, externt såväl som internt, är generös och sker på ett styrt sätt”.

På internationell nivå finns flera olika system för erfarenhetsutbyte mellan olika kärnkraftverk. Så kallad ”benchmarking”, det vill säga jämförelse av arbetssättet vid ett visst kärnkraftverk med internationell praxis utförs till exempel inom ramen för WANO:s (*World Association of Nuclear Operators*) och INPO:s (*Institute of Nuclear Power Operations*) verksamhet. Även IAEA har, som en service till sina medlemsländer, erbjudit granskning av kärnkraftverks verksamhet av internationella experter inom ramen för ASSET (*Assessment of Safety Significant Event Teams*) och OSART (*Operational Safety Review Team*). I dessa granskningar betraktas främst säkerhetsfrågor och strålskydd utgör bara en del av helheten.

År 1992 startade OECD:s kärnenergiorgan, NEA, en databas för utbyte av dosstatistik, information, teknikfrågor m.m. avseende ALARA-frågor: ISOE.

Inom Norden har ett omfattande arbete för utbyte av erfarenheter och information skett inom ramen för NKS, Nordisk Kärnsäkerhetsforskning. Eftersom det enbart är i Finland och Sverige som det finns större elproducerande kärnkraftverk har dock NKS arbete inte omfattat personaldoser vid kärnkraftverk. Verksamheten inom NKS har varit mer fokuserad på olika samarbeten inom beredskaps- och säkerhetsområdet.

I Sverige har verksledningarna vid kärnkraftverken uttalat sitt stöd för öppet erfarenhetsutbyte inom områdena säkerhet och strålskydd. Detta utbyte av erfarenheter sker dels vid återkommande möten mellan olika specialister (till exempel dosimetri, utbildningsfrågor, mätfrågor), dels via informella samtal och möten mellan de verksamma inom områden som berör strålskydd (föreståndare, strålskyddare, kemister med flera).

Vid blocken sker under revisionsperioderna dagligen genomgång av föregående dygns verksamhet inom revisionsprojektet. Information ges om hur de planerade arbetena förflöpt, inträffade händelser och den verksamhet som ska ske under dagen. Vid blockskyddsmöten överförs information mellan blocken och lämpliga åtgärder för att förbättra skyddsarbetet avhandlas.

Strålskyddsföreståndaren [10] vid ett kraftverk är ofta placerad nära ledningsfunktionen i en enhet som är sysselsatt med verksövergripande granskning och kontroll (kvalitetssäkring) och ej direkt ansvarig för utformning och genomförande av driften. Föreståndaren utgör verksledningens expertresurs i strålskyddsfrågor men deltar ofta i erfarenhetsåterföringsarbetet avseende strålskyddsfrågor. Ibland har, som ett stöd till föreståndaren, ett särskilt råd för strålskyddsfrågor inrättats. Föreståndaren, tillsammans med det rådgivande organet, ger rekommendationer till verksledningen avseende mål och inriktning av strålskyddsarbetet.

En stor del av den insamlade erfarenheten finns hos de inhyrda entreprenörer som utför arbetet under de återkommande revisionerna och vid planerade reparations- och ombyggnadsarbeten. Det är därför viktigt att det finns en fungerande kommunikation och ett samspel mellan ordinarie personal och entreprenörsföretag. Utöver de dagliga möten som hålls under revisionsperioderna med olika arbetsledare och skyddsgrupper finns även förslagslådor och man informerar alla som arbetar om att arbetsskador och tillbud ("nära på händelser") ska anmälas på "härför avsedd blankett".

Efter de årliga revisionerna samt efter större arbeten vid verken sammanställs erfarenheterna i skyddsrapporter. De slutsatser som dras beaktas vid planeringen av kommande års revisioner. Representanter för skyddsgrupperna har gemensamma genomgångar med olika grupper, till exempel provare, för att fastställa vad som fungerat väl och vad som gått mindre bra.

Uppföljning av måltal och verksamheter, inkluderande dosmål, miljömål och arbetarskydd, sker vanligtvis kvartalsvis (vid vissa verk månadsvis) och redovisas till driftledning och chefer. Affärsområdeschefer och styrelser informeras månads-, kvartals- och årsvis om mål, utfall och prognoser.

Strålskydd beaktas tidigare i planeringen

En viktig förändring som påtalas av de som arbetar med strålskyddsfrågor vid kärnkraftverken är att de tidigare än förut kommer in i de grupper som arbetar med planering och att strålskyddsfrågor beaktas vid arbetets utformning. Det kan gälla såväl val av arbetssätt, utbildning, lämplig utrustning som när arbetet skall förläggas i tiden. Ofta pågår ju flera arbeten samtidigt under en revision och det gäller att de placeras i rum och tid på ett sådant sätt att onödig exponering för joniserande strålning undviks.

SSI anser att det fortfarande går att förbättra planeringsarbetet och detta gäller då speciellt vid större arbeten som upphandlas på entreprenad, ofta bland företag som arbetar på den internationella marknaden. Vid flera tillfällen har SSI noterat att underlag från entreprenörsfirmorna inte har lämnats in i rätt tid eller varit bristfälliga. I vissa fall förekommer även svårigheter med arbetskultur, språk och kommunikationer. I detta sammanhang vill dock SSI påpeka att det åligger den som bedriver verksamheten, det vill säga tillståndshavaren, att tillse att upphandling sker på ett sådant sätt att en hög säkerhet och ett gott strålskydd bibehålls. Detta ansvar kan inte delegeras till entreprenörer och underleverantörer.

Tekniska åtgärder

En rad olika tekniska åtgärder har genomförts vid de svenska verken för att minska doser och strålnivåer. En del av dessa är av mindre komplex natur, men kan ändå ge upphov till stora dosbesparingar. Som exempel kan nämnas fasta strålskärmar som leder till färre tillfälliga skärningsåtgärder, avläsning med hjälp av kameror eller fjärrstyrda system för att undvika onödig vistelse eller rondering inom gul- och rödklassade områden, längre kablar för utrustning vid vissa provningsmoment för att kunna arbeta längre bort från strålkällan, och så vidare. I det följande beskrivs en del mer omfattande åtgärder och komplexa problem som man arbetat med under det senaste årtiondet.

Utbyte av delar av reaktorns processystem

Genom återkommande provning av reaktorsystem i svenska reaktorer har sprickor och materialdefekter till följd av interkristallin spänningskorrosion upptäckts. Denna typ av korrosionskada kan uppkomma om man samtidigt har dragspänningar (trycksatta system, restspänningar från svetsning, samt vid termiska transienter), en oxiderande vattenmiljö och ett material som är känsligt för denna typ av korrosion (austenitiska rostfria stål samt nickelbaslegeringar). Man talar även om ”sensibilisering” vilket innebär att det rostfria materialet blivit extra känsligt för korrosion genom olämplig svetsmetod eller värmebehandlingsmetoder.

I de fall då sprickor och defekter upptäckts har detta ofta lett till reparationer och utökad provning och därmed större stråldoser till personalen. Speciellt svårt är detta när reparationerna ska utföras under tidspress och när det inte varit möjligt att grundligt planera arbetet. En utveckling mot mindre korrosionsbenäget material i de reaktornära systemen, färre korrosionsskador och därmed mindre behov av provning medför också lägre stråldoser till underhållspersonalen.

Under 1980-talet utvecklades en metod med vätgasdosering, HWC-drift, som förändrar kemien i reaktorvattnet från en oxiderande miljö (syre och väteperoxid från radiolys) till en reducerande potential. Man kan dock inte uppnå reducerande betingelser i hela reaktortanken genom att dosera väte. Vid vätgasdosering höjs dosraterna i ångledningssystem och turbinssystem. Detta beror på att kväve, istället för att uppträda som nitrit eller nitrat, övergår till att förekomma som ammoniak. Därmed ökar andelen flyktigt kväve-16 och därmed strålningen från ångsystemen. Även andra, sekundära radiologiska effekter kan uppkomma beroende på att vattenkemien i reaktor ändras då vätegas doseras. Idag undersöks ädelmetallplätering av systemytor som ett intressant alternativ till HWC-drift i syfte att motverka IGSCC (*Intergranular Stress Corrosion Cracking*) [11]. Klorider och sulfider förvärrar IGSCC både vid normal vattenkemi och när HWC-drift används. Nya typer av jonbytarmassor har införts i syfte att minska halten sulfider i reaktorvattnet.

Under 1990-talet har flera anslutningssvetsar och rörsystem bytts ut vid de svenska kraftverken i syfte att motverka uppkomst av denna typ av korrosion och minska behovet av provning. Speciellt känsligt har tillsatsmaterialet inconel-182 visat sig vara. Av detta skäl har man ofta tagit bort detta material från anslutningssvetsar och därefter har anslutningssvetsarna svetsats om med mer motståndskraftiga material. Vidare har det rostfria materialet i vissa rörsystem (till exempel nödkylsystem och kylsystem för avställd reaktor) bytts ut mot material med lägre kolhalt, mindre känsligt för uppkomst av IGSCC.

Ibland har vissa system helt bytts ut eller utformats på ett sådant sätt att onödiga skarvar och anslutningar avlägsnats. I samband med utbyte av interndelar och hårdgaller har man utfört nya delar i smide för att ta bort ett stort antal svetspunkter med potentiell skaderisk.

Stellitutbyte

Det har visat sig att en stor del av den mängd kobolt-59 atomer som frigörs till reaktorvattnet kommer från det koboltrika materialet stellit (60 procent kobolt) som förekommer i ventiler, turbinblad med flera platser. Stellit är en legering med mycket stort skärningsmotstånd och har använts i ventiler med hög påkänning. På senare år har koboltfritt ersättningsmaterial tagits fram men fortfarande återstår en hel del forskning och utvecklingsarbete, speciellt för vissa så kallade slidventiler i primärsystem där stora mekaniska påkänningar föreligger [12].

Vid alla svenska verk pågår program för koboltreducering. I vissa fall har ventiler bytts ut och vidare har speciella utbildningsprogram tagits fram för att minimera spridning av stället efter ingrepp i ställetbelagda ventiler. Att kobolt inte förekommer i hårdmaterial är förstås extra viktigt. Små tillsatser av kobolt har till exempel förekommit i ”bränslespridare” men dessa bränsleelement ersätts successivt med nya där spridarna tillverkats av zircalloy [13]. Andra indirekta åtgärder, för att minska effekterna av mängden bildat kobolt-60, består av optimering av vattenflöden, förändring av vattenkemin (zink-dosering), rengöring av systemytor (kemisk dekontaminering) med flera.

Bättre beredskap mot bränsleskador och begränsning av aktivitetsspridning

I samband med skador på kärnbränslestavarnas kapslingsrör av zircalloy i härden, kan ibland mindre mängder radioaktiva isotoper av ädelgaser läcka ut. Detta utgör inget större problem och förekomsten kan hanteras inom de existerande drift- och skyddssystemen. Varje driftår inträffar i Sverige enstaka sådana mindre bränsleskador. I mer sällsynta fall kan dock en sådan skada förvärras och utvecklas till en så kallad sekundär bränsleskada. I dessa fall har även själva bränslet börjat upplösas varvid smärre mängder av såväl uran som transuraner och fissionsprodukter sprids i reaktorns hård och primärsystem. Den senaste större bränsleskadan inträffade vid Ringhals 1 år 1993 då cirka 200 gram uran lakades ut och deponerades på hård, reaktorsystem och i jonbytarmassor.

När en sekundärskada uppträder avbryts driften för utbyte av skadat bränsle. Ibland kan dock skadan uppträda så snabbt att en mängd upplöst bränsle redan har spritts i reaktorsystemen. De strålskyddsmässiga konsekvenserna av en sådan skada har studerats i olika sammanhang [14]. Större bränsleskador leder till att strålmiljön förvärras under revisionerna med ökade doser vid reaktorblocket och ökade utsläpp av radioaktiva ämnen till omgivningen som följd. Dessutom kan bränsleskador innebära försämrade möjligheter till att upptäcka nya bränsleskador på grund av förhöjda bakgrundsvärden vid detekteringen.

SSI har i föreskrifter krävt att tillståndshavarna motverkar uppkomsten av bränsleskador och har en beredskap för att vidta åtgärder om större bränsleskador inträffar (SSI FS 2000:10, 31 §):

”En dokumenterad strategi avseende bränsleskador skall finnas vid en anläggning där det finns kärnkraftsreaktorer. Av denna skall det framgå hur man agerar vid anläggningen för att så långt som möjligt undvika uppkomst av bränsleskador samt hur situationer då bränsleskador har uppstått skall hanteras.”

Ny teknik har utvecklats för att finna metoder att rena bränsle i härden från fissilt material, crud och uppsamlade korrosionsprodukter i samband med större bränsleskador.

Renhet i system

Som redan nämnts ovan försöker man motverka spridning av stället vid ingrepp i ventiler genom att den personal som genomför detta arbete får extra utbildning om hur man rengör arbetsplatsen och tar hand om allt slipdamm med mera. Uttrycket ”renhet i system” har dock även en annan innebörd. Större delen av de bränsleskador som uppkommit under senare år har varit nötningskador, det vill säga skador på bränslets kapsling orsakade av främmande föremål, (skräp och metallspånor) i härdsystemet.

Främmande föremål kan också orsaka kärvning av styrtavornas drivdon, vilket leder till ökade doser vid reparationsåtgärder. Under senare år har man observerat ett ökande antal primära bränsleskador, som också i vissa fall har lett till sekundärskador och förebyggande åtgärder har vidtagits. Åtgärderna varierar från införande av partikelavskiljare och skräpfilter i anläggningens reaktorsystem, skräpfilter på enskilda bränsleelement i härden, till omfattande administrativa program. Exempel på andra åtgärder är kontroll av utrustning och renhet på arbetsplatser under revisioner, val av verktyg och arbetsmetoder, hantering av inkommande material i känsliga utrymmen, granskning av instruktioner och erfarenhetsåterföring.

I början av år 2002 noterade SKI och SSI i sin årliga redovisning till regeringen av säkerhets- och strålskyddsläget vid de svenska kärnkraftverken att ytterligare insatser behövs för att undvika bränsleskador.

Nedkörning av reaktorer inför revisionsavställningar

Den största delen av stråldoserna får personalen vid kärnkraftverken i samband med revisionerna. Då genomförs planerat byte av kärnbränsle, underhåll och reparationer samt kontroll av säkerhetssystem. Det är därför extra viktigt att strålnivåerna i anläggningen hålls så låga som rimligt möjligt när detta arbete utförs.

Det sätt på vilket en reaktor stoppas och de åtgärder som vidtas någon eller några dagar innan revisionen startas är viktiga. Arbete har lagts ner vid de svenska kraftverken i syfte att finna en bra strategi för avställning av en reaktor. Vid kokvattenreaktorerna vill man undvika oavsiktlig avlossning av partikulär aktivitet (radioaktiva korrosionsprodukter) från bränsle och systemtor och försöka skölja bort och rena de radioaktiva ämnen som finns i de vattenfyllda systemen. Samtidigt innebär detta med nödvändighet en avvägning mellan kostnader för att en reaktor står avstängd en längre tid (personalkostnad, förlust av produktion), och ökade skyddsinsatser (skärmning, skyddsutrustning, administrativa åtgärder) i syfte att begränsa persondoserna.

I de fall HWC-drift används övergår man ofta till normal vattenkemi (utan vätgasdosering) några dagar innan avställningen i syfte att minska mängden lös partikelaktivitet i systemen. Vid en del kokarreaktorer genomförs snabbstoppsutlösningar innan revisionsstart för att minska strålnivåerna i nedre delarna av reaktorinneslutningen. Vid tryckvattenreaktorer förändrar man vattenkemin någon dag innan revisionen så att radioaktivitet lossnar från bränslet och under denna tid genomförs forcerad rening av vattenfasen genom speciella reningsfilter.

I kokarreaktorer har aktivitetstransienter observerats i samband med avställningen och det har antagits att dessa orsakas av snabba tryckförändringar i reaktorn. För att motverka detta har förslag utarbetats för hur ändringar i vattennivåer och tryckförhållanden skall utföras (optimeras) inom kraftverksindustrins projekt ALARA-2000 [8].

Fukthalt i ånga

Vid några finska och svenska kokarreaktorer har fukthalten i reaktorångan till turbin ("carry-over") varit relativt hög allt sedan den första provdriften. Med vattendroppar i ångan förs radioaktiva ämnen över till turbinsystemen. I längden leder detta till förhöjda dosrater i turbinbyggnaden och ökade stråldoser under revisionerna. En ökad fukthalt

innebär också ökad förslitning av turbinerna och att mer arbete utförs i turbinsystemen (provning, reparationer) vilket också innebär högre stråldoser.

För att motverka problemet infördes sänkt vattennivå i reaktortanken och begränsningar i huvudcirkulationsflödet (HC-flödet) under vissa driftsituationer.

Problematiken blev särskilt tydlig i samband med att den maximala effekten vid dessa reaktorer höjdes i mitten av 1980-talet. SSI krävde då från strålskyddssynpunkt att fukthalterna skulle hållas så låga som rimligt möjligt och speciellt att höga fukthalter skulle undvikas före större arbetsinsatser på turbinsidan. Vidare ställdes krav på fortsatt uppföljning av strålnings- och kontaminationsnivåer.

Trots de vidtagna åtgärderna var doserna på turbinsidan relativt höga under större delen av 90-talet. Under åren 1997-98 byttes ångseparatorerna i dessa reaktorer. Därefter har fukthalten i ångan till turbinerna minskat från ca 0,5 procent till ungefär 0,1 – 0,2 procent. Strålnivåerna på turbinsidan har minskat och därmed även stråldoserna under revisionerna.

Förändringar i vattenkemi

Som tidigare omnämnts härstammar huvuddelen av stråldoserna vid en reaktor från den aktiverade korrosionsprodukten kobolt-60 och till mindre del även från t.ex. kobolt-58, mangan-54, och antimon-124. Det är förstås av stor vikt att förstå hur dessa korrosionsprodukter sprids via vattenfasen i reaktorsystemen. Man vill veta hur de tas upp av oxidskikten på systemytorna, vad som frånskiljs i reningsfilter med jonbytarmassor och vilken mängd som fastnar på kärnbränslet i härden. Vidare måste man förstå hur olika jämviktslägen påverkas vid ändringar i driftparametrar och vid olika former av vattenkemi. Under årens lopp har olika modeller utvecklats för att förstå vad som händer under olika driftbetingelser. Detta utvecklingsarbete av transport- och upptagsmodeller för aktivitet i oxidskikt i primära system på BWR är definitivt inte färdigt utan utvecklas successivt genom flera utredningar och projektarbeten [15].

Tryckvattenreaktorer

Vid uppstarten av den första svenska tryckvattenreaktor upptäcktes efter några år en hastig aktivitetsuppyggnad i primärsystemen. Man misstänkte tidigt att vattenkemin bidrog till den oönskade utvecklingen. Förändringar i vattenkemin infördes på rekommendationer av huvudleverantören, Westinghouse, vilka dock snarare försämrade situationen. Efter vad man senare förstått rådde en kemi som innebar att korrosionsprodukterna i början av bränslecykeln transporterades från primärsystemet till härden, där de deponerades och aktiverades. I en tryckvattenreaktor används borsyra löst i reaktorvattnet för att påverka reaktiviteten. Efterhand som mängden fissilt material avtog i härden sänktes borhalten successivt. Vid låga borhalter i slutet av bränslecykeln ändrades pH och därmed lösligheten för korrosionsprodukterna. De flyttade nu från bränslet till de kallare delarna i primärsystemet, det vill säga ånggeneratorernas kalla sida.

I Ringhals löstes problemet genom att höja litiumhalten i reaktorvattnet. Då erhålls ett högre pH-värde och man får en positiv temperaturkoefficient. Under den tidiga driften deponerar korrosionsprodukterna då på de kallaste delarna i systemet istället för på härden. Efter revisionerna år 1984 har därefter alla tre tryckvattenreaktorerna i Ringhals körts med ett högre och mer konstant pH-värde. Den vid Ringhalsverket utvecklade metoden tillämpas numera vid en stor del av världens tryckvattenreaktorer [16].

Kokarreaktorer

År 1989/1990 påbörjades tester med järndosering vid Forsmark 2. Under åren 1994-1996 genomfördes även tester med järndosering vid de övriga blocken vid Forsmarksverket. Slutsatser redovisades bland annat vid KEMOX-symposiet i november 1995 [17]. Halten av kobolt-60 sjönk i reaktorvattnet, något som var positivt för blocken Forsmark 1 och 2 som hade hög fukthalt och höga turbindoser. Effekten på ytdosraten i kylsystemen för avställd reaktor, var dock mindre än förväntat. Vidare ökade ytaktiviteten av antimon-124 signifikant vid järndosering. För närvarande sker ingen järndosering vid Forsmarksverket.

Inom projektet Nordzink har prov med zinkdosering utförts vid reaktorn Barsebäck 2 med gott resultat. Doseringen av zink måste dock anpassas till den aktuella reaktorkemin. Med olämplig balans mellan järntillförsel och zinkdosering kan risk för förhöjd kapselkorrosion förekomma. Vid reaktorer med hög tillförsel av järn förefaller den positiva effekten av zinkdosering vara minskad avlossning av kobolt från bränslecruden, medan minskad koboltdeponering på systemytor verkar vara den positiva effekten vid reaktorer med lägre järntillförsel [18].

Ändringar av reaktorvattenkemin görs ibland utifrån andra orsaker än rena strålskyddsskäl exempelvis övergång till så kallad HWC (*Hydrogen Water Chemistry*), där vätgas leds in i reaktorvattnet vilket ger ett överskott på väte som förhindrar uppkomsten av spänningskorrosion i centrala systemdelar. HWC medför dock en ökad strålningsnivå framförallt i de äldre reaktorerna, men denna effekt har reducerats kraftigt genom att man infört lokal dosering av syre.

Reglering av vattenflöde

En driftparameter som är värd att beaktas är de olika vattenflödena i renings- och kylsystemen under drift och avställning. Genom att bättre reglera pumparna i kylsystem för avställd reaktor, så kallad varvtalsreglering, har man till exempel vid Forsmark 1 och Forsmark 2 sett till att huvuddelen av vattenflödet går igenom reningssystemet för reaktorvatten och inflödet av kobolt-59 till härden därigenom minskas (fullflödesrening). Detta ger också ett minskat slitage på pumparna i renings- och kylsystemen och därigenom minskat underhållsbehov.

Nuvarande strålskyddsförhållanden

Allmänt

Under år 2002 bröts de senaste årens trend med sjunkande stråldoser till personalen på grund av genomförandet av det stora moderniseringsprojektet vid Oskarshamn 1, projekt MOD, vilket pågick under hela året. Stråldosen vid övriga svenska verk överensstämmer med de senaste årens sjunkande trend, som kan förklaras med att man nu skördar effekterna av ett långsiktigt arbete med att reducera strålnivåer, ett förbättrat arbetssätt och en ökad strålskyddskompetens hos personalen. De ombyggnationer som genomförs i samband med modernisering av reaktorer minskar behovet av underhåll och provning, vilket också bidrar till de lägre stråldoserna.

Under de ekonomiska förhållanden som rådde efter avregleringen av elmarknaden i slutet av 1990-talet, med sjunkande lönsamhet till följd, strävade verken efter att minska kostnaderna för underhåll och drift. Den avreglerade elmarknaden innebär en fortsatt kostnadspress på kraftföretagen som man möter med olika typer av effektiviseringar vilka berör såväl organisation och verksamheten i stort. Bland annat har såväl tidsplan som omfattning och inriktning av moderniseringsplanerna påverkats. De arbeten som utförs, inplaneras så att genomförandena blir så rationella som möjligt och i de flesta fall bidrar denna strävan även till ett lägre dosutfall. Samtliga kärnkraftverk har också nyligen genomfört stora omorganisationer. SSI har nyligen genomfört en temainspektion gällande organisation med inriktning på strålskydd vid samtliga svenska kärnkraftverk [19].

Generellt sett ökade strålnivåerna i anläggningarna under större delen av 1990-talet. De senaste tre till fyra åren har dock nivåerna sjunkit och den årliga stråldosen till personalen vid de svenska kärnkraftverken ligger nu omkring 10 manSv per år.

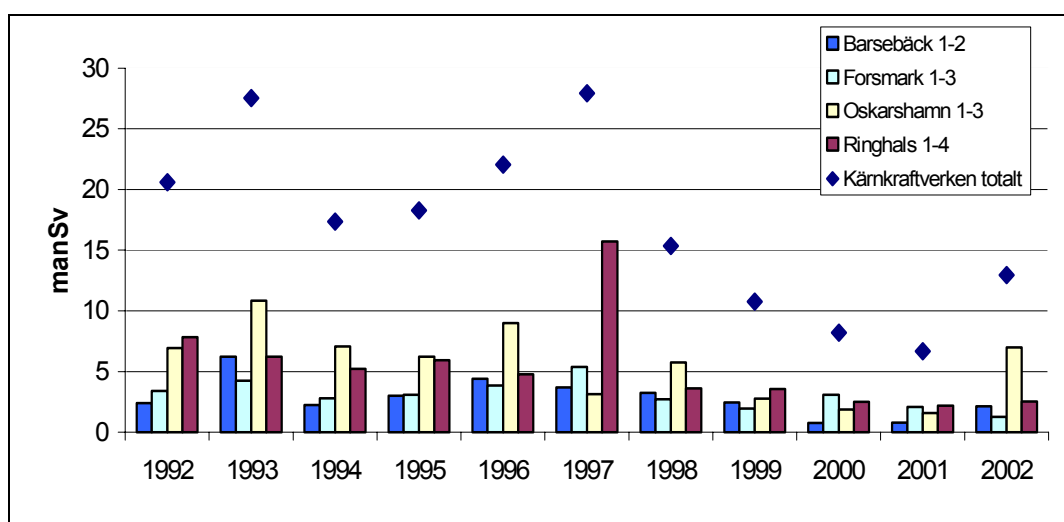
Interndoser

Stråldoser från intag av radioaktiva ämnen i kroppen har vid de svenska kärnkraftverken varit relativt sällsynta under åren. Anledningen till detta är att man vid anläggningarna har haft ambitionen att alltid försöka undvika intag. Dels genom att så långt som möjligt förhindra spridning av luftburen aktivitet från kontamination på ytor, dels genom att se till att berörd personal får tillräckliga instruktioner och utbildning samt använder nödvändig personlig skyddsutrustning. I de fall internkontaminationer har inträffat har orsaken antingen varit slarv med användandet av skyddsutrustning eller en händelse där oavsiktlig spridning av aktivitet skett.

Ett fåtal personer per år har fått mätbara intag av radioaktiva ämnen i kroppen vid kärnkraftverken och de resulterande stråldoserna har varit i storleksordningen delar av millisievert. I ett fåtal fall har stråldoser över ett par millisievert konstaterats. I förhållande till de stråldoser som uppkommer från extern bestrålning är alltså stråldoser till personal från internkontaminationer små.

Det förtjänas att påpeka att det är en tidskrävande process att mäta intag av aktivitet i kroppen och det är dessutom förhållandevis komplicerat att med hög noggrannhet beräkna resulterande interna stråldoser. SSI ser det därför som viktigt att även

fortsättningsvis behålla ambitionen att i första hand försöka undvika uppkomsten av internkontaminationer.



Figur 7. Årlig stråldos till personal vid svenska kärnkraftverk.

Figur 7 visar dosutvecklingen för personal vid kärnkraftverken mellan åren 1992 och 2002. Vissa år har större ombyggnadsarbeten lett till högre stråldoser än normalt, till exempel i samband med åtgärderna under 1992-1993 efter silhändelsen i Barsebäck samt vid moderniseringen av Ringhals 1 år 1997. I tabell 1 redovisas stråldosuppgifter för kärnkraftverken under år 2002. I tabell 2 och 3 redovisas stråldoserna fördelade på yrkeskategorier respektive dosintervall.

Tabell 1. Sammanställning av stråldoser till personal vid kärnkraftverken under år 2002.

	Total årsdos (manSv)	Max individdos (mSv)	Medeldos (mSv)	Antal personer med registrerad dos > 0,1 mSv
Barsebäck	2,1	19,5	2,3	923
Forsmark	1,3	16,2	1,3	955
Oskarshamn	7,0	26,6	3,7	1878
Ringhals	2,5	18,4	1,9	1330

Eftersom en enskild person kan få registrerad stråldos vid flera olika anläggningar kan inte antalet personer med registrerad stråldos summeras över anläggningarna. Av samma orsak kan den högsta enskilda stråldosen vara högre än den högsta registrerade individdosen per anläggning.

Tabell 2. Sammanställning av stråldoser per yrkeskategori vid kärnkraftverken under år 2002

Yrkeskategori	Kollektivdos (mmanSv)	Antal	Medeldos (mSv)	Högsta dos (mSv)
Strålskyddare	826	248	3,3	19,9
Mekaniker	6349	1730	3,7	23,1
Servicepersonal	1650	589	2,8	27,0
Ställningsbyggare	470	116	4,1	14,2
Isolerare	849	127	6,7	26,6
Driftpersonal	597	509	1,2	15,4
Provningspersonal	694	272	2,6	16,6
El & instrumentpersonal	1284	689	1,9	19,5
Kemister	63	81	0,8	6,2
Övriga	179	304	0,6	5,9

Tabell 3. Antal personer i olika dosintervall vid kärnkraftverken under år 2002.

Intervall (mSv)	All personal	Egen personal	Entreprenörer
0,1 - 1,0	2098	784	1314
1,1 - 2,5	1042	284	658
2,6 - 5,0	661	132	529
5,1 - 10,0	524	58	466
10,1 - 15,0	202	18	184
15,1 - 20,0	94	11	82
20,1 - 25,0	9	0	9
25,1 - 30,0	3	0	3
30,1 - 35,0	0	0	0

Man kan av tabellerna utläsa att yrkeskategorin mekaniker utgör den största arbetsgruppen såväl i antal som i kollektivdos. Medeldosen varierar för de olika yrkeskategorierna. Kategorin isolerare är den grupp som har den högsta individuella dosbelastningen. En orsak är svårigheter med att strålskärma arbetsobjekten inför dessa arbeten. Man kan även notera att endast ett fåtal personer under senare år erhållit doser över 20 mSv per år.

Reviderade krav

Reviderade krav har införts i SSI:s föreskrifter under senare tid.

SSI FS 1996:3

(Gäller generellt för all strålningsrelaterad verksamhet)

Berör externa personer i verksamheten med joniserande strålning. Genomför direktiv 90/641/Euroatom om strålskydd för externa arbetare inom kontrollerat område.

SSI FS 1998:3

(Gäller generellt för all strålningsrelaterad verksamhet)

Styr kategoriindelning av arbetstagare och arbetsställen vid verksamhet med joniserande strålning. Genomför del av direktiv 96/29/Euratom om fastställande av grundläggande säkerhetsnormer för skydd av arbetstagarnas och allmänhetens hälsa.

SSI FS 1998:4

(Gäller generellt för all strålningsrelaterad verksamhet)

Enligt SSI:s föreskrift SSI FS 1998:4 får den effektiva dosen till en arbetstagare inte överstiga 50 mSv under ett kalenderår, vidare får inte dosen överstiga 100 mSv under fem på varandra följande kalenderår.

Under perioden 1998-2002 erhöll ingen arbetstagare vid kärntekniska anläggningar en femårsdos över 70 mSv.

SSI FS 1998:5

(Gäller generellt för all strålningsrelaterad verksamhet)

Berör föreskrifter om mätning och rapportering av persondoser; ändrad genom SSI FS 2003:2. Genomför del av direktiv 96/29/Euratom.

SSI FS 1998:6

(Gäller generellt för all strålningsrelaterad verksamhet)

Styr regler för läkarundersökning för arbete med joniserade strålning. Genomför del av direktiv 96/29/Euratom.

SSI FS 2000:10

(Gäller för verksamhet vid kärntekniska anläggningar)

SSI:s föreskrift SSI FS 1994:2, i vilken det ställdes krav på att verken skulle ha speciella ALARA-program, ersattes under 2000 av SSI FS 2000:10. SSI föreskriver i SSI FS 2000:10, 4 § och 5 § att:

4 §” Verksamheten vid kärnteknisk anläggning skall bedrivas så att alla stråldoser begränsas så långt det är rimligt möjligt med hänsyn till ekonomiska och samhällsliga

faktorer. För detta ändamål skall tillståndsinnehavaren se till att mål och erforderliga styrmedel utformas och dokumenteras samt att erforderliga resurser tillhandahålls.”

5 § ”Mål och styrmedel skall vara anpassade för anläggningen och vara utformade så att de beaktar såväl det dagliga som det långsiktiga strålskyddet. Alla personer som i sitt arbete utsätts för strålning eller som fattar beslut som kan påverka de av personalen erhållna stråldoserna, skall, i den utsträckning de berörs, känna till de aktuella målen och styrmedlen.

Verksamheten, inklusive dess mål och styrmedel, skall följas upp och utvärderas med avseende på bestämmelserna i 4 §. Sådan utvärdering skall göras minst en gång årligen. Dokumentation av utvärderingen skall sändas till Statens strålskyddsinstitut.”

SSI FS 2000:11

(Gäller för verksamhet vid kärntekniska anläggningar)

Föreskrifter om strålskyddsövervakare vid kärntekniska anläggningar.

Begränsning av stråldoser

En följd av kraven i ovan nämnda föreskrift, SSI FS 2000:10, är att man på verken numera mer uppstyrt bedriver olika verksamheter med syfte att begränsa strålnivåer och reducera doser i anläggningarna.

Revisionsplanering

Eftersom det är under revisionerna på kärnkraftverken som personalen får den största delen av stråldoserna och för att minimera stråldoserna när arbetet utförs, läggs mycket arbete ned på planering av alla ingående moment inför en revision. Eftersom man vill undvika avlossning av radioaktiva korrosionsprodukter från bränsle och systemytor och försöka filtrera bort de radioaktiva ämnen som finns i reaktorvattnet, är sättet man stoppar reaktorn på och de åtgärder man vidtar strax innan revisionen viktiga. Vidare lägger man ner arbete på bland annat analys av alternativa tillvägagångssätt för att genomföra en åtgärd, skärmning, skyddsutrustning och administrativa åtgärder.

Zink-dosering

På Barsebäck 2 arbetar man med zink-dosering, projekt NORDZINK, för att få ned dosraterna. Zink-dosering i reaktorvattnet minskar avlossningen av aktivitet från bränslecruden och minskar aktivitetsupptaget på systemytorna. Planer finns att införa zink-dosering på flera anläggningar.

Stellitutbyten

Stellit är en koboltbaserad legering som används på skalventiler inom kärnkraftindustrin. Styrkan med kobolten i legeringen är att den ger legeringen en förmåga att motstå skärning vid höga laster med bibehållen låg friktion. Tidigare genomförda forskningsprojekt visar att det under drift frigörs små mängder kobolt som omvandlas till radioaktivt kobolt-60 vid neutronbestralning i hårdheten. Eftersom kobolt-60 svarar för en betydande del av stråldosen vid underhållsarbete, bedrivs på kärnkraftverken arbeten med

att reducera förekomsten av kobolt i syfte att uppnå avsevärd dosreducering. Nya stellitersättningsmaterial är under utveckling och program pågår för utbyten av utsatta skalventiler.

Undvikande av bränsleskador

På senare år har antalet bränsleskador ökat trots genomförda insatser. Ett exempel är införandet av olika slags skräpfilter för att undvika skador. En stor del av skadorna är nötningsrelaterade. För att försöka komma till rätta med problemet har man på flera anläggningar startat projekt som syftar till att öka medvetenheten om renhet i systemen, det vill säga att undvika främmande föremål i systemen. Bränsleskador påverkar också uppbyggnaden av strålnivåer i olika system. Personalens medvetenhet om behovet av höga krav på renhet måste därför betonas även av detta skäl. Man arbetar också med forskningsprojekt för bränsleförbättrande åtgärder som till exempel införande av skräpfångare i bränslepatroner och bättre spridarmaterial.

Enligt SSI:s föreskrift 2000:10, 31 §, ska det vid anläggningar med kärnkraftreaktorer finnas en dokumenterad strategi avseende bränsleskador. Av denna skall framgå hur man agerar vid anläggningen för att så långt som möjligt undvika uppkomst av bränsleskador samt hur man ska hantera situationer då bränsleskador har uppstått.

Planerade eller nyligen genomförda moderniseringar och tekniska förändringar

Moderniseringarna görs generellt för att höja säkerhetsnivån och förbättra driftbetingelserna. I många fall medför ändringarna även sänkta doser till exempel genom att man genom ombyggnationer kan minska antalet doskrävande provningar och genom utbyte av material till sådant som är mindre sprickbenäget.

Barsebäcksverket

Under 2002 pågick vid Barsebäck 2 projektet PRIM (primärsystemets modernisering) som var ett liknande projekt som det vid Oskarshamn 2. Projektet syftade till att genom modernisering möta nya krav, förbättra anläggningen och säkra framtida drift. Konceptet byggde bland annat på att sänka dosraterna samt utföra omkonstruktioner i anläggningen för att minska provnings- och underhållsomfattning. Under PRIM genomfördes för systemdekontamination av reaktortankbotten, huvudcirkulationskretsen och reningssystem.

Forsmarksverket

Revisionsavställningarna år 2000 vid både Forsmark 1 och Forsmark 2 var mycket omfattande. Dominerande arbeten var byte av moderatortank och härdgaller samt byte av stora delar av rörledningarna i reningssystemen vid de båda reaktorerna. Trots de omfattande arbetena kunde personalens stråldoser hållas relativt låga.

Forsmark 3 hade en gynnsam dosutveckling under senare delen av 1990-talet trots ett antal månadslånga och omfattande revisioner. En kraftig ökning erhöles vid revisionen 2001 som varade i nästan sju veckor. Revisionen omfattade stora ombyggnadsarbeten då delar av de reaktornära rörsystemen samt vissa röranslutningar (stutsar) till reaktortanken byttes ut. En omfattande systemdekontaminering medförde låga stråldoser till personalen trots omfattande underhållsarbeten.

Under åren fram till 2012 genomför Forsmarks Kraftgrupp AB ett investeringsprogram, P40+. Målet för programmet är att de tre blocken vid Forsmarksverket ska producera el säkert, effektivt och konkurrenskraftigt i minst 40 år från driftstart. De största enskilda åtgärderna i programmet är byte av lågtrycksturbiner. Byte av lågtrycksturbiner vid de tre blocken, sker under åren 2004 – 2006 med början vid Forsmark 3 år 2004. I projektet ingår också säkerhetshöjande åtgärder samt byte av vissa rörsystem och värmeväxlare. En del utrustning ska dessutom ersättas med nyare teknik, t.ex. styrsystem för avfallshantering och turbinanläggning.

Oskarshamnsverket

Projektet MOD vid Oskarshamn 1 pågick under hela år 2002 och stråldosen 5,5 manSv var det största dosutfallet sedan år 1994. De omfattande, och ibland även doskrävande arbetena utgjordes bland annat av byte av pumphus i huvudcirkulationssystemet, ändringsarbeten på kylsystemet för avställd reaktor, olika ventilarbeten och ombyggnader av flera områden utanför reaktorinneslutningen. Stora arbeten utfördes även på turbinsidan. En stor del av den totala stråldosen erhöles av personer som arbetade med ställningsbygge, på- och avisolering av system, inspektioner och kontroller. Projektet pågick till i början av januari 2003. OKG:s nästa större projekt som gäller renovering av O2 påbörjades våren 2003, och kommer att fortgå i mindre etapper under kommande år.

Ringhalsverket

Under 2002 började arbetet med att reparera svetsarna på reaktortankens in- och utloppsstusar på Ringhals 4. Arbetet fick projektnamnet "*safe end reparation*" - SERP. Förutsättningen för att kunna genomföra en invändig reparation var att området var torrt och dränerat. Man konstruerade därför en stålcylinder för placering i reaktorbassängen och i den en arbetsplattform som möjliggjorde arbeten nere i reaktortanken. Motsvarande arbete utfördes på Ringhals 3 under revisionen 2003.

Under 2003 byttes moderatortanklocket (projekt REM) vid Ringhals 1. Under samma år byttes även matarvattenrören högt upp inne i reaktorinneslutningen under "strumpan" och förankringar av matarvattenledningarna inne i reaktorinneslutningen. Detta projektet benämndes DEAR.

På Ringhals 4 planeras ett arbete med byte av reaktortanklock under 2005 och på Ringhals 3 planeras motsvarande byte genomföras året därpå. Vissa förberedelser av det så kallade TWICE-projektet gjordes under 2003 på Ringhals 2 inför ett omfattande arbete med utbyte av kontroll- och instrumenteringsutrustning. Projektet planeras att slutföras under 2006.

Framtiden

Tekniska åtgärder

Enligt vad SSI erfar kommer moderniseringsarbete och avhjälpande underhåll vid de svenska kärntekniska anläggningarna att pågå även under de närmaste fem till tio åren. Trenden är att sådana åtgärder allt oftare fördelas under ett antal år istället för att koncentreras till ett enskilt tillfälle. De investeringar som görs kan då spridas ut under en längre tid, produktionsavbrotten blir kortare och det är lättare att administrera ett antal mindre delprojekt än ett stort projekt med fler osäkerhetsfaktorer och fler personer inblandade. SSI har inte gjort någon generell värdering av huruvida ett sådant tillvägagångssätt är positivt eller negativt för strålskyddet.

En del av förändringsplanerna innebär inte verksamhet i doskrävande miljöer (förändringar av turbinsystem, uppgradering av avfallsanläggningar med mera), men även mer doskrävande insatser kan förutses. Under de senaste åren har till exempel åtgärder utförts vid de svenska kärnkraftverken i syfte att åtgärda sprickbildningar, andra materialproblem och för att eliminera svagheter i de tekniska systemen.

Som redan beskrivits har flera utförda åtgärder lett till sänkta strålnivåer och stråldoser vid de svenska verken som utbyte av stellite-material i ventilsäten, byte till rörsystem tillverkade av bättre material, nya bränsleskadestrategier, administrativa och tekniska åtgärder som motverkat aktivitetsspridning, zinkdosering med mera.

Som ett led i säkerhetsarbetet förväntas oförstörande provning även fortsättningsvis vara en viktig verksamhet och ibland utförs denna i doskrävande miljöer och med tekniker som inte helt kan eliminera stråldoser till personalen. I syfte att motverka materialproblem (olika typer av korrosion och sprickbildningar) i reaktorerna kan SSI även förutse olika planerade förändringar i vattenkemin, till exempel ökad användning av vätgasdosering och ädelmetalldosering, vilket kan leda till ändrade strålskydds-förhållanden vid blocken.

Åtgärder kommer förmodligen att vidtas i syfte att ytterligare öka effektuttaget hos flertalet av de svenska kärnreaktorerna utöver nuvarande effektnivåer. Om och i vilken utsträckning detta kan påverka strålnivåerna vid verken måste analyseras för varje enskild reaktor, men en viss negativ effekt kan inte uteslutas.

SSI:s sammanfattande bedömning är att doskrävande arbeten även kommer att genomföras under de kommande fem till tio åren. Tekniska förändringar kan förutses som kan leda till såväl sjunkande som ökande stråldoser. Ofta innebär genomförandet av tekniska förändringar i reaktorerna ökande stråldoser till personalen under de aktuella revisionsavställningarna. Möjligen kommer framtida moderniseringsåtgärder som en följd av lägre allmänna strålnivåer, dekontaminering och ny teknik, att kunna utföras med lägre totala stråldoser än vad motsvarande verksamhet ledde till under några år i mitten av 90-talet. Kraven på hög tillgänglighet är dock inte lätt att förena med behov av tid för förberedelser, speciellt inte när situationer uppkommer där avhjälpande underhåll måste utföras under driftperioden.

Moderniseringskrav

Allt eftersom det sker en teknisk utveckling inom kärnsäkerhetsområdet är det rimligt att det parallellt sker en utveckling av de säkerhetsrelaterade kraven för kärnkraft-anläggningarna. SKI håller för närvarande på med föreskrifter om framtida regelsystem med uppgraderade säkerhetskrav. De planeras att tas i bruk under de närmaste åren. Kraven kommer att gälla generellt för samtliga svenska kärnkraftanläggningar. Uppgradering av anläggningarna till de nya föreskriftskraven och även åtgärder som större moderniserings- och underhållsåtgärder för att möta interna lönsamhetskrav kommer att leda till att personaldoserna kan komma att öka väsentligt för enskilda år och reaktorer. Dessa insatser medför naturligtvis att insatserna för att begränsa personalstråldoserna parallellt måste bevakas av SSI genom såväl kort- som långsiktigt tillsynsarbete och vid behov även med ny föreskriftsreglering på strålskyddsområdet.

Ju närmare en slutlig avställning en anläggning kommer, desto svårare blir det att ekonomiskt motivera en bibehållen säkerhetsnivå. Slutskedet under en tidsbegränsad kärnkraftsperiod bör därför bli en utmaning för såväl anläggningsägarna som tillsynsmyndigheterna gällande avvägning mellan ekonomi och säkerhet. Det bör noteras att anläggningarna redan genomfört stora moderniseringsåtgärder och även tagit beslut om stora reparations- och moderniseringsåtgärder. Som exempel kan nämnas Oskarshamnsverket, som nyligen uppgraderat block 1 till det som idag betraktas som modern europeisk säkerhetsstandard.

Kompetens och utbildning

Behovet av kompetens och utbildning kan studeras och bedömas utifrån olika aspekter. Dels krävs att olika personalgrupper har god kunskap om relevanta tekniska och säkerhetsmässiga bedömningar för att olyckor eller driftsituationer som innebär stora eller ökande stråldoser ska undvikas, dels krävs personal med kompetens inom strålskyddsområdet för att lösa de frågor som uppkommer i samband med normaldrift eller i haverisituationer.

Kärnteknisk kompetens

Behovet av kompetens inom det kärntekniska området har bedömts av SKI [20] och OECD/NEA [21]. Utbildning och forskning i Sverige avseende kontroll- och provningsmetoder förekommer inte i önskad utsträckning och SKI har därför vidtagit särskilda åtgärder för att stödja pågående verksamheter och initiera ny forskning och utveckling. Inom området ledning, styrning och organisation av verksamheter med höga säkerhetskrav har SKI också identifierat brister. Många forskare arbetar med organisationsfrågor men ofta utan att beakta säkerhetsperspektivet och även här vill SKI försöka stimulera forskare till att bli intresserade av relevanta frågeställningar.

SKI:s strategi för att vidmakthålla nationell kompetens är att verka för att grundutbildning sker i sådana ämnen som behövs för kärnteknisk verksamhet. Detta utförs bland annat genom att speciella avtal sluts med högskolor och universitet, ofta tillsammans med kraftindustrin (Svenskt Kärntekniskt Centrum). Vidare upprätthålls god forskning vid högskolor och universitet genom att SKI stödjer vissa doktorandtjänster, och undantagsvis även professorer.

Sveriges behov kan inte enbart täckas med nationella resurser. Utvecklingen går mot en situation där svensk kärnteknisk verksamhet blir mer beroende av internationell samverkan. SKI pekar här på samarbete inom OECD/NEA, samarbetet inom EU:s ramprogram för forskning, det europeiska forskningscentrumet JRC, samarbetet inom NKS och bilateralt med Finland samt olika forskningsprogram som drivs i IAEA:s regi.

Strålskyddskompetens

SSI genomförde under perioden november 2000 – januari 2001 en översyn av strålskyddsinformation och strålskyddsutbildning som utformas och tillhandahålls vid de kärntekniska anläggningarna [22]. Ofta samordnas utbildningsinsatserna mellan de olika svenska tillståndshavarna och ibland formuleras gemensamma krav avseende utbildningens innehåll och omfattning. Utbildningen genomförs i egen regi men ibland anlitas även resurser inom den av industrin bildade branschorganisationen KSU (Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB). KSU har även hjälpt till med att ta fram ett gemensamt kursmaterial. Utbildningen är, om än på olika nivåer, av allmän karaktär och är kopplad till de bedömda praktiska behoven. De mer konkreta formerna av praktisk utbildning, till exempel träning av arbetsmoment eller verksamheter i inaktiv miljö, med hjälp av så kallad ”mock-ups” utgör många gånger ett viktigt förberedelsearbete.

SSI gjorde bedömningen att samtliga tillståndshavare levde upp till de krav på allmän information och strålskyddsutbildning som SSI ställt i föreskrifterna SSI FS 2000:10. SSI kan i dagsläget inte identifiera några stora brister eller tillkortakommanden när det gäller formerna för strålskyddsinformation eller grundläggande strålskyddsutbildning. SSI anser däremot att en återkommande översyn av kursmaterial och kursinnehåll är nödvändigt, speciellt för att vidmakthålla intresset för utbildning och repetitionsutbildning. I detta arbete har intresserade och aktiva kursledare en viktig roll att spela.

Utöver den grundläggande strålskyddsinformationen krävs i vissa sammanhang en djupare teoretisk (universitets- eller högskoleutbildning) eller mer teknisk utbildning inom visst specialområde (till exempel kurser avseende dosimetrisystem, helkroppsmätningar, handhavande och kunskap av olika mätinstrument m.m.) som erhålls utanför de kärntekniska anläggningarna.

De djupare teoretiska kunskaperna kan man i Sverige få vid universitet och högskolor inom ramen för områden som till exempel radiobiologi, radioekologi, radiofysik, radiokemi, kärnfysik och teoretisk fysik. I vissa fall skickas personal till utbildning i strålskyddsrelaterade frågor på olika internationella kurser. Försäljare av detektorutrustningar för gammaspektrometri anordnar kurser i Sverige avseende handhavande och användning av deras respektive utrustningar.

SSI stöder finansiellt vissa kritiska kompetensområden på utbildningssidan. SSI finansierar två professurer i radiobiologi respektive strålningsmedicin. SSI finansierar också doktorandtjänster i radioekologi, områden av vikt för svensk strålskyddsberedskap, dosimetrifrågor respektive strålskyddsetik. Dessa åtaganden är långsiktiga även om de finansiella ramarna förhindrar att avtal sluts över flera år.

NKS (Nordisk kärnsäkerhetsforskning) i samarbete med experter vid SSI och STUK (Strålsäkerhets centralen i Finland) har ordnat återkommande kurser i helkroppsmätfrågor och även arrangerat interkalibreringar av helkroppsmätutrustningar [23]. Vid en av de senaste kurserna deltog även, med stöd av SIUS (SSI:s internationella utvecklings-samarbete), personal från de baltiska länderna. Det finns ett behov av att motsvarande

verksamheter kan upprätthållas även i framtiden men hur detta praktiskt ska ordnas är inte klarlagt.

TL-dosimetri utgör i detta sammanhang ett problemområde. Vid kärnkraftverkens dosimetrilaboratorier ordnas intern, praktisk utbildning av personal. Leverantören av utrustning för TL-dosimetri ordnar kurser i hantering av maskinerna (Åbo, Finland). De utbildningar som avser bland annat tabletthantering, som tidigare gavs i Studsvik av det numera nedlagda Studsvik Instrument AB, har dock inte ersatts av något motsvarande. Personal vid kraftverken arbetar idag med att finna lämpliga arrangörer av kurser inom Sverige och kontakter har tagits med olika intressenter.

SSI menar att i det medellånga perspektivet (närmsta fem åren) är det möjligt att upprätthålla strålskyddskompetens och säkra lämpliga utbildningar. Det är dock viktigt att frågorna kontinuerligt bevakas så att en utarmning inte sker. SSI anser vidare att i syfte att säkra goda strålskyddsförhållanden vid kärnkraftverken är det viktigt att program avseende kärnteknisk kompetens erhåller erforderligt stöd.

Organisation

Förändringar har de senaste åren skett i lednings- och personalorganisationerna vid de kärntekniska anläggningarna. De förändringar som genomförts drivs fram av kostnads- och effektivitetsskäl och en anpassning till det rådande marknadsläget.

Avregleringen av elmarknaden den 1 januari 1996 ledde till att priserna pressades ner under de första åren därefter. Hos elproducenterna genomfördes så småningom rationaliseringar (sådana översyner har förvisso skett återkommande redan tidigare, om än i mindre skala) och man tittade på vilka verksamheter som kunde tas bort eller "outsourcas" och vad som kunde utföras tillsammans med andra intressenter i syfte att spara pengar. I samband med utökat samarbete mellan kraftverken försöker kärnkraftsindustrin att minska beroendet av konsulter och i de fall personal hyrs in eftersträvas kostnadseffektiva avtal med löptid på några få år.

Andra drivkrafter har varit den ökande internationaliseringen. Vissa företag har expanderat eftersom det anses strategiskt viktigt att ha en viss volym för att "överleva" på en alltmer konkurrensutsatt marknad. I samband med expansion och ändrade ägarförhållanden har ibland även den lokala organisationsstrukturen förändrats. En del av de konsultbolag som kraftindustrin brukar anlita vid revisioner och i samband med större ombyggnader har köpts upp, slagits samman och därigenom fått ändrade ägarförhållanden. Dessa förändringar innebär sammantaget en indirekt påverkan på hur strålskyddsarbetet utförs vid de kärntekniska anläggningarna.

I samband med stängningen av Barsebäck 1 år 1999 slöts avtal mellan staten, Vattenfall AB och Sydkraft AB vilket fick till följd att de kärntekniska verksamheterna i Ringhals och Barsebäck kopplats ihop. I samband med detta har ett utökat samarbete inom ramen för en gemensam organisation påbörjats.

SSI konstaterar att det under de senaste åren har skett omfattande förändringar avseende ägandeförhållanden, organisation och ledning vid de kärntekniska anläggningarna. I vissa avseenden har detta även påverkat strålskyddsverksamheten. Förändringar tycks även ske allt snabbare och detta kan påverka organisatoriska minnen och förmågan att hitta rutiner och bekväma arbetssätt. SSI måste ägna uppmärksamhet åt eventuella, ur strålskydds-

synpunkt, negativa effekter till följd av de förändringar som genomförts. Om kvalitén, i arbetet eller i strålskyddsnivåer, försämras kommer SSI att utvärdera behovet av ett mer pådrivande agerande.

Underhållsinsatser vs ekonomi och stråldoser

Ett kärnkraftverk är en anläggning med mycket stora kapitalinvesteringar förenade med uppbyggandet. Även större underhållsåtgärder, reparationer och moderniseringsinsatser som genomförs under en anläggnings drifttid är kapitalkrävande. Det är därför av stor vikt att de beslut som kraftverksägarna måste fatta om nya investeringar så långt möjligt kan baseras på säkerhetsrelaterade och drifekonomiska grunder. Investeringshorisonten är här viktig varför oklarheter av politiska grunder beträffande tillstånd till fortsatt drift för en anläggning är hämmande. Om stor ovisshet råder om hur länge en anläggning skall få drivas vidare är det naturligtvis svårare att få acceptans hos finansierarna för riktigt långsiktiga investeringar. Denna brist på långsiktighet kan även leda till problem gällande optimering av strålskyddet vid anläggningen. Med en kortsiktig drifhorisont kan kanske inte större doskrävande strålskyddsinsatser ”räknas hem”, medan de på längre sikt skulle ge en total dosbesparing. Detta skulle då innebära att man får högre stråldoser till personal eller större omgivningspåverkan genom utsläpp än vad som på längre sikt vore optimalt.

Några exempel på åtgärder där man gjort stora reparationsåtgärder och samtidigt på lång sikt förbättrat strålmiljön och reducerat behovet av underhåll och provning är ånggeneratorbyten på ett par av de svenska tryckvattenreaktorerna. Man har även genomfört utbyte av reaktortanklock där återkommande arbeten med materialprovning varit doskrävande. Andra exempel är att man på flera av kokarvattenreaktorerna har gjort omfattande utbytesarbeten av rör i reaktornära system där man haft skadeindikationer, vilka i sin tur krävde hög frekvens på materialprovning och reparation. I dessa fall har säkerhetskraven naturligtvis funnits med som huvudsaklig grund för de genomförda åtgärderna. Kostsamma dekontamineringskampanjer av system för att kraftfullt minska strålbekstrålningen vid ett planerat arbete kanske inte heller kan motiveras från ALARA-synpunkt om inte insatsen kan tillgodogöras över längre tid. Det finns således en stark koppling till långsiktigheten vid beslut om hur personalstrålskyddet skall optimeras vid större underhålls- och reparationsinsatser i en anläggning. Det är därför av stor vikt för optimalt strålskydd att en anläggning under de avslutande driftåren tillämpar lämplig strategi. Strategin kan till exempel vara att doskrävande insatser alltid genomförs planeringsmässigt med perspektivet lång, cirka 20 års, återstående drifttid, som är den policy man hittills tillämpat vid Barsebäcksverket. En annan tänkbar väg är att man gör en optimering av strålskyddet med ”minimivå” på teknisk insats med uppfyllande av gällande säkerhetskrav. Anläggningarna har som tidigare nämnts hittills valt att tillämpa det första alternativet.

Politiska faktorer

Den situation som sedan folkomröstningen om kärnkraft 1980 rått i Sverige beträffande osäkerhet till långsiktig fortsatt drift för kärnkraftreaktorerna kan därför antas vara en hämmande faktor för långsiktiga investeringar i anläggningarna. Den så kallade ”bortre parentes” har på senare tid omformulerats, men för Barsebäck 2 råder alltså ovisshet

om återstående drifttid. I Tyskland har kärnkraftverkens hantering och transporter av använt kärnbränsle under lång tid varit politiskt kontroversiell. Problem med tillståndsfrågor och demonstrationer gjorde det svårt för industrin att på sikt säkerställa driften vid de tyska reaktorerna. Industrin tog efter regeringsskiftet upp förhandlingar med regeringskoalitionen. Resultatet blev en uppgörelse som i praktiken innebär att det tyska kärnkraftprogrammet avvecklas på marknadsmässiga villkor. Man har definierat en medellivslängd för existerande reaktorer utan att ange exakt slutår. I uppgörelsen används en modell där återstående drifttid beräknats för befintliga reaktorer. Därefter har ägarna till anläggningarna utifrån drift- och säkerhetsmässiga förutsättningar internt fått besluta hur återstående total drifttid skall fördelas mellan anläggningarna till ett angivet antal driftår genomförts per anläggning varefter de skall fasas ut för gott.

Genom ett förfarande enligt denna modell bör det vara lättare för anläggningsägarna att överblicka de investeringar som behöver göras och väga dessa mot maximal återstående drifttid. Emellertid kan man inse att ju närmare sluttidpunkten man kommer desto svårare blir det att motivera tunga projekt. Kraven på anläggningsägarna att de tar sitt ansvar och att säkerhetsmyndigheterna bevakar att säkerhetsnivåerna upprätthålls under hela återstående driftperioden blir här desamma som vid varje annan form för urfasning av kärnkraftsystemet.

Referenser

1. Se *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, ICRP Publication 60, Pergamon Press, Annals of the ICRP, Vol.21, No. 1-3.
2. Se t.ex. Svensk Kärnteknisk tillsynsverksamhet, SOU 1996:73, kap. 3.3 Tillsynsmål och tillsynsfilosofi.
3. 96/29/EURATOM Council Directive of 13 May 1996 laying down basic safety standards for the health and protection of the general public and workers against the dangers of ionizing radiation.
4. IAEA Safety Series No. 115, Safety Standards for protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources (Jointly Sponsored by FAO, IAEA, ILO, OECD/NEA, PAHO, WHO)
5. Sweden's second national report under the *Convention on Nuclear Safety*, Ds 2001:41, Ministry of the Environment.
6. The Way Forward in Radiological Protection, AEN/NEA OECD 2002 (ICRP planerar att ge ut nya huvudrekommendationer år 2005)
7. *SSI:s föreskrifter om personalstrålskydd i verksamhet med joniserande strålning vid kärntekniska anläggningar*, SSI FS 2000:10, 4-5 §§
8. *Doris-2, Evaluation of dose reduction programmes in Swedish BWR*, SSI-project 992.97, Report 98-0011R, september 1998. I rapporten refereras även till industriprojektet ALARA- 2000.
9. SSI FS 1994:2 *Statens strålskyddsinstitutets föreskrifter för personstrålskydd för verksamhet med joniserande strålning vid kärnteknisk anläggning* (Numera ersatta av SSI FS 2000:10)
10. SSI FS 2000:11 *Statens strålskyddsinstitutets föreskrifter om strålskyddsföreståndare vid kärntekniska anläggningar*.
11. *Radiologiska konsekvenser vid ädelmetalldosering*, T Kelén, Westinghouse Atom AB, SSI P 1258.01, December 2001.
12. DUROC, Projekt 2900, Framtagning av Laserbaserade Material för stellitersättning inom kärnkraftverk, syftande till dosreducering, 2001-02.
13. Zircalloy är en metallegering som innehåller zirkonium (98 %), tenn och smärre halter med järn, nickel och krom. Legeringen är lämplig i kapslingsrör, spridare m.m. eftersom den har lågt neutrontvärsnitt och är korrosionsbeständig.
14. T.ex.: *Bränsleskadan i O2 1988 – Utvärdering av integrerad radiologisk effekt av tio års drift*, januari 2001, SSI P 1206.00

15. *KEMOX 2000 – Kinetics of oxide layers*, Hermansson HP, Stigenberg M, Wikmark G, ABB Atom AB/Studsvik Material AB KEMOX R-012, April 1995;

BwrCrud – Development and Validation of a New Code for Improved Simulation of Activity Transport in BWR Primary Systems, Lundgren K et al., 1998 JAIF Int. Conf. On Water Chemistry in NPP's, pp 293-298;

A new model for activity build-up in BWR's adopting theories for surfaces complexes and diffusion in oxide layers, Ahlberg E et al., research project within the ALEX project, June 2001.
 16. *Åtgärder för att motverka uppbyggnad av aktivitet i primärsystemen vid Ringhals PWR*, Egnér K, Vattenfall AB, Ringhals, Temamöte "Strålskydd på kärntekniska anläggningar", 13-16 november 1994, Nådendal, Finland.
 17. *KEMOX 2000 – Järndosering – Erfarenheter från Forsmark*, Thord Rooth, Forsmarks kraftgrupp.
 18. *Effekter av zinkdosering*, Tormod Kelén, Westinghouse Atom AB, Slutrapport från projekt SSI P 1259.01, september 2001, SEP 01-207.
 19. Temainspektion Organisation, SSI:s rapport från temainspektion av kärntekniska anläggningar hösten 2002, Dnr 560/588/02.
 20. SKI:s forskningsstrategi, SKI Rapport 02:24
 21. Nuclear Safety Research in OECD Countries – Major Facilities and Programmes at Risk, OECD/NEA 2001.
 22. A Gerhardsson et. al., *Strålskyddsutbildning vid de svenska kärnkraftverken*, SSI-rapport från enheten Kärntekniska anläggningar, SSI Dnr 560/1880/00, Stockholm, 5 juni, 2001.
 23. T Rahola and R Falk, *Quality Assurance in Whole-Body counting*, March 1998, NKS/EKO 3.2.6, not yet published;

T Rahola, R Falk and M Tillander, *Intercalibration of whole-body counting systems*, Studies in Environmental Science 62. Nordic Radioecology. The Transfer of Radio nuclides through Nordic Ecosystems to Man, pp 407- 424, Ed. H Dahlgard, ISBN 0-444-81617-8, Elsevier (1994)

T Rahola and R Falk, *Whole-body Measurement and Quality Assurance*, Radiation Protection Dosimetry 89(3-4), pp 243-245 (2000)
-

- 2003:01 Avfall och miljö vid de kärntekniska anläggningarna; tillsynsrapport 2001**
Avdelningen för avfall och miljö.
Monica Persson et.al.
- 2003:02 Stråldoser vid användning av torvbränsle i stora anläggningar**
Avdelning för beredskap och miljöövervakning.
Hans Möre och Lynn Marie Hubbard. 80 SEK
- 2003:03 UV-strålning och underlag för bedömning av befolkningsdos från solarier i en storstadsregion**
Avdelning för beredskap och miljöövervakning.
Björn Nilsson, Björn Närlundh och Ulf Wester. 70 SEK
- 2003:04 Enkätundersökning av entreprenörers inställning till strålning och strålskyddsutbildning vid de svenska kärnkraftverken**
Avdelning för personal- och patientstrålskydd
Ingela Thimgren 60 SEK
- 2003:05 Radiofarmakaterapier i Sverige – kartläggning över metoder**
Avdelning för personal- och patientstrålskydd
Helene Jönsson 60 SEK
- 2003:06 Säkerhets och strålskyddsläget vid de svenska kärnkraftverken 2002**
- 2003:07 Mätning av naturlig radioaktivitet i dricksvatten. Testavmätmetoder och resultat av en pilotundersökning**
Avdelning för beredskap och miljöövervakning.
Inger Östergren, Rolf Falk, Lars Mjönes och Britt-Marie Ek 70 SEK
- 2003:08 Optisk strålning strålskydd**
Avdelning för beredskap och miljöövervakning.
Anders Glansholm 70 SEK
- 2003:09 Årlig kontroll av diagnostisk röntgenutrustning för medicinskt bruk – en utredning av kontrollverksamheten**
Avdelning för personal- och patientstrålskydd
Anja Almén och Torsten Cederlund 70 SEK
- 2003:10 Förändring av stråldoser till patienter vid övergång från konventionell till digital, filmösteknik vid röntgenundersökning av grovtarm och njurar Slutrapport SSI-projekt P 933**
Avdelning för personal- och patientstrålskydd
Börje Sjöholm och Jan Persliden 60 SEK
- 2003:11 AMBER and Ecolego Intercomparisons Using Calculations from SR97**
Avdelningen för avfall och miljö
Gemensam SKI och SSI rapport
- 2003:12 Analysis of Critical Issues in Biosphere Assessment Modelling and Site Investigation**
Avdelningen för avfall och miljö
M. J. Egan, M. C. Thorne, R.H. Little and R.F. Pasco 60 SEK
- 2003:13 Personalstrålskydd inom kärnkraftindustrin under 2002**
Avdelning för personal- och patientstrålskydd
Stig Erixon, Peter Hofvander, Ingemar Lund, Lars Malmqvist, Ingela Thimgren, Hanna Ölander Gür 60 SEK
- 2003:14 Exchange processes at geosphere-biosphere interface. Current SKB approach and example of coupled hydrological-ecological approach**
Avdelningen för avfall och miljö
Anders Wörman 60 SEK
- 2003:15 Föreskrifter om planering inför och under avveckling av kärntekniska anläggningar**
Avdelningen för avfall och miljö och Avdelning för personal- och patientstrålskydd.
Henrik Efraimsson och Ingemar Lund 60 SEK
- 2003:16 Radon in Estonian dwellings - Results from a National Radon Survey**
Internationellt utvecklingssamarbete (SIUS)
Lia Pahapill, Anne Rulkov, Raivo Rajamäe och Gustav Åkerblom 60 SEK
- 2003:17 Miljöövervakningen enligt Euratomfördraget av joniserande strålning i miljön i Sverige, år 1997 till 2001**
Avdelning för beredskap och miljöövervakning.
Hans Möre, Lynn Marie Hubbard, Lena Wallberg och Inger Östergren 60 SEK
- 2003:18 (SKI nr 2003:42) Otillåten hantering av radioaktivt material och kärnämne – Hotanalys och förslag till åtgärder**
Lena Oliver, Lena Melin, Jan Prawitz, Anders Ringbom, Björn Sandström, Lars Wigg och Jens Wirstam
- 2003:19 (SKI nr 2003:41) Development of a quantitative framework for regulatory risk assessments: Probabilistic approaches.**
Roger Wilmot
- 2003:20 Medfokus på SSI:s risk- och strålskyddskriterier. En rapport baserad på diskussioner i fokusgrupper i Östhammars och Oskarshamns kommuner**
Avdelningen för avfall och miljö
Britt-Marie Drottz-Sjöberg 60 SEK
- 2003:20e Focusing on SSI's risk and radiation protection criteria. A report based on discussions in focus groups in Östhammar and Oskarshamn municipalities**
Avdelningen för avfall och miljö
Britt-Marie Drottz-Sjöberg 60 SEK
- 2003:21; SKI 2003:37 SSI:s och SKI:s granskning av SKB:s uppdaterade Slutlig Säkerhetsrapport för SFR 1. Granskningsrapport**
Avdelningen för avfall och miljö
SSI och SKI
- 2003:22 Kartläggning av radioaktivt avfall från icke kärnteknisk verksamhet (IKA)**
Avdelningen för avfall och miljö 60 SEK
- 2003:23 Strålskydd vid svenska kärnkraftverk under perioden 1994-2002, samt reflexioner om kommande utveckling**
Avdelning för personal- och patientstrålskydd
Stig Erixon, Thommy Godås, Peter Hofvander, Ingemar Lund, Lars Malmqvist, Ingela Thimgren och Hanna Ölander Gür. 60 SEK



STATENS STRÅLSKYDDSIINSTITUT, SSI, är central tillsynsmyndighet på strålskyddsområdet. Myndighetens verksamhetsidé är att verka för ett gott strålskydd för människor och miljö nu och i framtiden.

SSI är ansvarig myndighet för det av riksdagen beslutade miljömålet *Säker strålmiljö*.

SSI sätter gränser för stråldoser till allmänheten och för dem som arbetar med strålning, utfärdar föreskrifter och kontrollerar att de efterlevs. Myndigheten inspekterar, informerar, utbildar och ger råd för att öka kunskaperna om strålning. SSI bedriver också egen forskning och stöder forskning vid universitet och högskolor.

SSI håller beredskap dygnet runt mot olyckor med strålning. En tidig varning om olyckor fås genom svenska och utländska mätstationer och genom internationella varnings- och informationssystem.

SSI medverkar i det internationella strålskydssamarbetet och bidrar därigenom till förbättringar av strålskyddet i främst Baltikum och Ryssland.

Myndigheten har idag ca 110 anställda och är beläget i Stockholm.

THE SWEDISH RADIATION PROTECTION AUTHORITY (SSI) is the government regulatory authority for radiation protection. Its task is to secure good radiation protection for people and the environment both today and in the future.

The Swedish parliament has appointed SSI to be in charge of the implementation of its environmental quality objective *Säker strålmiljö* ("A Safe Radiation Environment").

SSI sets radiation dose limits for the public and for workers exposed to radiation and regulates many other matters dealing with radiation. Compliance with the regulations is ensured through inspections.

SSI also provides information, education, and advice, carries out its own research and administers external research projects.

SSI maintains an around-the-clock preparedness for radiation accidents. Early warning is provided by Swedish and foreign monitoring stations and by international alarm and information systems.

The Authority collaborates with many national and international radiation protection endeavours. It actively supports the on-going improvements of radiation protection in Estonia, Latvia, Lithuania, and Russia.

SSI has about 110 employees and is located in Stockholm.



Statens strålskyddsinstitut
Swedish Radiation Protection Authority

Adress: Statens strålskyddsinstitut; S-17116 Stockholm;

Besöksadress: Karolinska sjukhusets område, Hus Z 5.

Telefon: 08-729 71 00, Fax: 08-729 71 08

Address: Swedish Radiation Protection Authority;

SE-17116 Stockholm; Sweden

Telephone: + 46 8-729 71 00, Fax: + 46 8-729 71 08

www.ssi.se