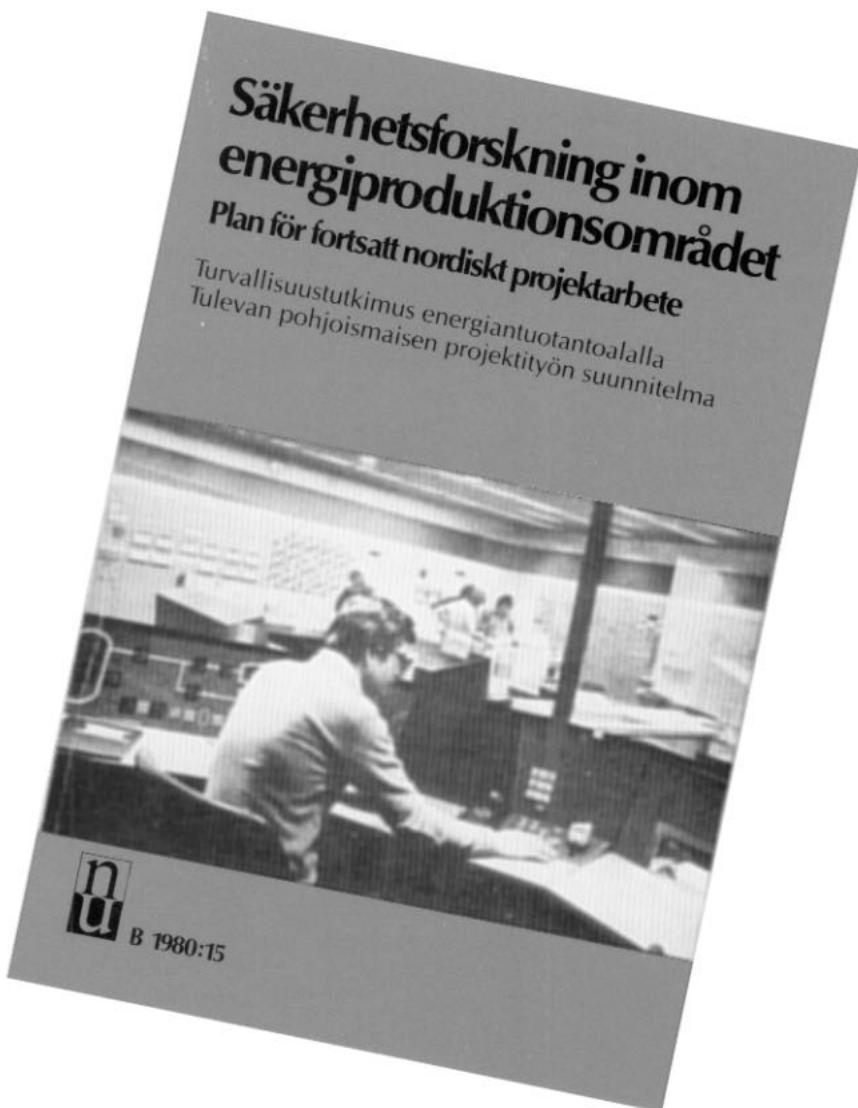


# EVALUERING AF NKAs SIKKERHEDSPROGRAM 1981-85



nka

Nordisk  
kontaktorgan for  
atomenergispørgsmål



Nordisk  
kontaktorgan for  
atomenergispørsmål

Nordiska  
kontaktorganet för  
atomenergivågor

Pohjoismainen  
atomenergia-  
yhdistein

Nordic  
liaison committee for  
atomic energy

# EVALUERING AF NKAs SIKKERHEDSPROGRAM 1981-85

SÄKERHETSFORSKNING INOM ENERGIPRODUKTIONSMÅLET

DECEMBER 1986

Evaluering af NKAs  
sikkerhedsprogram 1981-85  
c Nordisk Ministerråd, København 1987  
ISBN 87 7303 0732  
Tryk: Aio-Tryk, Odense  
NORD 1987:7

NORDISK MINISTERRÅD  
Store Strandstræde 18  
1255 København K.  
tlf. (45 1) 11 47 11

Nordisk Ministerråd er samarbejdsorgan for de nordiske  
regeringer med sekretariat i København. Hver regering  
udpeger en minister for nordiske anliggender, som i  
regeringen har ansvaret for koordinering af det nordiske  
samarbejde. Ministerrådet har forskellig sammensætning  
alt efter hvilket politisk fagområde, der er tale om  
(NMR-industri, NMR-kultur osv.). Det officielle nordiske  
samarbejde, der er baseret på den såkaldte Helsingfors-  
aftale, omfatter i realiteten alle områder bortset fra  
udenrigs- og forsvars politik. Ministerrådet har ansvaret  
for samarbejdet mellem regeringerne og de nordiske parla-  
mentarikere i Nordisk Råd.

Et nordisk forskningsprogram om sikkerhed på energiproduktionsområdet gennemførtes i årene 1981-85 under deltagelse af forskningsinstitutioner, sikkerhedsmyndigheder og industri i Danmark, Finland, Norge og Sverige. Emnerne omfatter hovedsagelig reaktorsikkerhed, menneskelig pålidelighed, radioaktivt affald og radioøkologi. Programmet blev evalueret i 1986 ifølge en evalueringemetode og ved brug af evalueringskriterier som er udviklet af NKS, som er NKA's nordiske komité for sikkerhedsforskning. Konklusionerne af evalueringen er udnyttet i NKA's igangværende sikkerhedsprogram 1985-89.

---

Søgeord:

COORDINATED RESEARCH PROGRAMS; EVALUATION: HUMAN FACTORS;  
RADIOACTIVE WASTES; RADIOECOLOGY; REACTOR SAFETY; RELIABILITY;  
SCANDINAVIA.

Denne rapport evaluerer det sikkerhedsprogram som gennemførtes 1981-85 af Nordisk Kontaktorgan for Atomenergispørgsmål, NKA. Programmet blev delfinansieret af Nordisk Ministerråd.



## SUMMARY

As a part of the Nordic cooperation scheme, the Nordic Liaison Committee for Atomic Energy (NKA) performed its second four-year programme on safety research in energy production, from 1981 to 1985. The topics dealt with originated from questions related to nuclear power, but results were intended to be applicable in conventional fields as well.

The outcome is presented in 18 final reports, most of which are printed in English.

The programme covered the following main topics:

- reactor safety (SÄK-projects)
- human reliability (LIT-projects)
- radioactive waste (AVF-projects)
- radio ecology (REK-projects).

In addition, the programme included a minor follow-up of a previous Nordic programme on quality assurance, as well as a separate programme dealing with environmental effects of energy production. This latter programme was carried through and reported under the auspices of another Nordic committee and is not further considered here.

The total turnover involved in the four-year NKA programme was equivalent to 60 million Norwegian kroner, 41% of which were granted by the Nordic Council of Ministers.

The present report contains an evaluation of the programme. NKA and its safety committee NKS have developed their own, rather uncomplicated evaluation procedure. For each of the main topics a single evaluation person was appointed. Each produced his own evaluation report, based on the reading of project documents and interviews with those involved in the project work.

A set of evaluation criteria, developed by the NKS, includes questions about the selection of projects, the performance of the project work and its organisation, the results obtained, and how the results have been used.

In general it can be concluded that safety related technical project work is well suited to cooperation among Nordic countries where complementary resources are available. It can also be noted that the close relations established among experts through the programme were of great help as soon as the radioactive fallout from Chernobyl reached Scandinavia.

Some more specific overall conclusions can be drawn from the evaluation.

In an international research programme with limited joint financing it is essential to concentrate on few, relevant topics where a firm basis can be provided by national institutions that have a genuine interest and involvement in those particular areas. It is recommended that project areas be selected where the results can be applied in nuclear as well as non-nuclear fields, as e.g. in probabilistic risk assessment. Projects should also be designed so that final conclusions can be presented within a four-year period.

The organisational set-up with small Nordic steering committees and one main project leader for each project is quite convenient, but care must be taken not to confound the relations between those requesting the results - i.e. the steering committee - and those actually carrying out the work, i.e. the project leader and his team.

It was found that useful guidance for detailed project efforts can be obtained early during the project period by defining which types of results are to be presented in the final report, the outline of which should be drafted at an early stage.

The evaluation confirms that special actions need to be designated in order to provide for understanding and use of the results beyond those circles directly involved in the project field. Reference groups and specific communication channels are useful in order to spread knowledge from the project work.

A new four-year Nordic safety research programme was started in mid-1985. The findings from the present evaluation have been fed back into this new programme.



## SAMMENFATNING

Det fireårige nordiske program "Sikkerhedsforskning på energiproduktionsområdet" afsluttedes i midten af 1985, og i de derpå følgende måneder blev resultaterne sammenfattet i 18 slutrapporter. I 1986 er programmet blevet evaluert efter samme metodik som blev anvendt ved evalueringen af NKA's første sikkerhedsprogram 1977-80.

Hvert af hovedområderne er gennemgået af en udenforstående sagkyndig, hvorefter NKA's komité for sikkerhedsforskning, NKS, har draget almene konklusioner af de enkelte bedømmelser. Ved tilrettelæggelsen af NKA's nye sikkerhedsprogram 1985-89 har man udnyttet erfaringerne fra evalueringen.

Generelt egner teknisk sikkerhedsarbejde sig godt for nordisk samarbejde, særlig når man herved kan udnytte de kompetencer i forskellige lande som kompletterer hinanden. I evalueringen påpeges, at man bør koncentrere arbejdet om få emner og sørge for at knytte det til institutioner i landene som selv har en bred aktivitet inden for disse områder. Programmets emnevalg viste sig at være meget aktuelt, specielt i betragtning af hændelserne ved Tremileøen. Det kan her tilføjes, at især projekterne om menneskelig pålidelighed, beregning af radioaktivt udslip og radioøkologi også har vist sig at være særdeles relevante efter Tjernobylulykken.

I programmet har man lagt særlig vægt på at sprede resultaterne fra projektarbejdet. Evalueringen viser, at der kræves helt specielle indsatser når man ønsker at rette sig til en bredere målgruppe, og at dette må planlægges og finansieres selvstændigt.

Den benyttede evalueringssmetode forekommer ukompliceret og giver tilfredsstillende resultat. Den bør kunne anvendes på andet nordisk projektarbejde.



INDHOLD

	Side
1. Baggrund	1
2. Programmets organisation og finansiering	3
3. Lärdomar för fortsatt nordiskt samarbete	6
4. Rekommandationer	10
5. Evaluatingsproblematikken	11
6. De enkelte evaluatingsrapporter	
6.1. Reaktorsikkerhed, SÄK	15
SÄK-1. PRA Uses and Techniques, a Nordic Perspective.	15
SÄK-3. Computer Codes for Small-Break, Loss-of-Coolant Accidents.	19
SÄK-4. Corrosion in the Nuclear Industri, a Nordic Survey.	23
SÄK-5. Heat Transfer Correlations in Nuclear Reactor Safety Calculations.	26
6.2. Menneskelig pålidelighed, LIT	29
6.3. Kvalitetssikring, KVA	38
6.4. Kärnavfallsområdet, AVF	40
6.5. Radioøkologi, REK	48
7. Programmets slutrapporter	59
8. Referencer	61

- x -

## 1. Baggrund

Et fireårigt nordisk program, sikkerhedsforskning inden for energiproduktionsområdet, gennemførtes i perioden 1981-85 [1]. Programmet styredes af Nordisk Kontaktorgan for Atomenergi-spørgsmål, NKA, gennem sin komité for sikkerhedsforskning, NKS.

Programmet var en videreførelse af et tidligere NKA-program som blev udført fra 1977 til 1980 [2]. På samme måde som for dette tidligere program [3] har man i 1986 gennemført en evaluering for at bedømme programmets værdi og drage konklusioner som kan udnyttes ved kommende nordisk projektsamarbejde. Denne evaluering præsenteres i denne rapport.

Nordisk Råd vedtog i 1984 en rekommendation om effektivere kontrol af nordiske projekter [4]. Heri indgår at man efter afslutning skal gennemføre en granskning af deres effektivitet og produktivitet. Nærværende evalueringsrapport kan betragtes som en sådan granskningsrapport.

Denne evalueringsrapport indeholder først en kort oversigt over programmet med dets fem hovedområder, dets organisation med styrgrupper og projektledere, og dets finansiering med 25 millioner norske kroner over fire år fra Nordisk Ministerråd, suppleret med indsats fra de deltagende lande svarende til 35 millioner.

Dernæst følger en sammenfattende bedømmelse med rekommendationer for fortsat nordisk samarbejde.

I det efterfølgende afsnit redegøres for evalueringemetodikken, og derefter følger de enkelte evalueringer for hvert programområde. Rapporten afslutter med en liste over programmets slutt-rapporter.

Det forskningsprogram som evalueres i denne rapport bliver nu fulgt op af et nyt nordisk sikkerhedsprogram som igangsatte i midten af 1985. Flere af de anbefalinger som er fremkommet ved den evaluering, som præsenteres i de følgende kapitler, har kunnet udnyttes ved tilrettelæggelsen af det nye program.

Generelt viser erfaringen, at tekniske sikkerhedsspørgsmål egner sig godt for nordisk projektsamarbejde, specielt fordi forskningsressourcerne og den videnskabelige kompetence i forskellige dele af Norden i mange tilfælde kompletterer hinanden.

I april 1986 forekom et betydeligt radioaktivt udslip ved reaktorulykken i Tjernobyl i Ukraine. Det da netop gennemførte fællesnordiske sikkerhedsprogram - som i årene frem til 1985 blandt andet havde behandlet spørgsmål om udslip ved store ulykker, radioøkologi og menneskelig pålidelighed - udgjorde et godt grundlag for de kontakter som kunne etableres øjeblikkelig mellem de nordiske landes forskere og myndigheder da det radioaktive nedfald nåede Norden.

## 2. Programmets organisation og finansiering

Sikkerhedsprogrammet 1981-85 indeholder fire større programområder:

- \* Reaktorsikkerhed
- \* Menneskelig pålidelighed
- \* Radioaktivt affald
- \* Radioøkologi

samt et femte område til opfølgning af et tidligere nordisk program

- \* Kvalitetssikring

og desuden en sammenholdende funktion

- \* Programtilsyn, forstudier, rapportering.

Arbejdsplanen for programmet er beskrevet i Nordisk Udrednings-serie NU B 1980:15 [1]. Denne plan indeholdt også et område "Miljøeffekter ved energiproduktion", hvilket imidlertid blev gennemført i regie af den nordiske Embedsmandskomité for Miljøbeskyttelsesspørgsmål og derfor ikke er inkluderet i denne evalueringsrapport.

En oversigt over programområderne med deres hovedprojekter og projektledere findes i tabel 1.

Nordisk Ministerråd stod for en finansiering på ialt 25,643 millioner kroner\*, mens deltagende organisationer selv har fremskaffet finansiering til arbejdsindsatser svarende til 35,135 kroner\*. Fordelingen mellem de forskellige programområder fremgår af tabel 2, se [6].

---

\* i løbende norske kroner.

Reaktorsikkerhed, SAK. Styrgruppeformand: Christian Gräslund  
Statens Kärnkraftinspektion

- SAK-1. Sannolikhetsbaserad riskanalys och licensiering.
- SAK-3. Small Break LOCA Analysis.
- SAK-4. Korrosion inom kärnkraftverk.
- SAK-5. Heat Transfer Correlations.

Menneskelig pålidelighed, LIT. Styrgruppeformand: Björn Wahlström  
Statens tekniska Forskningscentral

- LIT-1. Mänskliga fel vid service och underhåll.
- LIT-2. Säkerhetsorienterad organisation och mänsklig tillförlitlighet.
- LIT-3.1 Datorstödd planering.
- LIT-3.2 Computer-aided Operation of Complex Systems.
- LIT-3.3 Experimentell validering av operatörhjelpmidler.
- LIT-4. Planning and Evaluation of Operator Training.

Radioaktivt affald, AVF. Styrgruppeformand: Poul Emmersen  
Miljøstyrelsen

- AVF-1. Reaktoravfall från onormala driftssituationer.
- AVF-2. Långtidsegenskaper hos avfallsprodukter.
- AVF-3. Prosjektkatalog over nordisk FoU arbeid om radioaktivt avfall.

Kvalitetssikring, KVA. Styrgruppeformand: Börje Ahlnäs  
AB ASEA-ATOM

Radioøkologi, REK. Styrgruppeformand: Jan Olof Snihs  
Statens Strålskyddsinstitut

- REK-1. Store reaktorulykker; konsekvenser og mottiltak.
- REK-2. Interkalibrering.
- REK-5A. Metodikstudier och biotest.
- REK-5B. Modeller og feltdata.

Tabel 1: Programområder og hovedprojekter.

Ansvaret for de enkelte projekters gennemførelse lå hos den pågældende projektleder. Projektlederne deltog som regel i styrgruppernes møder. Styrgrupperne stod for den overordnede planlægning og for fordeling af midlerne. Hver projektleders organisation påtog sig ansvaret som værtsorganisation for den regnskabsmæssige håndtering af nordiske midler. Ved behov sammenkaldte projektlederen en projektgruppe med repræsentanter fra de udførende deltagerorganisationer. En beskrivelse af programmets organisation og administration findes i [7].

Programområde	Millioner NOK		
	nordiske	nationale	totalt
Reaktorsikkerhed, SÄK	9,752	17,683	27,435
Menneskelig pålidelighed, LIT	6,013	9,679	15,692
Radioaktivt affald, AVF	2,494	2,390	4,784
Kvalitetssikring, KVA	0,338	0,237	0,575
Radioøkologi, REK	4,169	5,146	9,315
Projektadministration, PFR*	1,982	-	1,982
	14.748		

\* yderligere 0,896 millioner blev overført til følgende år til afslutning af programmet.

Tabel 2.  
Finansiering af sikkerhedsprogrammet 1981-85.

### 3. Lärdomar för fortsatt nordiskt samarbete

#### **Projektval**

Valet av projekt har i viss utsträckning gjorts med utgångspunkter från ett tidigare nordiskt säkerhetsprogram, som genomfördes under perioden 1977-1980, vilket har inneburit en värdefull kontinuitet i programmet. Behovet av forskning var sålunda till dels klarlagt och dokumenterat redan från början och förutsättningarna för att genomföra programmet i samarbete mellan de nordiska länderna var samtidigt väl kända. Detta gäller i synnerhet områdena AVF och REK.

Forskningen tog nya utgångspunkter framför allt med programmet SÄK och genom att även i övrigt ges inriktning också på frågor utanför kärnkraftteknikens område.

Valet av projekt inom det nya området SÄK speglar i någon mån de säkerhetsfrågor som aktualiseras av olyckan med den amerikanska reaktorn TMI-2 i Harrisburg, 1979. Det får anses mycket värdefullt att man i nordiskt samarbete kunnat ta upp de i detta sammanhang betydelsefulla frågorna som rör termohydrauliska beräkningar - små brott och värmeöverföringskorrelationer - och säkerhetsanalys med probabilistiska metoder (PRA). Korrosionsprojekten inom SÄK tog även upp väsentliga problemområden inom reaktortekniken som samtidigt har stort allmäntekniskt intresse.

Säkerhetsprogrammet kom att ta upp projekt av mycket varierande karaktär, med inslag alltifrån grundforskning och säkerhetsfilosofi till experimentella arbeten och teknisk utveckling. Detta har ansetts värdefullt samtidigt som det har ställt stora krav på projektstyrningen och informationsspridningen till mycket skilda slag av målgrupper. I viss mån anses projekten ha fått alltför specialiserad karaktär på bekostnad av helhet och sammanhang inom forskningsområdena.

Valet av projekt har i större grad än i det tidigare programmet tagit sikte på tillämpningar utanför kärnkraftområdet. Som exempel kan nämnas projekt inom riskanalys, mänsklig tillförlitlighet och radiologiska konsekvenser av energiproduktion baserad på stenkol och torv. Det visar sig överhuvudtaget att problemställningarna inom kärntekniska området har mycket gemensamt med andra områden, och att kärnsäkerhetsforskningen därigenom kan ge mycket utbyte av allmäntekniskt värde.

Valet att satsa på fortsatt forskning om kvalitetssäkring, KVA, visade sig mindre lyckosamt. Dels var ambitionsnivån väl hög i förhållande till intresse och aktuella krav från myndighetshåll och dels kunde finansieringsfrågan inte lösas som förutsatts. Projektet kunde därför endast till ringa del genomföras.

Kvalitetssäkringsfrågorna kan samtidigt sägas ha kommit upp i väsentliga stycken inom LIT-programmet, särskilt i LIT-1, som behandlar mänskliga faktorn vid test och underhåll, och LIT-2, som tar upp organisationsfrågornas betydelse i säkerhetssammanhang. Valet av

projekt inom LIT-programmet, som äver rör datorer i kontrollrum, datorassisterad konstruktion av kontrollrum och kontrollsysteem samt operatörsutbildning, får sägas speglar väsentliga säkerhetsfrågor med tillämpningar långt utanför kärntekniken. Programmet har dock samtidigt fått en väl stor bredd med olikartade aktiviteter och målgrupper, där sammanhanget kanske inte har blivit tillräckligt tillgodosett.

#### Arbetsformer

Formerna för administration av forskningsprogrammen bedöms i regel ha fungerat relativt tillfredsställande, exempelvis vad gäller samspelet mellan styrgrupperna och projektgrupperna. Styrgruppernas engagemang har dock inte alltid räckt till för den viktiga uppgiften att inordna de olika delprojekten i det större sammanhanget. Denna uppgift är desto svårare som de olika delprojekten ofta formas kring de olika nationella forskningsinstitutionerna och mera präglas av deras intresseinriktning än av de gemensamma intressen som NKA-programmet företräder – inte minst genom att den nationella finansieringen ofta är större än bidraget från NKA.

Genom i vissa fall alltför svag samordning kunde nu dubbearbete inte alltid undvikas.

Ansvars- och arbetsfördelningen var inte alltigenom tydlig nog vad gäller å ena sidan uppdragsgivningen, med målformulering och uppföljning, och å andra sidan utförandet av forskningsuppdelen. Användning av särskilda referensgrupper i planeringsarbetet och specialiserade konsulter för forskningsinsatserna har rekommenderats. Initiativkraft och målmedvetenhet från styrgruppernas sida är viktig i detta sammanhang.

Den planering av projektverksamheten som förelåg vid programmets start ändrades nu i vissa delar ganska mycket och det har nämnts att mera detaljerade förstudier kanske hade bort göras. En viss frihet att efter hand anpassa planerna bör dock finnas och även utnyttjas för att större insatser, som senare bedöms missriktade, skall kunna undvikas.

Arbetssättet, med sammankomster i såväl styrgrupper som projektgrupper, kan antas bidra till att ge en önskvärd bredd i informationsutbytet kring forskningsprogrammen, i stort sett lämpligt avvägd med hänsyn till kostnaderna för administration och reseverksamhet, även om dessa blir förhållandevis höga. De plenarmöten och seminarier som hölls visade sig vara både värdefulla och uppskattade.

Stor omsättning i projektgrupperna eller splittrat engagemang från deltagarnas sida genom konkurrens med andra uppgifter har ibland medfört problem. Orsaken står även här delvis att finna i den att finansieringsbidraget från NKA i många fall är relativt litet, vilket påverkar prioriteringsläget ofördelaktigt.

Önskemål har uttalats om större möjligheter att inom NKA-programmet finansiera kostnader av annat slag än arbets och resekostnader, nämligen ifråga om finansiering av datorberäkningar.

### Resultatredovisning

Med undantag av KVA-programmet, och bortsett från programändringar och ändrad målinriktning i vissa fall, har forskningsprogrammen kunnat genomföras inom givna kostnadsramar och i huvudsak också i tid, även om rapporteringen i några fall blivit försenad. Projekten har allmänhet också varit framgångsrika.

En observation är att den löpande rapporteringen under projektverksamhetens gång fordrar mycket bevakning från uppdragsgivarens sida för att inte allvarligt eftersättas. Det har visat sig svårt att få tillgodosett krav på att projektledarna tidigt redovisar hur slutrapporten skall läggas upp, något som är en viktig förutsättning för uppdragsgivarens bevakning av projektverksamheten och även ett viktigt incitament för projektledarens egen planering.

Projektresultaten innehåller endast delvis vad som kan sägas vara genuin vetenskaplig landvinning eller teknisk utveckling men har i regel även i övrigt ett betydande värde på det sättet att väsentliga säkerhetsfrågor och metodik för säkerhetsanalys har kunnat utredas, prövas och redovisas i en internordisk krets av specialister. Forskningen har i sådana fall bestått i kritisk genomgång av tillgänglig litteratur m.m. och sammanställning av resultaten i tillgänglig form för säkerhetsarbetet, i några fall närmast i handboksform för praktiskt bruk och utbildning.

Projektredovisningen fyller på det hela taget höga krav på vetenskaplig kvalitet, har hög grad av läsbarhet och ett allmäntekniskt intresse som sträcker sig långt utanför området kärnteknik.

Forskningsprogrammet har löpt under ett skede då kärnsäkerhetsfrågorna - bl a beroende på olyckan vid TMI-2 - har haft mycket hög aktualitet. Det samförstånd som har kunnat nås mellan specialister på olika håll inom Norden då det gäller bedömningen av de studerade säkerhetsfrågorna är i sig ett värdefullt resultat.

### Utnyttjande av resultaten

Jämfört med tidigare säkerhetsprogram har inom programmet 1981-1985 ägnats betydligt ökad omsorg om spridningen av forskningsresultaten, både i form av publikationer och i olika former av seminarier och konferenser. Från flera programområden har resultaten fått internationell spridning genom föredragningar vid internationella konferenser och i något fall har resultaten till och med kunnat användas som bytesobjekt för att få del av eljest inte tillgängliga forskningsresultat, t ex SÄK-3.

Av mycket stor betydelse är samtidigt att forskningsresultaten kunnat spridas och bli gemensam egendom inom industri, forskning och myndigheter på de olika håll i de nordiska länderna som medverkat i forskningsprogrammet.

Erfarenheterna av försöken att vidga tillämpningsområdena för forskningsprogrammet till teknikområden utanför kärntekniken är positiva men visar samtidigt att speciella insatser krävs för att resultaten verkligen skall kunna förstås och tillgodogöras i dessa andra sammanhang.

#### 4 . Rekommendationer

##### Projektval:

- Insatsena bör koncentreras på ett ej alltför stort antal väsentliga forskningsområden och tillämpningar
- Projekten bör väljas så att en tillräcklig verksamhetsbas kan bereglas i form av organisationer eller företag med eget aktivt intresse för forskningen
- Samarbete bör eftersträvas mellan kärnteknikbranschen och andra branscher, i de fall forskningen rör likartade tillämpningar (t ex tillförlitlighetsfrågor)
- Även om kontinuitet i nordiska forskningsinsatser innehåller flera fördelar, genom att NKA:s olika forskningsprogram anknyter till varandra från period till period och engagerade forskare därmed till en del kvarstår från en period till en annan, bör avslutade forskningsprogram inom varje period eftersträvas i något större grad

##### Arbetsformer:

- En striktare ansvarsfördelning mellan styrgrupper och projektgrupper behövs, som tydligare speglar förhållandet mellan uppdragsgivare och uppdragstagare
- Regelbunden rapportering från projektverksamheten är nödvändig; men bör ske med glesare intervall än den tillämpade kvartalsrapporteringen

##### Resultatredovisning:

- Forskningsverksamheten bör naturligtvis styras målmedvetet för att nå de resultat som åsyftas i planerna. Det rekommenderas därför att projektledarna tidigt i projektarbetet redovisar uppläggningen av slutrapporteringen
- Sammanfattningen till slutrapporterna, dvs NKA:s "Final Reports" med röda pärmar, bör utformas med särskild hänsyn till den målgrupp som utgörs av beslutsfattare, politiker och även tekniker utan detaljkunskaper inom rapportens område

##### Utnyttjande av resultaten:

- Särskilda insatser bör planeras för att säkerställa förståelse och tillgodogörande av resultat utanför ett forskningsprojekts omedelbara tillämpningsområde där sådan utvidgad tillämpning kan antas vara möjlig och önskvärd

## 5. Evaluatingsproblematikken

Siden NKS udførte sin evaluering af det første nordiske fireårsprogram [3] er det blevet mere aktuelt at foretage evaluering af projekt- og forskningsarbejde [8]. Valget af evaluatingsprocedure vil afhænge af målsætningen for projektarbejdet. For et nordisk samarbejdsprogram vil man sædvanligvis vælge en anden evaluatingsmetode end for et rent videnskabeligt projekt eller for et industrielt udviklingsarbejde.

I det foreliggende program var målsætningen at komme frem til kundskaber som kunne formidles til myndigheder, politiske beslutningstagere og til industrien i Norden med det formål at opretholde et højt sikkerhedsniveau inden for energiproduktionsområdet. I programmet indgik dels at samordne nationale indsatser, og dels at opnå nye resultater og erkendelser.

I lyset af dette programoplæg vil en evaluatingsmetode som hovedsagelig baserer sig på antal og kvalitet af videnskabelige publikationer og på citeringer af projektresultaterne næppe være den rette. Programmets omfang giver heller ikke basis for at engagere et antal udenforstående specialister til en detaljeret gennemgang af resultaterne, således som det praktiseres bl.a. i EF [9]. I det foreliggende tilfælde ville dette iøvrigt have været vanskeligt, idet de fleste specialister i Norden selv på en eller anden måde var indblandet i projektarbejdet.

NKS besluttede derfor at anvende i principippet samme metode som ved sin første evaluering [3]. Evaluatingskriterierne omfatter projekternes relevans og deres muligheder for at fremme nordisk samarbejde, desuden vurderes arbejdsformerne, og resultaterne bedømmes med henblik på deres nytte og deres fremtidige udnyttelse. Man udnævnte en enkelt\* udenforstående evalueringsperson for hvert af de fem programområder; denne person dannede sig på relativ kort tid et billede af forholdene gennem læsning og interviews.

---

\* for et af områderne, SAK, deltes arbejdet mellem to personer.

A. PROJEKTVÄL	
Kriterier	Anmärkningar
A.1 Relevans i förhållande till nationelle behov och internationella program	- behov av generella och specifika kunskaper i olika länder, aktualitet i projektiden, betydelse för säkerhetsarbetet nationellt.
A.2 Lämplighet för nordiskt samarbete	- t.ex. sammankoppling/utnyttjande av specifika resurser, betydelse av att uppnå gemensamt syn, kunskaper, verktyg.
A.3 Effekter för ett utvidgat nordiskt samarbete	- både fackliga, ekonomiska och politiska synspunkter.
B. ARBETSFORMER	
B.1 Projektorganisation	- effektivitet, och komplikationer vid samarbetet.
B.2 Programformulering och projektstyring	val av insatser (ny baskunskap, utredningar, experiment, metodutveckling). Gemensamt arbete/samordnade nationella insatser.
B.3 Finansiering med nordiska och nationalla medel	
B.4 Kontakter med intressenter	- rutiner för löpande resultat-spridning "marknadsföring" av projektarbetet, spridning utanför Norden.

Tabel 3.

**C. PROJEKTRESULTAT**

Kriterier	Anmärkningar
C.1 Genomförande av projekt- plan	- inklusive tid- och resursanvändning.
C.2 Uppfyllande av fackliga mål	- tekniska och vetenskapliga värden, presentationsform av resultaten för olika intressent-kretsar.
C.3 Mervärde på grund av nordiskt samarbete	- t.ex. utökat informationsutbyte, nya kontakter, utbildningsaspekter, skolning och kompetensöverföring, utnyttjande av resurser, betydelse i internationella sammanhang.

**D. UTNYTTJANDE AV RESULTATEN**

D.1 Praktiskt utnyttjande	- inom och utanför energiområdet, i samhället.
D.2 Utnyttjandeproblematiken	- användning av nordiska resultat i nationellt arbete, utnyttjande av generella/specifika resultat, kontaktpproblem med användarna.
D.3 Resulterande verksamhet	- t.ex. i forskning, utveckling, utbildning, internationelle kontakter, politiska effekter, inflytande på utvecklingen.

NKA's evalueringskriterier.

Dernæst udarbejdede han en evaluatingsrapport for sit område, støttet på nogle enkelte evalueringsskriterier, tabel 3. Til slut drog NKS gennem en lille arbejdsgruppe selv konklusionerne og sammenfattede anbefalingerne for kommende nordiske projektsamarbejde.

Navnene på evalueringspersonerne og på NKS-arbejdsgruppens to medlemmer fremgår af tabel 4.

SAK	Ami Rastas Bjarne Regnell	TVO - Industrins Kraft, Helsingfors Imatran Voima Oy, Helsingfors
KVA	Mats Danielsson	ALFA-LAVAL Quality Management AB, Stockholm
LIT	Kåre Netland	Rogalandforskning, Stavanger
AVF	Bengt Edwall	Sydkraft AB, Malmö
REK	Uffe Korsbech	Danmarks tekniske Højskole, Lyngby
<hr/>		
NKS- arbejds- gruppen	Lennart Hammar Pekka Silvennoinen	Statens Kärnkraftinspektion, Stockholm Statens tekniska Forskningscentral, Helsingfors

Tabel 4.  
Evalueringspersoner

SÄK-1: SANNOLIKHETSBASERAD RISKANALYS OCH LICENSIERING

1  
Inledning

Sannolikhetsbaserad riskanalys (Probabilistic Risk Analys, PRA) är en kombination av logiska strukturer och analytiska metoder med vilka man kan utvärdera sannolikheten och konsekvensen av sällsynta hänselser. Fast sannolikhetsbaserade metoder tillämpades inom kärnkraftstekniken redan på 1960-talet betraktas "Reactor Safety Study" (WASH-1400) som publicerades i oktober 1975 i USA som den första egentliga PRA. Åsikterna om denna studie var delade på grund av dess nya metoder och invecklade karaktär. PRA-metodiken fann ingen större praktisk användning ännu på 1970-talet. I samband med utredningarna för TMI-2 olyckan i mars 1979 började man så småningom allt tydligare inse betydelsen av PRA-metodiken i kärnkraftverkens säkerhetsbedömningar.

Användningen av PRA-metodiken utbredde sig snabbt globalt i början av 1980-talet. Det var naturligt att detta ämnesområde började undersökas även som ett föremål för nordiskt samarbetsprojekt.

2  
Projektval

Vid etablering av SÄK-1 -projektet ställdes stora förväntningar på PRA-metoderna och deras användning ökade snabbt. I en sådan här situation sker tillväxten lätt på kvalitetens bekostnad. Flera olika metoder som ännu inte nått etablerad ställning var i bruk. Mot denna bakgrund var projektet som jämförde olika metoder nyttigt.

I samtliga nordiska länder hade man redan under flera år visat aktivitet i tillförlitlighetsanalyser och det var viktigt att få dessa grupper i närmare kontakt med varandra. Detta var till nytta vid jämförelse av beräkningsprogram som grupperna anlitade samt vid skapande av personkontakter.

Etablering av projektet var särskilt aktuell därfor att man då höll på att påbörja konkreta PRA-undersökningar för vissa nordiska kärnkraftverk.

De nordiska kärnkraftverken har några tekniska särdrag som avviker från de lösningar som allmänt är i bruk annanstans. T.ex. säkerhets-systemen har i allmänhet flera redundanser än amerikanska anläggningarna. Även driftpersonalen på anläggningarna i Norden kan anses ha ganska likartad bakgrund och utbildning som dock kan avvika från situationen i andra länder. Även i detta avseende var det motiverat att jämföra olika metoder med hänsyn till deras tillämpighet på speciellt de nordiska kärnkraftverken.

3  
Arbetsformer

Projektet genomfördes som ett samarbete mellan följande institutioner:

- Forsøgsanlæg Risø, Danmark
- Statens tekniska forskningscentral, Finland
- Institutt för Atomenergi, Norge
- Studsvik Energiteknik AB och AB Asea-Atom, Sverige.

Olika institutioners tidigare erfarenheter påverkade arbetsfördelningen. Institutionerna hade kanske för stor frihet att välja sina egna uppgifter i projektet vilket i viss mån ledde till dubbearbete på några områden.

Stor omsättning på deltagande personer störde i viss mån själva genomförandet av projektet.

Projektet leddes av en projektgrupp bestående av medlemmar från samtliga deltaqarinstitutioner samt av experter från myndighetsorganisationer. Projektgruppen samlades cirka fyra gånger om året. På dessa sammanträden behandlades frågor beträffande arbetsfördelningen och tidplanen. En gång om året hölls ett större arbetsseminarium vilket visade sig vara mycket nyttigt för resultat- och erfarenhetsutbytte.

Projektgruppens kontakter med styrgruppen var tämligen lösa. Även kontakterna med det parallella projektet LIT var få fastän projekten hade tydliga anknytningspunkter.

De ekonomiska resurserna som reserverats för projektet var tillräckliga. NKA:s andel av samtliga projektutgifter var cirka 30 %. Resterande utgifter täcktes med finansiering från deltagande institutioner.

Projektet höll sin tidplan ganska bra. Projektresultaten var tekniskt färdiga före slutet av år 1984 fast slutlig bearbetning av slutrapparten förflyttades över till år 1985.

Marknadsföringen av projektet och dess resultat har skötts bra, bl.a. utarbetades en broschyr om projektet. På basen av projektresultaten har föredrag hållits vid internationella PRA-konferenser bl.a. vid konferensen i San Francisco i februari 1985. Projektet hade även kontinuerliga kontakter med andra organisationer inom området som t.ex. CSNI (NEA), SRE (England), och EPRI (USA).

Projektet hade goda och kontinuerliga kontakter med samtidiga konkreta PRA-undersökningar i Norden eftersom samma personer deltog i dem. Delvis utnyttjades även bakgrundsmaterial från PRA-undersökningarna.

#### 4

#### Projektresultat

Projektet var ett sammanställnings- och utvärderingsarbete som egentligen inte skapade nya metoder. Projektet fungerade ändå som katalysator för utveckling av ny kunskap och nya metoder i deltagarländerna.

Experter och av projektet skolade personer har gått över till andra uppgifter och på detta sätt effektivt spritt ut den sakkunskap som utvecklats inom projektet.

Man kan anse att man inom projektet nått en även internationellt sett hög nivå i kännedom om och användning av PRA-metoder. Detta har skapat en god grund för jämlika förbindelser även utanför Norden.

Den i projektförlaget framlagda målsättningen nåddes inte till alla delar. Så här i efterhand kan vissa målsättningar anses vara för ambitiösa och justering av planerna under projektets gång har till dessa delar varit motiverad. T.ex. om tillämpning av PRA-metoder vid licensieringen har man bara lämnat en översikt över det nuvarande läget i olika länder. Det skulle också varit för tidigt att ge några konkreta rekommendationer beträffande användning av metoderna vid licensieringen med hänsyn till metodernas nuvarande utvecklingsstadium.

5  
Utnyttjande av resultaten

Projektet har skapat grund för val och användning av PRA-metoder i konkreta PRA-undersökningar. Sådana här undersökningar har redan gjorts eller är under arbete för samtliga nordiska kärnkraftverk. Projektet har dessutom bidragit till att uppsätta T-handboken som innehåller grunddata för analyser.

Projektets slutrapport är väl och tydligt skriven och kan således användas även till utbildningssyften.

Projektets slutrapport innehåller förslag till fortsatta undersökningar. Av dessa har tillämpning av PRA-metoder i optimering av säkerhetstekniska föreskrifter redan konkretiseras i NKA:s kärnsäkerhetsprogram 1985-1989.

Utnyttjande av resultaten utanför kärnkrafttekniken har betraktats i en separat rapport (*Risk Analysis, Uses and Techniques in the Non-Nuclear Field, A Nordic Perspective*, Kurt E. Petersen).

SÄK-3: UTVECKLING AV DATORKODER FÖR SIMULERING AV SMÅ BROTT

INLEDNING	Erfarenheterna från Three Mile Island -haveriet ledde bl.a. till en omvärdering av betydelsen av olika fall av kylmedelsförlust. Man började inse vikten av att mera än tidigare uppmärksamma små brott, eftersom deras andel av den totala riskbilden är betydande.  Det bedömdes därför som viktigt, att det i NKA:s forskningsprogram inom reaktorsäkerhetsområdet skulle ingå ett delprojekt med direkt anknytning till små brott.
	Som en väsentlig målsättning ingick i detta delprojekt utveckling av datorkoder för simulering av små brott. Intresse för detta delprojekt fanns i alla de nordiska länder, som deltar i NKA-arbetet, även om tillgången till resurser och omfattningen av det utförda arbetet varierade länderna emellan.
	Säk-3-projektet har inte lett till utvecklandet av någon helt ny datorkod. Detta var knappast avsikten heller från början, trots att projektets namn tyder på en sådan målsättning. Den tillbudsstående relativt korta tiden och de begränsade resurserna hindrade ett så ambitiöst företag.
PROJEKTVÄL	Däremot kunde en rätt grundlig utvärdering av olika existerande koders lämplighet för analys av små brott genomföras. Erfarenheterna härväär till stor nytta i det analysarbete som görs för existerande och planerade kärnkraftverk..
	Man kan utan tvekan påstå, att ämnet för projektet låg i tiden. Intresset för små brott hade efter TMI-haveriet allmänt ökat och deras betydelse i den totala riskbilden hade framträtt klarare än tidigare. På det internationella planet igångsatte verksamhet av liknande karaktär, som kunde kopplas ihop med Säk-3. Främst kan nämnas vissa LOFT- och LOBI-experiment samt standardproblem i anslutning till dessa. Projektet startades således vid en mycket lämplig tidpunkt.

Behovet av lämpliga koder och förmåga att på bästa sätt använda dem är av naturliga skäl störst i Sverige och Finland, som båda har kärnkraftverk i drift.

Lovisa-verkets tryckvattenreaktorer är i flera avseenden unika. Detta ställer speciella krav också på olycksanalyser, något som klart bidragit till att man i Finland utvecklat en egen kod, SMABRE, för analys av små brott. En utvärdering av denna kods egenskaper i jämförelse med andra koder var av stor vikt för Finland, och förklarar det stora intresse för Säk-3 som visats från finskt håll.

Intresse fanns också både i Danmark och Norge, om ock intresset i de sistnämnda länderna avtagit under projektets gång. Allmänt taget är projektet sådant, att det lämpar sig för samarbete. Projektarbetet kan delas upp mellan olika intressenter och erfarenheter kan utbytas. Direkta personkontakter mellan de deltagande parterna har visat sig vara synnerligen värdfulla.

#### ARBETSFÖRMER

Projektorganisationen har fungerat tillfredsställande. Det föreligger ingen anledning till genomgripande förändringar. I vissa avseenden kunde emellertid förändringar göras med tanke på kommande projekt av liknande karaktär. Styrgruppens roll har förblivit relativt liten, och den kunde förstärkas. Behovet av kvartalsvis återkommande statusrapporter kan ifågasättas. Glesare rapporteringsintervall och ersättning av vissa rapporter med genomgång på ett möte av typ hearing borde övervägas. Noggrannare direktiv beträffande rapporternas innehåll borde ha givits för att de bättre skulle kunna tjäna beslutfattarnas behov.

Beträffande valet av insatser kan konstateras att det ursprungligen uppsatte målet, att utveckla en lämplig kod för analys av små brott, inte uppnåtts. Arbetet har i stället koncentrerats på att studera tillämpningen av existerande koder. Intresset har främst inriktat sig på en jämförelse av de olika kodernas egenskaper. Jämförelsen kan knappast betraktas som helt opartisk, eftersom i arbetet också deltagit personer som varit med om att utveckla datorkoder, av vilka åtminstone någon var med i jämförelsen. Arbetsfördelningen mellan de deltagande parterna har varit ändamålsenlig.

Finansieringen har varit problematisk. De höga kostnaderna för användningen av datorer har varit ett genomgående bekymmer. Allmänna medel har inte kunnat användas för detta ändamål, utan man har varit hänvisad till nationella bidrag.

PROJEKTRESULTAT

Enligt den ursprungliga tidplanen borde projektet ha slutförts vid årsskiftet 1984 - 85. Man bestämde sig dock av olika orsaker för att förlänga projektet. Detta visade sig förfogtigt, eftersom det gav möjlighet att i projektet inkludera kodversionen Relap 5, mod 2 samt LOBI-experimentet.

I stort sett har de planerade personresurserna kunnat ställas till förfogande. Resursbristen gjorde dock, att Norges insats blev tämligen blygsam.

Säk-3 har inte lett till nya vetenskapliga resultat. Däremot har resultat med direkt praktisk tillämpning uppnåtts. Arbetet har varit speciellt värdefullt i den meningen, att man lärt sig använda de utvalda koderna på ett optimalt sätt och att kunna beakta deras inneboende begränsningar.

Det bör dock hålls i minnet, att de undersökta koderna fortfarande är under utveckling och att de slutsatser man kommit fram till riskerar att rätt snabbt föråldras. Av mera bestående värde torde vara den ökade kunskap man fått om koderna i allmänhet samt de förbättrade möjligheterna till utnyttjande av specialistkunnande över gränserna projektet lett till.

De resultat, som framkommit under arbetets gång har varit så positiva, att det har underlättat den fortsatta finansieringen.

De enskilda länderna kunde inte ha uppnått samma resultat, eftersom de inte hade tillgång till alla de koder som var med i jämförelsen.

Projektet har gynnsamt påverkat det nordiska samarbetet, speciellt det som finns mellan VTT och Studsvik. Bl.a. kommer de erfarenheter man får av Relap 5, mod 2 - koden att utväxlas mellan parterna. Säk-3-projektet har lett till ett ökat intresse för samarbete.

På grund av de studerade problemens karaktär är användningen av resultaten närmast begränsad till kärnkraftsområdet, och tillämpningar inom andra teknikgrenar är knappast att vänta i större utsträckning.

Resultaten av arbetet inom Säk-3-projektet har rönt också internationellt intresse. En del resultat har presenterats på konferenser i Karlsruhe och Pisa. Projektetresultaten kommer ytterligare att beskrivas i ett föredrag på ENC-konferensen i Geneve 1986.

Resultaten av Säk-3-projektet kommer naturligtvis främst att användas i analyser rörande existerande och kommande kärnkraftverk. Utanför detta område torde det knappast finnas tillämpningar. Användarkretsen inom Norden är liten, och spridandet av resultaten till de intresserade utgör inget större problem.

Aktiva insatser behövs för att resultaten från projektet skall nå utöver Nordens gränser. Härvidlag har redan under projektets gång uppnåtts anmärkningsvärda framgånger. Resultaten från det synnerligen intressanta LOBI-experimentet ställdes till projektgreppens förfogande. Detta kan betraktas som en bytesaffär, där Säk-3-arbetet betraktades som en fullvärdig motprestation.

Säk-3-arbetet har lett fram till fortsatt internationellt arbete: deltagande i NRC:s evaluering av koder och deltagande i internationella standardproblem.

#### SÄK 4: KORROSION AV REAKTORMATERIAL

##### INLEDNING

Tillförlitligheten hos tryckbärande komponenter utsatta för högt tryck och höga temperaturer är av central betydelse för säkerheten hos kärnkraftverk. En hög tillgänglighet hos anläggningarna förutsätter också att dessa komponenter fyller sin uppgift såsom avsett. Erfarenheten visar dock, att så inte alltid är fallet. Avbräck i driften har i stor utsträckning förekommit på grund av korrosion, speciellt i ånggeneratortuber och i de yttre cirkulationskretsarna hos kokarreaktorer.

Korrosionens viktiga roll för säkerhet och tillgänglighet ledde till projektet Säk-4.

Den ursprungliga målsättningarna riktade in sig på att få fram data för myndigheternas säkerhetskrav samt att utveckla forskningsmetoder för utvärdering av de faror som är förbundna med korrosion. Man strävade också till att finna tillämpningar av korrosionskunskaper från kärnenergiområdet inom andra industrigrenar.

Inriktningen av arbetet fick emellertid under arbetets gång en annan inriktning med korrosion i havsvatten och användningen av nya material i förgrunden.

Man strävade också till direkta tillämpningar både inom och utom kärnenergiområdet. På detta sätt kunde alla deltagande nordiska länder, dvs. också de som inte har kärnkraftverk dra nytta av projektet.

##### PROJEKTVÄL

Det ursprungliga projektvalet motsvarade inte helt de behov och förutsättningar som förelåg under tiden för projektets genomförande. En väsentlig omarbeitning av projektets innehåll gjordes. Det var uppenbart att korrosion i havsvatten var ett område av stort intresse både för kärnkraftföretag och företag inom t.ex. off-shoreindustrien. En stor del av resurserna kanaliserades därför till studier av havsvattenkorrosion. Satsningen på områden där insatsen på andra håll är mycket stor gjordes medvetet mera blygsam.

Projektet kom i sin slutliga form att omfatta följande delprojekt:

- Erfarenheter av korrosion i lättvattenreaktorer
- Korrosion i havsvattensystem
- Spänningskorrosion i nickelbaserade legeringar
- Nya material i kärnkraftverk

Delprojekten har genomförts så, att alla deltagande länder haft möjligheter att ge väsentliga bidrag till arbetet. Uppgifterna har därigenom kunnat fördelas ändamålsenligt och insatserna från de olika länderna har därigenom blivit väl balanserade.

#### ARBETSFORMER

För övervakningen av projektet tillsattes en projektgrupp. Organisationen var för övrigt enkel och välfungerande. Projektgruppen hade ett fast grepp om projektet och medverkade på ett avgörande sätt till den slutliga utformningen av projektets innehåll.

Finansieringen ordnades så, att NKA svarade för ca hälften av kostnaderna medan resten utgjordes av nationella bidrag. Under projektets gång fick projektet ytterligare understöd. Av stor betydelse är det bidrag som erhölls av SKI.

Tillskottsförfinansieringen möjliggjorde att den experimentella delen av arbetet blev större än vad annars varit fallet, till förmån för projektet som helhet. Allmänt kan sägas, att pengar i tillräcklig utsträckning beviljades för projektet.

#### PROJEKTRESULTAT

Den ursprungliga tidplanen för projektet överskreds med ca. ett halvt år. Då måste man naturligtvis också beakta att betydande förändringar gjordes under projektets gång.

Det utförda arbetet har lett fram till både tekniska och vetenskapliga resultat. Arbetet rörande havsvattenkorrosion är till sin natur mera tekniskt, men har givit värdefulla resultat. Inconel-studierna är mera vetenskapliga till karaktären och har lett till fortsatt arbete t.ex. i form av redan igångsatt samarbete mellan VTT och Risley i England.

Speciellt beträffande korrosion i havsvatten står det klart, att ett "mervärde" uppnåddes genom det nordiska samarbetet. Man nådde sådana resultat som man icke med enbart nationella insatser hade fått fram.

#### UTNYTTJANDE AV RESULTATEN

En grundförutsättning för att de uppnådda resultaten skall komma till användning också utanför för den krets som medverkat i projektet är en effektiv resultatspridning. Detta har skett på olika sätt.

Två seminarier har hållits, det första i Stockholm i april 1983, det andra i Oslo i augusti 1985. Seminarierna har varit välbesöpta med inbjudna representanter från potentiella användare både från kraft- och offshore företag. Ett betydande antal forskningsrapporter har utkommit, likaså artiklar och konferenspublikationer.

Ett tecken på att projektet rönt också internationell uppmärksamhet är det ovannämnda gemensamma forskningsprojektet mellan VTT och Risley.

#### SLUTORD

De målsättningar som ursprungligen uppställdes för projektet uppnåddes inte, eftersom projektets innehåll i betydande grad omarbettes under arbetets gång. Det modifierade programmet har däremot i stort sett kunnat genomföras som planerat.

Arbetet har utmynnat i användbara resultat som på olika sätt har spritts till potentiella användare inom kraftföretagen och även inom andra områden såsom offshore-teknologin. Projektet har lämpat sig väl för nordiskt samarbete och har befordrat kontakterna mellan personer och institutioner verksamma på projektets område. Projektet har resulterat i fortsatt arbete, också i form av internationella samprojekt.

SÄK-5: HEAT TRANSFER CORRELATIONS IN NUCLEAR REACTOR  
SAFETY CALCULATIONS

1

Inledning

När det gäller säkerheten på kärnkraftverken är det viktigt att bränslets kapsling behåller sin integritet så bra som möjligt under normal-drift, driftstörningar och förmodade olycks-situationer. Kapslingens temperatur är en av de mest betydelsefulla faktorerna för inte-griteten. Därmed är beräkning av kapslingens temperatur ett av de centrala målen för kärn-kraftverkens säkerhetsanalyser. Beroende på komplicerade fenomen är man tvungen att i analyserna anlita experimentella korrelationer.

Korrelationerna har utvecklats pga mätningar utförda med sådan provutrustning som så bra som möjligt efterliknar verkliga reaktorför-hållanden. Fullständig motsvarighet kan i praktiken ändå inte nås.

I de termohydrauliska datorprogrammen som används i säkerhetsanalyser har korrelationerna i allmänhet sammanstälts till ett sk korrelationspaket ur vilket programmet sedan väljer den lämpligaste korrelationen för varje situa-tion.

Målet för SÄK-5 -projektet var att utveckla ett korrelationspaket som skulle innehålla pålit-liga korrelationer för samtliga värmeöverförings-situationer som kan förekomma i en kärnreaktor.

3

Projektval

De termohydrauliska datorprogrammen utvecklades kraftigt på 1970-talet. Huvudvikten i utvecklingen låg i att precisera beskrivningen av fy-sikaliska mekanismer. Man kunde konstatera att korrelationerna i programmen höll på att bli efter i utvecklingen. Mot denna bakgrund var det motiverat att etablera ett nordiskt projekt för utvärdering av korrelationerna.

För projektvalet talade även det att det tradi-tionellt hade funnits samarbete mellan de nor-diska länderna gällande termohydrauliska ana-lyser. Delvis användes även samma datorprogram i olika länder.

Projektet begränsades till att gälla enbart värmeeöverföringskorrelationer. Att inkludera även andra korrelationer (t.ex. subcooled void, slip, phase separation, interfacial friction) i projektet hade kunnat vara på sin plats eftersom även de kan ha betydelse för värmeeöverföringen.

4

#### Arbetsformer

I projektet deltog följande institutioner:

- Forsøgsanlæg Risø, Danmark
- Statens tekniska forskningscentral (VTT), Finland
- Institutt för Atomenergi (IFE), Norge
- Studsvik Energiteknik AB samt  
Kungliga tekniska Högskolan (KHT), Sverige.

Arbetsfördelningen gjordes så att varje institution fick ansvar för en viss värmeeöverföringsregim. En sådan här arbetsfördelning verkar lite obalanserad med hänsyn till det att det finns stora skillnader i svårighetsgraden när man försöker beskriva värmeeöverföringen i olika regimer.

Personer som arbetade med i projektet ansåg att styrgruppens roll var tämligen liten. Rapportering varje kvartal upplevdes vara frustrerande. En mera sällan återkommande (t.ex. en gång om året) men grundligare genomgång skulle i motsvarande projekt kunna vara en effektivare lösning.

Projektet stördes av att deltagarna hade även andra arbetsuppgifter. Projektet låg inte heller på plats nr 1 i prioritetsordningen. Finansieringen av datorkörningarna upplevdes också vara problematisk.

Av projektets samtliga utgifter täcktes cirka en tredjedel med NKA-finansiering. Resterande kostnaderna täcktes med nationell finansiering.

Det är meningen att presentera projektets resultat vid internationella konferenser, bl.a. vid ENC' 86 (Geneve, juni 1986) och vid värmeeöverföringsmötet (San Francisco, september 1986).

5  
Projektresultat Projektet genomfördes väl enligt den ursprungliga tidplanen.

Inom projektet jämfördes och bedömdes existerande korrelationer. Nya korrelationer utvecklades inte. Jämförelsen av de existerande korrelationerna med experimenten kan anses ha blivit utförda enligt planerna.

Projektet visade även tydligt att det speciellt inom post-CHF-området finns behov för vidareutveckling av korrelationerna.

6  
Utnyttjande av resultaten

Resultaten kan direkt utnyttjas vid utförande av analyser med de datorprogrammen som varit med i projektet. På basen av resultaten kan man välja ut den lämpligaste korrelationen och bedöma den osäkerhet i analysresultaten som beror på korrelationerna.

Projektrapporten innehåller ett sammandrag av publicerade värmeöverföringskorrelationer samt en utförlig litteraturförteckning. Därför kommer rapporten säkert att ha användning som handbok i framtiden.

I samband med projektet sammanställdes på VTT ett korrelationspaket. Eventuellt ska paketet användas vid Modular Plant Analyser -projektet som etableras i Finland. Det är också möjligt att inkludera paketet i stora termohydrauliska datorprogram som t.ex. RELAP-5/MOD2. Det skulle kanske löna sig att vidareutveckla detta paket t.ex. på bilateral bas mellan finska och svenska användare.

Det finns behov att för post-CHF-värmeöverföringsområdet utveckla bättre korrelationer. Ett sådant utvecklingsarbete förutsätter ett större internationellt samarbete för vilket arbetet inom SÄK-5-projektet skulle utgöra en bra utgångspunkt.

MENNESKELIG PÅLITELIGHET I KOMPLEKSE ENERGISYSTEMER

Utført av Kåre Netland, Studiesenteret i Rogaland/Rogalandsforskning

Dette forskningsarbeidet er en videreføring av det arbeidet som ble gjennomført i tidsrommet 1977-1980 og som da kom inn under betegnelsen Kontrollromsutforming (KRU).

KRU-prosjektet viste:

- at menneskelige feilhandlinger utenfor kontrollrommet også hadde stor betydning for anleggets sikkerhet.
- at organisasjonsstrukturen har stor innflytelse på kvaliteten av den menneskelige aktivitet.
- at bruk av datamaskiner har et stort potensiale i forbedring av kontrollroms aktivitetene og ved design av kontrollsystemer.

LIT-prosjektet har derfor hatt som siktemål å vurdere de menneskelige aspekter i planlegging og operasjon av komplekse industrielle prosesser. I operasjon av industrielle prosesser er det alltid en mulighet for at menneskelige feilhandlinger kan initiere uventede hendelser. Et generelt problem er da å minske mulighetene for menneskelige feilhandlinger både i design-fasen av prosessen og i design av det tilhørende kontrollsistemmet, videre er det innlysende at organisasjonsstrukturen og treningen er av vesentlig betydning. LIT-prosjektet har igjen blitt delt opp i forskjellige delprosjekter:

- menneskelige feilhandlinger i forbindelse med test og vedlikehold av teknisk utstyr (LIT-1)
- sikkerhetsorientert organisasjon og menneskelig pålitelighet (LIT-2)
- bruk av datamaskiner i design av kontrollrom og kontrollsystemer (LIT-3.1)
- datamaskiner som verktøy i operasjon av komplekse prosesser

(LIT-3.2)

- eksperimentell verifikasjon av datamaskin baserte kontrollrom  
(LIT-3.3)
- planlegging og evaluering av operatørtrening (LIT-4).

Det har vært naturlig å fordele del-prosjektene etter forutsetninger og interesse mellom de deltagende organisasjoner. Delprosjektene har en forholdsvis stor faglig spredning, men det har likevel vært mulig til en viss grad å koordinere de løpende aktiviteter mellom delprosjektene.

#### BESKRIVELSE OG VURDERING AV DEL-PROSJEKTENE

LIT-1 Menneskelige feilhandlinger i forbindelse med test og vedlikehold av teknisk utstyr.

Dette delprosjektet er gjennomført som en studie mot svenske kjernekraftverk og er utført under ledelse av SKI med prosjektmedarbeidere fra Studsvik Energiteknik, ASEA-ATOM og Chalmers tekniske høyskole.

LIT-1 hadde to siktemål:

1. muligheten for å optimalisere test intervallene basert på eksisterende metoder for innsamling av operasjonserfaring og på modeller for beregning av optimale intervaller.
2. utvikling og bruk av nye strategier i utforming av prosedyrer for test og kalibrering og som parametere i risikoanalyser. Videre skulle denne viten brukes ved analyse av aktuelle hendelser.

Studien blir gjennomført ved å gjennomgå utvalgte eksempler på rapporterte feilhandlinger, beskrivelse av prosedyrene for test og kalibrering ved svenske kjernekraftverk og sammenligning av hvordan disse oppgaver utføres i Sverige og Finland. Videre ble menneskelige feilhandlinger ved test og vedlikehold av dieselegeneratorer analysert.

Kommentarer til LIT-1

Dette del-prosjektet fokuserer på problemer i forbindelse med kjernekraftverk, men det er mange likhetstrekk med andre industrielle prosesser, f.eks. en offshore produksjonsplattform. LIT-1 peker på utilstrekkelighet i systemet for feilrapporteringen (ATV-systemet). Dette er vesentlige kommentarer for oppbygging av tilsvarende rapporteringssystemer for andre industrier.

For å kunne bestemme et optimalt test og vedlikehold intervall er det også vesentlig med en database som kan benyttes ved statistiske analyser. Prosjektets konklusjoner om utilstrekkeligheten i rapporteringssystemet er også her av vesentlig betydning for annen industri. Spesielt pekes det på problemer med å beskrive menneskelige feilhandlinger.

Med hensyn til studien av hvordan test og vedlikehold organiseres påpeker den vanskeligheten med å unngå menneskelige feilhandlinger og at det derfor må utformes prosedyrer med innebygget redundans. Nødvendigheten av skriftlige operasjonsprosedyrer blir også spesielt uthevet.

LIT-2 Sikkerhetsorientert organisasjon og menneskelig pålitelighet

Dette prosjektet er stort sett gjennomført i Sverige og ledet av Vattenfall med deltagelse fra LUTAB, SYPRO og SKI. Halden og VTT har også deltatt i dette del-prosjektet. Arbeidet er utført under betegnelsen ORGRIP (Organizational Reliability Improvement Procedure) og delprosjektet er meget godt dokumentert.

Siktemålet med dette del-prosjekt var ønsket om å oppnå en bedre forståelse for hvordan den menneskelige faktor påvirker en sikkerhetsorientert organisasjon. Kunnskapen og erfaringen om en organisasjon og sikkerheten skulle spesielt siktes inn mot energi- og oljeindustrien. Det skulle videre utarbeides en metode for å kunne observere og vurdere en organisasjon for en forbedret sikkerhet.

Det er påvist at ved analyse av uventede hendelser har tradisjonelt den tekniske delen og også den menneskelige faktor blitt inngående vurdert. Derimot har den bakenforliggende organisasjonen som er koblingen mellom mennesket og teknikken blitt viet liten oppmerk-

somhet.

Prosjektet er gjennomført under den forutsetning at beskrivelsen av en organisasjon for drift av et teknisk anlegg er et tverrfaglig område som krever kunnskaper om prosessen, den menneskelige atferd og organisjonsformen. Det ble gjennomført litteraturstudier både om teorier og om faktiske hendelser i den svenske industrien (kjernekraftverk og vannkraftverk).

#### Kommentarer til LIT-2

Studien bør ha klar relevans for eksisterende driftsorganisasjoner siden den drar direkte nytte av kraftindustriens egne erfaringer og hvordan denne fungerer i praksis når uventede hendelser og ulykker oppstår.

Det påvises at for de aktuelle hendelsene er den eksisterende prosjektorganisasjonen av klar betydelse for den totale sikkerheten. Eksempler på konklusjoner fra studien er:

- at resultatansvar øker effektiviteten og besluttsomheten ved hendelser
- at kort geografisk og sosial avstand mellom sjef og ansatte er positiv for en riktig handling ved hendelser i anlegget
- at sikkerhetskompetanse lengst ute i organisasjonen er viktig.
- det er vanskelig å akkumulere kunnskaper i en organisasjon.

Prosedyren ORGRIP som ble utviklet i dette prosjektet anses som meget verdifull for større driftsorganisasjoner. Meningen med metoden er at organisasjonen benytter den på seg selv for å belyse sin egen innebygde sikkerhet. Driftsorganisasjonen består her av formelle og uformelle regler som ledelsen og de ansatte er innordnet i.

### LIT-3.1 Bruk av datamaskiner i design av kontrollrom og kontrollsystemer

Dette delprosjekt er i det vesentlige utført av VTT med det siktemål å studere hvordan moderne datasystemer kan benyttes i design av kontrollrom såvel som det omliggende kontrollsistemmet. Denne studien er relatert til at svært mange analyser av hendelser og ulykker kan føres tilbake til den opprinnelige utformingen av kontrollrommet og kontrollsistemmet. Bruk av CAD (Computer aided design) vil også få større betydning og bli en nødvendighet etter som industrielle kontroll systemer stadig blir større og mer komplekse. Kravene til rask ombygging og modifikasjon aktualiserer også effektive systemer som holder den opprinnelige design basen som igjen blir grunnlaget for en pålitelig endring.

Som avslutning på denne studien betraktes et eksisterende CAD system i mer detaljer. Dette spesifikke systemet, SML (system modelling language), er et verktøy for å bygge en modell av prosessen. Studien avsluttes med å vise SML brukt på et tenkt design.

#### Kommentarer til LIT-3.1

Bruken av CAD systemer er idag en absolutt nødvendighet i konstruksjon av større strukturer, f.eks. offshore moduler og plattformer. Det er også eksempler på at dette verktøyet bestående av avanserte grafiske systemer blir brukt i utformingen av et kontrollrom, spesielt prøves forskjellige plasseringer av pulter, knapper, instrumenter, etc. Denne studien viser også at det er mye å hente på å la data systemet analysere og holde oversikten over de kriteria som ligger til grunn for den spesifikke design. Dette er spesielt av stor viktighet innen store offshore utbygginger. Den opprinnelige design blir ofte utført av utenforstående engineering firma som igjen har koblingen mot utbyggingsseksjonen hos eieren. Senere når driftsseksjonen ser nødvendigheten av modifikasjoner og mindre utvidelser, har de ofte store vanskeligheter med å få tak i den opprinnelige design basis. Filosofien som lå til grunn for den opprinnelige design er knapt nedskrevet. Et computer basert design system vil derfor ha stor verdi for at f.eks. modifikasjoner blir utført uten at feil introduseres.

LIT-3.2 Datamaskiner som verktøy i operasjon av komplekse prosesser

LIT-3.3 Eksperimentell verifikasjon av datamaskin baserte kontrollrom

Disse to del-prosjektene er gjennomført som et prosjekt. Det meste av studien er utført ved Risø, en mindre del i Halden.

Denne studien er en videreføring av et arbeide som har foregått over lang tid ved Risø og i Halden. Innen det forrige KRU samarbeidet, ble deler av dette forskningsområdet påbegynt.

Disse to prosjektene har hatt som hovedmålsetting:

- å utarbeide en tilstrekkelig basis for forståelse av menneskelige beslutningstagende i forbindelse med diagnose og plassering i komplekse industrielle anlegg.
- å utarbeide en metode som kan evaluere forholdene mellom de menneskelige aktiviteter i et kontrollrom og formen og strukturen på et computer basert informasjons system.
- eksperimentelt å evaluere sider ved computer baserte hjelpe-midler i kontrollrommet.

LIT-3.2 behandler de to første punktene, mens LIT-3.3 spesielt dekker den eksperimentelle delen av prosjektet som da evaluerer noen spesifikke presentasjonsteknikker på et fargegrafisk system koblet til en enkel modell av et kjernekraftverk. Simulatoren har fått betegnelsen GNP (Generic Nuclear Plant) og er utviklet ved Risø.

Kommentarer til LIT-3.2 og LIT-3.3

Den første delen av studien er en naturlig videreføring av den forskning som har foregått i disse miljøer over lengre tid med hensyn til operatør-prosess forholdene i komplekse tekniske styringssystemer. Det er utarbeidet en overordnet filosofi for design av feil-tolerant operatør-computer grensesnitt. Denne filosofi vil være meget verdifull som basis for alle utforminger av framtidige kontrollrom. Det vil være naturlig å videreføre dette materialet mot et mer spesifikt oppsett for bruk i engineering fasen.

Den andre delen av studien omhandler den eksperimentelle evalueringen av noen av de konseptene som ble utviklet i den først delen. Bruken av masse- og energi flyten som basis for å forstå den øyeblikkelige status for et anlegg, er for mange en helt ny måte å vurdere et spesifikt anlegg på. I dagens kontrollrom brukes isteden de tradisjonelle mimic-diagrammer. Det er mulig at bruken av masse- og energi flyten i en prosess vil bli brukt i framtidige presentasjons-systemer, da for å oppnå et billede av anleggets totale status. Skal en diagnostisere detaljer i prosessen, vil nok de tradisjonelle mimic-diagrammer være mer aktuelle.

#### ORGANISERING AV PROSJEKTET

Prosjektet er administrert av en styregruppe med representanter fra hver av de institusjoner som også har bidratt med egen finansiell innsats i form av personell og utstyr. Det er i prosjektperioden avholdt et mindre antall plenumsmøter og en rekke mindre prosjektmøter. I Danmark, Finland og Norge har en forskningsinstitusjon vært deltaker i prosjektene, fra Sverige har flere institusjoner deltatt.

#### Kommentar til gjennomføringen

LIT prosjektet har hatt en forholdsvis vid vitenskapelig spredning. Mål-gruppene for de enkelte del-prosjektene har også vært noe forskjellig. Dette har gjort at det har vært mindre samlet interesse for hele LIT prosjektet enn ønskelig. Det synes som om hver av de deltagende institusjoner i stor grad har konsentrert seg om sitt eget problemområde uten å engasjere seg i de andre. Dette betyr at intensjonene om et nordisk samarbeide mer er fokusert på finansiell støtte enn på et faglig samarbeid og på utnyttelse av den samlede kompetanse.

De institusjoner som har deltatt har også hatt forskjellige målgrupper med sitt arbeide, f.eks. andre internasjonale forskningsemiljøer, internasjonale samarbeidspartnere, den nasjonale industrien og lisensieringsmyndigheter. Dette har gjort at det blir forskjellig vektlegging på prosjektarbeidet når f.eks. resultatene ikke forventes å bli tatt i bruk før en gang i framtiden, mens andre ønsker å komme fram til resultater som kan benyttes i dag.

Dette er problemområder som må tas med i vurderingen når nye nordiske samarbeidsprosjekter skal utformes. Selv om samarbeidspartnerne har forskjellig abstraksjonsnivå som forskning kan dette utnyttes dersom et felles system (produkt) bearbeides. F.eks. kan en institusjon utarbeide systemfilosofier, den neste evaluere designet eksperimentelt, den neste igjen utforme industrielle løsninger og endelig kan operasjonsprosedyrer og de sikkerhetsmessige aspekter vurderes av en annen institusjon.

De samme institusjoner har nå i en rekke år blitt definert som samarbeidspartner innen området overvåking og styring av komplekse prosesser. I gjennomføringen av LIT prosjektet kan selv en utenforstående se at samarbeidet ikke har vært helt etter intensjonene, dette skyldes bl.a. den nevnte forskjellige målsettingen, men også uoverensstemmelser blant prosjektdeltakerne har vært medvirkende. Videre har spredningen av resultatene til den nasjonale industrien ikke vært god nok som igjen skyldes forskjellige interesser, f.eks. internasjonale forskningsmiljøer og internasjonale samarbeidspartnere. Det anbefales derfor for framtidige nordiske prosjekter å se på om andre institusjoner skal komme i tillegg eller isteden for de nåværende.

I diskusjoner med prosjektmedarbeiderne er det en klar positiv holdning til et nordisk samarbeid, men det påpekes stadig at det ble for liten kobling mot de andre del-prosjektene og at det absolutt skulle vært arrangert flere plenumsmøter for alle prosjektene.

I løpet av prosjektpersonen er simulatoren i Halden blitt videre utbygget. Det er her tilgjengelig et oppsett med et meget stort potensiale for eksperimentell verifikasjon av nye presentasjons- og diagnoseteknikker, f.eks. konseptet for bruk av masse- og energiflyten. I samme tidsrom er det utviklet et mindre simulator oppsett på Risø, betegnet GNP. Denne dobbel-utviklingen synes unødvendig og burde organisatorisk vært unngått.

Det har vært vanskeligheter med å koordinere aktivitetene mellom de forskjellige deltakende institusjoner i Sverige. Det er SKI som har hatt dette koordineringsansvaret. Det er selvfølgelig vanskeligere når et antall forskjellige institusjoner med forskjellig forutsetning og målsetting skal koordineres. Dette har da sammenhenger som er nevnt tidligere, nemlig en mer konsentrert målsetting og målgruppe.

Prosjektet har utarbeidet et stort antall interne og eksterne rapporter. De interne rapportene har liten verdi for de som ikke kjenner prosjektene. De eksterne rapportene derimot bør ha almen interesse for forskningsinstitusjoner og den nasjonale industrien. Det burde vært innebygget i organiseringen av LIT prosjektet og i budsjettene en spredning av resultatene i form av seminarer og demonstrasjoner. Denne spredningen av resultater begrenses nå kanskje av den kommersialisering som har funnet sted i forskningsinstitusjonene, det er nødvendig å selge kunnskaper og systemer for å kunne eksistere. Det vil derfor være nødvendig i framtidige NKA prosjekter å "pålegge" spredningen av resultatene.

#### OPPSUMMERING

Intensjonene om nordisk samarbeid innen dette fagområdet har et stort framtidig potensiale som må utnyttes. Det er store verdier i det arbeidet som allerede er gjennomført. De som har deltatt i prosjektene vil ta denne viden med seg i sitt videre arbeide, og dette er kanskje den beste måten å utnytte resultatene på. Dette krever da som nevnt tidligere en mer samlet målsetning i framtidige prosjekter. Internasjonalt har deler av prosjektet vakt oppmerksomhet. Dette gjelder spesielt de konseptene som er utviklet omkring operatøren som et vesentlig element i overvåkningen og styringen av komplekse kontrollsystemer. Dette og andre elementer er verdifulle for markedsføring av det vitenskapelige miljøet i Norden.

Det har i vurderingen av LIT prosjektet fra enkelte vært hevdet nødvendigheten av en strammere styring av framtidige prosjekter. Dette er i tråd med dagens krav til resultat-orientert forskning. Etter undertegnede mening bør ikke dette være normen for framtidige prosjekter. Det bør være en stor grad av faglig frihet, og innebygde muligheter, i prosjekter som er homogene og hvor også de deltagende institusjoner har en felles plattform og målsetting.

## **Utvärdering av NKA/KVA-projektet 1981-85**

### **Kvalitetssäkring (QA, Quality Assurance)**

Utvärderingen har gjorts av Mats Danielson, Alfa-Laval Quality Management AB

#### **Projektbeskrivning**

Kvalitetssäkring består av alla de planerade och systematiska åtgärder, som är nödvändiga för att förvissa sig om att en produkt eller process skall uppfylla ställda kvalitetskrav. Krav på system för kvalitetssäkring finns formulerade i en rad nationella och internationella standarder, som tillämpas mellan köpare och säljare. Kraven föreligger även i form av myndighetsföreskrifter.

NKA-projektet 1977-1980 rörande kvalitetssäkring avsåg kärnkraftsområdet. Mot bakgrund av den ökande användningen av standarder för kvalitetssäkring var dock resultatet även av stort intresse för andra industriområden. Det nya projektet som föreslogs Nordiska Ministerrådet kom därför att utvidgas till att omfatta kvalitetssäkring inom hela energisektorn, dvs offshore, raffinaderier, LNG, kol- och oljekraft, etc.

Vid det nordiska kvalitetssäkringsymposiet i Helsingfors i augusti 1980, då resultaten av NKA/QA-projektet presenterades, diskuterades uppläggningen av det nya programmet. Programmets totalram hade minskats vilket reducerade dess omfattningen.

En arbetsgrupp bildades för att konkretisera programmets innehåll och för att organisera styr- och arbetsgrupper för genomförandet. Projektet genomfördes i samverkan med de kvalitetstekniska föreningarna i Norden.

Programmet omfattade följande delprojekt:

- KVA-1, Utnyttjande av befintligt kvalitetssäkringsmaterial
- KVA-2, Utbildning och certifiering av kvalitetssäkringspersonal
- KVA-3, Myndighetskrav med avseende på kvalitetssäkring
- KVA-4, Riktlinjer för införande av kvalitetssäkringssystem - erfarenhetsåterföring

#### **Projektval**

Krav på kvalitetssäkringsystem ställs i allt större omfattning på olika industriella verksamheter i syfte att förebygga skador till liv och egendom samt att undvika fel med svåra ekonomiska följdverkningar. Detta har tagit sig uttryck i ett flertal olika föreskrifter och standarder från olika länder, vilka påverkar nordisk industri i allt högre grad.

Frågor rörande tolkning av kraven och deras tillämpning är därför mycket betydelsefulla. Ett gemensamt synsätt vad gäller kvalitetssäkringskrav underlättar samarbetet inom nordisk industri och handel. Tillämpning av en ökad kunskap om kvalitetssäkring förbättrar även konkurrenskraften på det internationella planet.

Projektvalet måste därför ses som relevant med hänsyn till nationella behov och internationell utveckling.

#### **Arbetsformer**

Arbetsformen med styrgrupp för det totala projektet och mindre arbetsgrupper för delprojekten anses som lämplig för denna typ av projekt och samarbetet uppges ha fungerat relativt väl. Möten med styr- och arbetsgrupper hölls regelbundet.

En alternativ arbetsform, som dock torde vara effektivare och därför bör övervägas, är att anlita konsulter för själva utvecklingsarbetet och att bilda referensgrupper för behandling av utarbetade förslag.

Programformuleringen var relativt allmänt hållen då medel söktes för projektet men preciserades vid projektstart. En klarare programformulering från början hade varit en fördel då medel söktes.

Med hänsyn till de begräsade medel, som stod till projektets förfogande, var vissa av projekten av förstudiekarakter. För delprojekt KVA-4, som var av stort intresse, ansöktes om medel från Nordisk Industrifond för 1983. Ansökan avslogs dock.

Ambitionsnivån vad gäller det totala arbetet måste anses ha varit för hög med hänsyn till beviljade medel. Det hade varit lämpligare att koncentrera insatserna till något av delprojekten.

Intressentgruppernas varierande intressen var en komplikation för projektet. Speciellt svårt var det att finna myndighetskontakter för delprojekt KVA-3.

### **Projektresultat**

De ursprungliga projektplanerna kunde ej innehållas till alla delar. En del av förklaringen kan finnas i att resurser saknades för det egentliga projektarbetet. Projektbudget innehölls.

KVA-1 resulterade i en väl dokumenterad litteraturöversikt "Nordisk litteratur om kvalitetsstyrning och kvalitetssystem".

KVA-2 utmynnade i en del förslag beträffande kompetenskrav för kvalitets-systembedömmare samt innehåll i utbildning för dessa. Förfärlagen har ej publicerats.

KVA-3 projektet mötte inget gensvar från myndighetshåll. Möjligen var frågeställningen för tidigt väckt.

KVA-4 resulterade i förslag till en studie i syfte att samla in företagens erfarenheter av kvalitetssystem och till utarbetande av riktlinjer för införande av kvalitetssystem i företagen. Medel erhölls dock ej för genomförandet.

### **Utnyttjande av resultaten**

Litteraturöversikten, som utkom 1982, har givits ut i samverkan med de kvalitets-tekniska föreningarna i Norden. Den ger en god inblick i tillgänglig litteratur på området.

Genom att frågan om kvalitetssystem i hög grad är aktuell genom pågående arbete med ISO-standard kan det även finnas en del information från projektet, som är användbar i framtiden.

Avfallsområdet

Utvärderingen har gjorts av Bengt Edwall,  
Sydkraft AB, Malmö.

Inledning

Målsättning för arbetet:

I utredningsserie NK B 1980:15 beskrivs en förväntad målsättning för nordiskt samarbete inom avfallsområdet under perioden 1981-1985. Liksom i det tidigare genomförda utvecklingsprogrammet fokuserades det fortsatta arbetet till kärnkraftindustrins, avfallsorganisationernas och myndigheternas behov inför planläggning av slutlager för reaktoravfall.

Förslagen till utrednings- eller utvecklingsprojekt formulerades därför för att systematiskt belysa mätmetoder och med hjälp av dessa klarställa reaktoravfallets egenskaper. De fundamentala studier som avsågs förväntades ge förbättrad teknik för behandling av avfall och även bättre egenskaper hos slutprodukterna. Driftssituationer eller haverier med frigörelse av stora mängder radioaktivitet beaktades speciellt vad beträffar påverkan på avfallssystemen. Insamling av underlagsmaterial för att möjliggöra systematisering av krav på avfallsprodukter och deras eventuella påverkan på lager förutsågs.

De föreslagna projekten hade följande titlar.

- AVF-1      Mätmetoder för produktegenskaper
- AVF-2      Reaktoravfallets egenskaper
- AVF-3      Bakgrundsinformation för myndighetsarbete

Genomförande

Under år 1981 genomarbetades projektförfärlagen ytterligare varefter titlarna ändrades till  
AVF-1 Reaktoravfall från onormala driftssituationer  
AVF-2 Långtidsegenskaper hos avfallsprodukter  
AVF-projekt "projektöversikt"

Under 1982 inriktades AVF-2 att omfatta endast bitumenprodukter varför rubriken fick sin slutliga formulering:

AVF-2 Långtidsegenskaper hos avfall ingjutet i bitumen

AVF-3 rubricerades: Projektkatalog för nordiskt FoU-arbete beträffande radioaktivt avfall

Slutligen infördes ett nytt projekt:

AVF-4 Hydrocoin. En jämförelse mellan olika beräkningsmodeller för hydrologiska förhållanden i slutförvar av radioaktivt avfall.

År 1983 startades även ett förprojekt:

AVF-6 Nedläggning av kärntekniska anläggningar, och under 1984 tillkom ett mindre projekt

AVF-7 Studier av glasjontytare.

#### Resultatsammanfattning

Under programperioden, som avslutades i maj 1985, har projekten genomförts. Endast AVF-4 och AVF-6 kommer att följas av fortsättningsprojekt. Sammanfattningsar och slutrappporter har presenterats för projektarbetet.

Viktiga slutsatser beträffande möjligheten att på ett säkert sätt omhänderta avfall från reaktorhaverier har erhållits genom projekt AVF-1. Individuella tekniska lösningar för olika reaktorstationer vid frigörelse av radioaktivitet kan givetvis vara nödvändiga men några allvarliga frågor beträffande säkerheten har inte framkommit vid utredningsarbetet. Slutrapportens rekommendation att använda materialet för vidare utbildning av operatörer av avfallsanläggningar bör beaktas.

Bitumenavfalls egenskaper vid lagring och slutdeponering har undersökts och diskuterats ingående (AVF-2). Delundersökningar har genomförts i alla de nordiska deltagarländerna.

Ett antal för bitumentingjutet jonbytesavfall typiska egenskaper har identifierats och studerats. Utan att i alla detaljer kvantifiera dessa egenskaper rekommenderas det att hänsyn tas till dem vid utformning av slutlager, speciellt i berg.

De institutioner eller företag som stödjer FoU-verksamhet förutsätts i allmänhet själva kontrollera att inte dubbearbete utförs. Samordning med andra är dessutom ofta en nödvändighet för att spara anslag. Den planerade katalogen (AVF-3) över pågående FoU inom avfallsområdet i Norden var ett led i sådan samordning. Katalogiseringsarbetets omfattning och även samordningen med internationella organ har visat sig vara ett hinder för att vidmakthålla en fortlöpande aktuell information.

Undersökningen (AVF-7) av glasjonbytare avslutades då aktuella tillämpningar inte kunde påvisas.

**Val av projekt** Som framgår av inledningen tog det avsevärd tid innan projekten fick ett färdigt arbetsprogram. I något fall kan detta ha berott på att inblandade personer inte kunnat fortsätta en påbörjad uppgift. Resultatet av det genomförda arbetet har troligen inte påverkats negativt utan det är endast tid som förlorats. Projekt som krävt experimentella undersökningar kan dock ha förlorat i värde genom den pressade tidplanen.

Liksom under den tidigare anslagsperioden 1978-1981 har projekten utformats för att tillfredsställa

myndigheternas och kraftindustrins behov av säkerhetsbedömningar. Under den aktuella perioden behandlas haveribetonade driftssituationer och de krav som är aktuella för den slutlagring av avfall, som är under projektering. De i det längre perspektivet viktiga projektet med hydrologi och nedläggning av kärnteknisk verksamhet har formulerats under perioden.

De hydrologiska beräkningsmodellerna måste i ett fortsatt arbete även kopplas till kemiskt-fysikaliska transportmodeller för att kunna användas vid säkerhetsbedömningar. För att bredda intresset i Norden för denna typ av projekt hade det varit intressant att finna användningsområden för beräkningsinsatser inom exempelvis mineralprospektering, tungmetallutläckning från varphögar eller grundvattenförstöring genom sura nedfall. Ny kunskap skulle därigenom tillföras även icke nukleära discipliner.

Vad beträffar utredningen kring nedläggning av kärnkraftsanläggningar skulle en inriktning av arbetet mot återanvändning eller återcirkulation av värdefullt material som används inom kärnkraftindustrin kunna lösa mera närliggande problem.

Valet av projekt speglar gott det arbete som bör genomföras inom stater där elkraft produceras med kärnenergi. Eftersom syftet med internordiskt samarbete även är att lära ut eller informera får det antas att samtliga deltagarländer har haft utbyte av programmet. Kravet på att FoU-arbetet skall inriktas på allmänna frågor, såsom exemplifierats ovan, är troligen inte lätt att uppfylla då förutsättningarna i de olika länderna är olika. För att bredda intres-

set är troligen arbeten av utredande karaktär att föredra före experimentella. Redan när nya projekt formuleras bör man också göra klart för sig för vilket ändamål arbetet skall utföras och rapporteras.

**Samarbetsformer** De synpunkter på arbetets organisationen som lämnades i tidigare utvärderingsrapport gäller även för denna utvärderingsperiod.

Beroende på vilka krav på effektivitet som ställs för en viss arbetsuppgift kan naturligtvis olika former av organisation användas. I det utförda programmet tycks en viss modell för arbetet framstå som mera effektiv. För att få stadga på ett visst projekt krävs att någon som är speciellt intresserad av uppgiften åtar sig att samordna projektet och att formulera både målsättning och en fast tidplan för arbetet. Utförande part kan sedan bestå av en eller flera specialister som arbetar enligt uppgjorda planer. Som framgår av tidigare beskrivning av planeringen av projekten tycks arbetet inte ha kommit igång förrän detaljerna och målsättningen vaskats fram.

Den styrgrupp som finns inom avfallsområdet borde löpande ha en projektkatalog från vilken färdigformulerade projektförslag kan hämtas. När det blir aktuellt att beställa arbetet skall en projektledare (gärna förslagsställaren) utses. Denne skall vara föredragande inför styrgruppen och samtidigt vara beställarens ombud. Ett exempel på att en liknande arbetsmodell fungerar bra är genomförandet av AVF-1-projektet. Den utförande parten i detta fall är van att arbeta i projektform.

Styrgruppens ställning som rådgivande eller styrande funktion måste på något sätt fastläggas.

Slutrapportens kvalitet ansvarar författaren eller möjliga projektledaren för och det framgår inte vilken roll styrgruppen har i sammanhanget.

Om projekt inom skilda fackområden för avfallsbehandling tas upp, kan det vara fördelaktigt att utse flera mindre styrgrupper. Många fördelar både beträffande kvalitet och kvantitet skulle vinnas därigenom.

**Projektresultat** För samtliga utförda projekt tycks gälla att rapporteringen inte inplaneras i tidplanen. Med tanke på att lång tid förflyttas innan projekten definierades är det naturligt att sluttidpunkten förskjuts upp till ett år. Det är ju en allmän regel att den tid som förloras i början av ett projekt aldrig kan inhämtas i slutet. Som påpekades i den förra utvärderingsrapporten måste en skärpning ske beträffande målsättning, beställning och tidplanering av nya projekt. Styrgruppens ansvar i detta avseende måste fastläggas för att framtida arbeten skall kunna styras inom givna ramar.

Vad beträffar det tekniskt vetenskapliga värdet tycks det i stort motsvara de målsättningar som formulerats för arbetet. Även om projekten inte har tillfört många nya rön inom respektive område får slutrapporternas slutsatser anses ge rättvisande och användbara bedömningar. Rapporten för AVF-2 utgör således en bra state of the art sammanställning och skulle kunna vara lämplig i utbildningssyfte. På grund av att denna rapport skrivits på engelska kan den möjligen ha intresse även utanför norden.

Samma gäller för rapporten för AVF-1, men den avspeglar endast förhållandena vid nordiska BWR-anläggningar. Själva kartläggningen av möjliga process- och handlingsalternativ bör vara stimulerande i utbildningssammanhang.

Korta utredande projekt som SVF-7 borde uppmuntras även i fortsättningen. Även om resultatet inte leder till stora 3 års projekt finns det alltid anledning att prova nya idéer eller teknikutvecklingar. Någon bra teknik för infångning av stora radioaktivitetsmängder i bestrålningsokänsliga material har ännu inte utvecklats.

Ett viktigt resultat av det nordiska avfallsarbetet har givetvis varit det åsikts- och kunskapsutbytte som projektarbetena inneburit. Vidare spridning av dessa kunskaper och innehållet i rapporterna bör följas upp framöver.

#### Utnyttjande av resultaten

Initiativet till de utförda projekten har till stor del tagits för att fördjupade kunskaper skall erhållas för aktuella eller planerade slutlager för radioaktivt avfall. I praktiken betyder det att mera genomtänkta studier av avfallets egenskaper behövs kombinerat med de krav som en viss lagringsteknik ställer. Det är svårt att avgöra om det utförda programmet tillfört värdefull kunskap för att projekt som exempelvis SFR skall hjälpas fram. Det är möjligt att frågeställningen beträffande vissa avfall i alla händelser blivit belysta och dessutom klarare ställda.

I Norge och Danmark upplevs antagligen den framtagna kunskapen inte som direkt användbar, men genom deltagandet kan den i alla fall föras vidare även där. Ett slutlagerprogram i dessa länder kommer väl att bli aktuellt även om det får mycket liten omfattning?

Då det ännu ej avslutade projektet AVF-4 ingår i ett internationellt samarbete kommer givetvis resultaten därifrån att få stor spridning. De slutförda projektens rapporter bör om möjligt användas för informationsutbyte även i dessa vidare sammanhang.

Slutord

För att fortsättningsvis motivera alla nordiska länder att delta i forskningsprogram inom avfallsområdet måste mera allmänt hållna program och projekt formuleras. Värdet att delta får inte endast vara den personliga stimulansen för de berörda utan skall även vara innehållsmässigt nyttigt för respektive land. För att hålla den nordiska samarbetstanken levande är det dessutom viktigt att det praktiska FoU-arbetet fördelas så mycket som möjligt mellan länderna.

REK: Radioøkologi.

Evaluering udført af Uffe Korsbech, Danmarks tekniske højskole.

Radioøkologi er læren om, hvorledes radioaktive stoffer opfører sig i naturen, og radioøkologien benyttes derfor, når man skal beregne de strålingsdoser, som mennesker kan blive utsat for ved udslip af radioaktivitet fra nukleare anlæg - både i forbindelse med den daglige drift og i forbindelse med uheld.

Vinde og havstrømme kan transportere radioaktive stoffer over store afstande, så afklaringen af radioøkologiske spørgsmål har interesse for alle dele af de nordiske lande.

PROJEKTVALG.

Flere af projekterne kan betragtes som fortsættelser og udvidelser af projekter, der blev gennemført i den forrige periode (1977-1981). Det gælder således projektet vedrørende anvendelsen af bioindikatorer til bestemmelse af fordelingen af kunstig radioaktivitet i havene omkring de nordiske lande. Projektet med vurderinger af konsekvenserne af alvorlige kernekraftulykker er også en fortsættelse og en udvidelse af et tidligere projekt, idet der i det nye projekt er gennemført en række af de undersøgelser, forsøg og beregninger, der blev lagt op til i forbindelse med afslutningen af det tidligere projekt - hvor det blandt andet konstateredes, at man mangede oplysninger om betydningen af særlige nordiske forhold som f.eks. klima og udformningen af bygninger. Også projektet med interkalibrering af instrumenter og målemetoder er en fortsættelse af et tidligere projekt, idet blandt andet nye radioaktive stoffer er blevet medtaget i arbejdet.

Blandt de nye emner har været en undersøgelse af de mulige radioøkologiske konsekvenser af at anvende kulfyrede kraftværkers flyveaske i byggematerialer - og en undersøgelse af andre mulige strålingsmæssige konsekvenser af kulafbrænding. Disse

spørgsmål har de seneste 10-15 år været diskuteret i videnskabelige kredse i mange lande, og en af projektets opgaver har været at skabe klarhed over de meget forskellige resultater, der tidligere er blevet offentliggjort.

Endelig har der været gennemført et projekt omhandlende fordelingen af radioaktive stoffer i havet og i havorganismer i områderne ud for nordiske kernekraftværker. Herunder har man bl.a. udnyttet det biotestanlæg, der er bygget ved Forsmark kernekraftværk.

#### STYRING.

REK-projekterne har været styret af en styringsgruppe, der har omfattet medarbejdere fra de nordiske stråle- beskyttelsesmyndigheder samt fra forskningsinstitutioner i Norge og Danmark - og fra Statens Naturvårdsverk i Sverige. Styringsgruppen har foretaget udvælgelsen af projekter blandt de indkomne projektforslag. I almindelighed har der været bred enighed om projektudvælgelserne. Mere omfattende diskussioner har der dog været om den vægt, der skulle lægges på modelarbejder i forhold til feltmæssige undersøgelser.

Styringsgruppen har ikke udgjort nogen egentlig udfarende kraft med hensyn til opstillingen af planer, men har indskrænket sig til at foretage udvælgelser blandt de indkomne forslag. Alligevel er det i høj grad lykkedes styringsgruppen at fremme afklaringen af de radioøkologiske spørgsmål, der må antages af være af størst interesse - både set fra et videnskabeligt synspunkt og set fra offentlighedens side. Samtidigt har styringsgruppen formået at udnytte den ekspertise og forskningskapacitet, der har været til rådighed i de forskellige nordiske lande.

Sekretariatsfunktionen for styringsgruppen har været varetaget af Studsvik, og det er en generel vurdering, at Studsvik på udmarket vis har løst denne opgave. Derimod har der i gruppen været mindre begejstring for det forhold, at arbejdet er blevet betalt efter Studsviks sædvanlige takster pr. arbejdstime, der ligger væsentligt højere end de takster, der iøvrigt er blevet betalt for projekterne. Ingen af styrings-

gruppens medlemmer har dog kunnet pege på andre gennemførlige måder at få dækket sekretariatsfunktionen på.

Der har været stor forskel på andelen af nordiske økonomiske midler i de forskellige projekter, og deltagere i de projekter, der har opnået den laveste dækning med nordiske midler har givet udtryk for, at papirarbejdet i forbindelse med ansøgninger etc. har været stort i forhold til den opnåede støtte.

#### NORDISK SAMARBEJDE, UDBYTTE OG RESULTATSPREDNING.

Resultaterne fra de enkelte del-projekter er beskrevet i en lang række rapporter, ligesom de er blevet fremlagt ved fælles-nordiske møder. En del af resultaterne har endvidere dannet grundlag for artikler i videnskabelige tidsskrifter eller er blevet fremlagt ved internationale møder og kongresser. For hvert af de 5 projekt-områder er der udarbejdet sammenfattende rapporter, der er blevet udsendt til forskningsinstitutioner, biblioteker og enkeltpersoner - både inden for og uden for de nordiske lande. Forespørgsler nogle få steder i Sverige og Danmark peger på, at det er lykkedes at få rapporterne spredt til en stor del af de potentielle brugere.

De potentielle brugere af de ved REK-projekterne opnåede resultater er især miljø- og strålebeskyttelsesmyndighederne i de nordiske lande - samt de forskningsinstitutioner, der arbejder med nærtbeslægtede opgaver. På grundlag af de opnåede resultater kan myndighederne opstille mere realistiske normer og kriterier f.eks. for tilladelige udslip af radioaktivitet, ligesom man i tilfælde af unormale hændelser bedre kan vurdere følgevirkningerne. På kernekraftværkerne er man i almindelighed ikke direkte interesseret i de opnåede resultater, men man finder det vigtigt, at projekterne er blevet gennemført som en hjælp ved myndighedernes fastlæggelse af udslipsbegrensninger m.m. Man finder det endvidere af væsentlig betydning, at de benyttede regnemodeller understøttes af målinger.

I det følgende gives en kort gennemgang af de enkelte projekter og de opnåede resultater.

REK-1. Store reaktorulykker; konsekvenser og modforholdsregler.

En hovedopgave for dette projekt har været at fremskaffe realistiske værdier for de parametre, der indgår i modelberegningerne af konsekvenserne af store udslip af radioaktivitet i tilfælde af alvorlige reaktorhavarier. I forbindelse hermed er der sket en udbygning af den nordiske databank, der omfatter oplysninger om, hvorledes radioaktivt nedfald fra de atmosfæriske kernevåbensprængninger har fordelt sig i naturen, og om, hvorledes transporten gennem fødevarerne har været. Oplysninger om forurenningen af ferskvandsområder er ligeledes blevet indsamlet.

Andre dele af projektet har bestået i eksperimentelle undersøgelser af den hastighed, hvormed radioaktive stoffer i luften overføres til faste overflader i byområder og undersøgelser af, hvorledes radioaktive stoffer i udendørsluft kan trænge ind i bygninger. Begge delprojekters resultater viser, at der i tidligere beregninger har været anvendt for pessimistiske - dvs. for overvurderende - parameterværdier ved beregningen af de strålingsmæssige konsekvenser af radioaktive udslip.

Ved et reaktorhavari med udslip af radioaktivitet til atmosfæren vil de radioaktive stoffer i udendørsluftens samt radioaktivitet deponeret på jordoverfladen, mure, tage m.m. kunne give bestråling af mennesker, der opholder sig inden døre. Den udefra kommende stråling bremses i større eller mindre omfang af vægge og loft. Forud for projektet forelå der et regneprogram, der havde været benyttet til beregning af afskærmningen i danske huse. Dette program er i projektet blevet benyttet til at bestemme afskærmningsforholdene i huse i andre nordiske lande, hvorved man har konstateret betydelige forskelle.

Radioaktivitet, der er deponeret på jordoverfladen eller på tage, kan ved menneskers indgriben fjernes igen i større eller mindre udstrækning - ligesom naturen selv vil kunne fjerne en del. Disse forhold har været undersøgt, idet man især har interesseret sig for spørgsmålet under nordiske vinterforhold, der kun i ringe grad tidligere er blevet undersøgt.

I forbindelse med projektet er der foretaget en undersøgelse af de beregningsmodeller, der benyttes i de nordiske lande til beregning af strålingsdoserne i omegnen af et kernekraftværk, hvorfra der er frigjort store mængder radioaktivitet. Endvidere er der foretaget en sammestilling af de dosiskriterier, der benyttes af myndighederne i forskellige lande som grundlag for en indgriben i form af et pålæg om, at befolkningen skal opholde sig inden døre eller skal evakueres.

De fleste af de oprindelige projektplaner er blevet gennemført, idet man dog ikke har fået behandlet langtidskonsekvenserne for land- og havområder efter en stor reaktorulykke, ligesom konsekvenserne af transportulykker ikke er blevet behandlet.

Projektet er dokumenteret i form af en række rapporter og i form af indlæg ved nordiske og internationale møder.

#### REK-2. Interkalibrering.

Når mange laboratorier skal samarbejde om løsningen af f.eks. radioøkologiske spørgsmål, er det vigtigt, at laboratoriernes måleudstyr er interkalibreret, dvs. at de opnår de samme resultater, når de foretager de samme målinger. På internationalt plan findes der gennem IAEA i Wien muligheder for en interkalibrering af nogle målemetoder, men de dækker kun en del af behovet i forbindelse med det nordiske radioøkologisamarbejde. Derfor er der under REK-2 projektet på nordisk plan foretaget en del interkalibringer, og der er udarbejdet en beskrivelse for, hvordan prøver til målinger skal udtages - fra luften, fra havvand og fra sedimenter.

Projektresultaterne er blevet fremlagt ved nordiske møder og er beskrevet i en række rapporter; og der er udarbejdet en rapport, der giver en oversigt over de målemetoder og instrumenter, der benyttes til radioøkologiske målinger på forskellige nordiske forsøgsanlæg, universiteter m.m.

REK-4. Radioøkologiske konsekvenser ved udnyttelse af kulfyrede kraftværker i Norden.

Kul indeholder små mængder naturlig radioaktivitet. Når kul anvendes som brændsel på kraftværker og fjernvarmecentraler, kan mennesker på flere måder blive utsat for bestråling fra disse radioaktive stoffer. Efter forbrændingen vil en del af radioaktiviteten gennem skorstenen blive spredt ud i omgivelserne, hvorfra de radioaktive stoffer kan overføres til mennesker ved indånding og ved indtagelse af forurenede fødemidler. Hovedparten af de radioaktive stoffer i kul genfindes dog efter forbrændingen i asken. En del af denne aske anvendes i byggematerialer. Herved udsættes mennesker for gamma-stråling direkte fra radioaktiviteten i byggematerialerne. Herudover kan den radioaktive luftart radon evt. frigøres fra byggematerialerne og blive årsag til bestråling af lungerne hos mennesker. Den del af asken, der ikke benyttes til byggematerialer, kan udnyttes til opfyld eller må evt. deponeres som affald. Herfra kan der ske en afgivelse af blandt andet de radioaktive stoffer, som så via fødekæder eller drikkevand kan nå frem til mennesker.

I REK-4 projektet er en del af disse spørøgsmål blevet belyst, ligesom man kort har set på tørveaske, som også indeholder naturligt radioaktive stoffer. Hovedresultatet er, at med de kultyper, der anvendes i de nordiske kraftværker og fjernevarmecentraler, vil strålingsbelastningen af mennesker være så lille, at man kan se bort herfra. Det samme gælder for tørv med undtagelse af de tørv, der har et usædvanligt højt indhold af uran.

Målinger på beton har vist, at tilsætningen af flyveaske til beton i flere tilfælde har reduceret udgasningen af radon i forhold til udgasningen af radon fra beton uden flyveaske. Flyveaske fra de kultyper, der for tiden anvendes i de nordiske lande, kan derfor uden radiologisk risiko anvendes i byggematerialer, og en fremtidig kontrol af spørøgsmålet kan indskrænkes til en overvågning af nye kultypers indhold af naturlig radioaktivitet.

I forbindelse med projektet har man endvidere undersøgt, om tilsætningen af flyveaske til jord har ændret planternes

optagelse af naturlig radioaktivitet. Målingerne viser, at der ikke er nogen sammenhæng mellem jordens indhold af flyveaske og planternes optagelse af radioaktive stoffer. Foreløbige resultater fra tilsvarende forsøg med tilsætning af tørveaske til tørvejord har givet samme resultat.

Udenlandske undersøgelser af de radiologiske konsekvenser af afbrændingen af kul har vist meget forskellige resultater, og i forbindelse med REK-4 projektet er der derfor foretaget en kritisk gennemgang af disse undersøgelser, og det er blevet påvist, at nogle af de største forskelle skyldes fejlagtige antagelser i beregningerne.

Projektet er dokumenteret i form af nogle rapporter og ved indlæg ved nordiske møder. De oprindelige projektplaner har været utsat for mindre justeringer, og de mulige radiologiske konsekvenser af langtidsdeponering af kulaske er ikke blevet undersøgt.

#### REK-5A. Metodikstudier.

Ved Forsmark kernekraftværk er der bygget et biotestanlæg, hvor en kvadrat-kilometer af havet er blevet afspærret som en kunstig ø, hvori der kan foretages målinger og eksperimenter. I anlægget kan man undersøge, hvorledes de radioaktive stoffer forekommer i havvandet og i bundsedimenterne, og man kan følge, hvorledes stofferne overføres til planter og dyr. Tilsvarende målinger kan naturligvis foretages alle steder, hvor der forekommer radioaktive stoffer i havet, men havstrømme og fiskenes vandringer gør, at det ofte er umuligt at bestemme de indgående parametre nøjagtigt.

Udledningen af affaldsvand med radioaktive stoffer fra Forsmark kernekraftværk til biotestsøen sker ikke jævnt men i "pulser". Herved har det været muligt tidsmæssigt at følge de radioaktive stoffers vandring fra havvandet til bundsedimenter og mikroorganismer for til sidst også at registrere dem i større dyr incl. fisk. Opkoncentreringen (akkumuleringen) af radioaktive stoffer i fiskene i biotestsøen er langt større end hos fiskene andre steder, idet disse andre fisk sædvanligvis kun sjældent og kortvarigt udsættes for radioaktivitet i de

koncentrationer, der findes i nærområdet i havet ud for et kernekraftværk.

Formålet med undersøgelserne har været at kunne foretage nøjagtigere beregninger af strålingsdoserne til mennesker som følge af udslip af radioaktivitet til havvandet - især via spisefisk. Uden et godt kendskab til de i beregningerne indgående parametre må man sædvanligvis gøre flere forsigtige antagelser, hvorved man ofte kommer til at overvurdere dosernes størrelse.

Eksperimenterne i forbindelse med biotestsøen har været stærkt forsinkede, hvilket begrundes med den sene opstart af Forsmark 2 reaktoren.

Eksperimenterne i biotestsøen har i øvrigt vist, at der kan opstå en interessekonflikt mellem på den ene side kernekraftværkets ønske om - så vidt det er muligt - helt at undgå udslip af radioaktivitet til omgivelserne, og på den anden side forskernes interesse i at kunne foretage eksperimenter, der kan give en målelig forurening af omgivelserne.

Et andet spørgsmål af interesse er bevægeligheden af de radioaktive stoffer, der er udfaldet i havbundens sedimenter. Ændringer i de kemiske og fysiske forhold ved havbunden kan få nogle stoffer til at gå i opløsning igen, så de på ny kan indgå i den biologiske cirkulation. Dette forhold har været undersøgt i havet ud for Lovisa kernekraftværk, hvor oxygenindholdet i bundvandet ofte når lave værdier hen på sensommeren. I disse perioder har man konstateret, at nogle stoffer overføres fra bundsedimentet til vandet.

#### REK-5B. Bioindikatorer.

Udslippene af radioaktive stoffer fra moderne nukleare anlæg er sædvanligvis så små, at det er vanskeligt at måle koncentrationerne af de udledte stoffer i det omgivende miljø. Imidlertid har visse organismer den egenskab, at de kan opsamle og koncentrere forskellige stoffer. Ved at måle på disse organismer - de såkaldte bioindikatorer - kan man ofte alligevel bestemme koncentrationerne af de pågældende stoffer. I forbindelse med REK-5B har man især arbejdet med to sådanne

bioindikatorer, der lever i havene omkring de nordiske lande, nemlig brunalgen blæretang og blåmuslingen. Disse viser typisk akkumuleringer på mellem 100 og 10.000, dvs. de indeholder pr.kg stof mellem 100 og 10.000 gange så meget radioaktivitet som det omgivende havvand. Akkumuleringen varierer med årstiden og afhænger desuden af havvandets saltholdighed og temperatur.

Ved hjælp af bioindikator-målinger har man kunnet bestemme fordelingen af radioaktivt stof i havområderne ved nordiske kernekraftværker i op til ca. 100 km afstand, og man har kunnet fastlægge, hvorledes koncentrationerne aftager med afstanden fra værkerne. I en betydeligt større skala har man kunnet følge den radioaktive forurening fra det engelske oparbejdningsanlæg Sellafield ved det Irske Hav. Denne forurening breder sig fra det Irske Hav ud i Nordatlanten, hvor en væsentlig del følger den norske kyst nordpå for senere at bøje over mod Grønland, hvor havstrømmene fører de radioaktive stoffer i stærkt fortynnet form ned langs den grønlandske østkyst.

En lille del af det radioaktive udslip fra Sellafield føres ind i Østersøen gennem de danske stræder. Målt i absolut skala er forurenningen af de nordiske farvande beskeden. F.eks. er den samlede bestråling af befolkningen hidrørende fra spisningen af "forurenede" fisk fra Kattegat ca. en tiendedel af bestrålingen fra det naturligt radioaktive polonium i de samme fisk.

For at kunne benytte bioindikatorer til at bestemme koncentrationerne af de radioaktive stoffer - og andre stoffer - skal bioindikatorerne kalibreres, dvs. man skal kende akkumuleringsfaktorernes afhængighed af saltindhold, temperatur og årstid. En del af projektet har været rettet mod at fremskaffe disse oplysninger ved laboratorieforsøg og ved feltmålinger. Der er blevet udarbejdet en regnemodel, der beskriver årstidsvarianterne for optagelse af radioaktivitet i brunalgen blæretang.

I forbindelse med projektet har nordiske forskere deltaget i en videnskabelig ekspedition med vesttyske havundersøgelseskibe i Østersøen og i Nordatlanten.

De oprindelige projektplaner er blevet gennemført og udvidet, og der foreligger en omfattende dokumentation for projektets forskellige dele i form af artikler i internationale tidsskrifter og som rapporter samt i form af indlæg ved nordiske og internationale møder.

KONKLUSION.

Det nordiske arbejde inden for REK-området har resulteret i en række værdifulde resultater, der burde kunne udnyttes ikke blot inden for radioøkologien men også inden for andre områder - f.eks. ved en vurdering af spredningen af ikke-radioaktive forureningsstoffer. Samarbejdet har endvidere bevirket, at man kan anlægge en fælles nordisk videnskabelig holdning til radioøkologiske spørgsmål.

Deltagerne i projektet har lidt forskellige vurderinger af styringsgruppens arbejde og af sekretariatsfunktionen, men der er ikke konkrete forslag til andre styringsmåder.

I forbindelse med afslutningen af de tidlige fællesnordiske radioøkologiprojekter (1977-1980) blev det konstateret, at informationerne om de opnåede resultater kun i ringe grad var blevet spredt til potentielle brugere. Denne mangel synes at være overvundet for de fleste REK-projekters vedkommende.



7. Liste over programmets slutrapporter

1. PRA uses and techniques - A Nordic perspective.
2. Computer Codes for small-break loss-of-coolant accidents - a Nordic assessment.
3. Corrosion in the nuclear industry - a Nordic survey.
4. Heat transfer correlations in nuclear reactor safety calculations.
5. Human errors in test and maintenance of nuclear power plants.
6. Organization for safety.
7. Computer aided operation of complex systems.
8. The design process and the use of computerized tools in control room design.
9. Training of diagnostic skills for nuclear power plants.
10. Management of radioactive waste resulting from nuclear fuel damage.
11. Long-term properties of bituminized waste products.
12. Emnesorienterte prosjektkataloger - en katalysator for nordisk samarbeid?
13. Towards more realistic assessment of reactor accident consequences.
14. The sampling and analyzing methods of radionuclides used in the Nordic countries for environmental samples.
15. Radiological implications of coal and peat utilization in the Nordic countries.
16. Radioecological methods.
17. Bioindicator studies in Nordic waters.
18. Nordisk litteratur om kvalitetsstyrning och kvalitetssystem.
19. Summary report on Nordic safety research 1981-85.
20. The human component in the safety of complex systems, LIT summary report.
21. Nordisk radioekologi, en sammanfattning av 4 års nordiskt samarbete.



8. Referencer

1. NU B 1980:15. Säkerhetsforskning inom energiproduktionsområdet.
2. NU 1976:28. Utvidgat nordiskt samarbete inom kärnsäkerhetsområdet.
3. NORD. Utvärdering av det nordiska kärnsäkerhetsprogrammet 1977-1980.
4. NR A 677/e. Medlemsförslag om effektivare kontroll av nordiska projekt.
5. NU 1984:13. Nordiskt projektarbete inom kärnsäkerhetsområdet. Plan för NKA's kärnsäkerhetsprogram 1985-1989.
6. NKS(86)2. Nordiskt projektarbete inom kärnsäkerhetsområdet. Sikkerhedsprogrammet 1981-1985. Administrativ sammenfatning.
7. NKS(81)3. Sikkerhedsforskning på energiproduktionsområdet. Gennemførelse af det nordiske sikkerhedsforskningsprogram. Organisation og administration.
8. NORD. FPR-2.Utvärdering av forskning. Nordiska erfarenheter.
9. Commission of the European Communities. Evaluation of the European Community's radiation protection research programme (1976-80). Research Evaluation - Report No. 8.

Kopier af denne rapport kan fås hos:

Det centrale projektsekretariat for  
Nordisk Komité for Sikkerhedsforskning, NKS  
Postboks 49  
DK-4000 Roskilde