

Området for miljø og utvikling



Forskningsprogram om stråling og strålevern



Norges  
forskningsråd

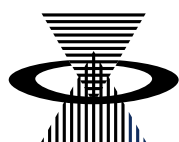
Området for miljø og utvikling

# Forskningsprogram om stråling og strålevern

Sluttrapport til Norges forskningsråd



1996 – 2001



**Norges  
forskningsråd**

© Norges forskningsråd 2002

Norges forskningsråd  
Postboks 2700 St. Hanshaugen  
0131 OSLO  
Telefon: 22 03 70 00  
Telefaks: 22 03 70 01  
Publikasjonen kan bestilles via internett:  
<http://www.forskningsradet.no/bibliotek/publikasjonsdatabase/>  
eller grønt nummer telefaks: 800 83 001

Internett: [bibliotek@forskningsradet.no](mailto:bibliotek@forskningsradet.no)  
X.400: S=bibliotek;PRMD=forskningsradet;ADMD=telemax;C=no;  
Hjemmeside: <http://www.forskningsradet.no/>

Grafisk design: [danas@c2i.net](mailto:danas@c2i.net)  
Foto omslagsside: Luth& Co.  
Trykk: GCS  
Opplag: 250

Oslo, juni 2002  
ISBN 82-12-01716-8

## Forord

Forskningsprogrammet ProFo - Forurensninger: kilder, spredning, effekter og tiltak, har hatt ansvaret for slutføring av Strålevernprogrammet. Programplanen og forskningsresultatene fra Strålevernprogrammet har vært svært nyttig i den videre utvikling av program og handlingsplanen for ProFo. Strålevernprogrammet har, sammen med programmene om økotoksikologi, forurenset grunn og nitrogen og bakkenært ozon gitt en helhetlig forståelse av forurensninger i naturen og danner basis for ProFos videre arbeid.

Strålevernprogrammet med programstyret ble opprettet av Områdestyret for miljø og utvikling (MU) i Norges forskningsråd 6. november 1996, mens et midlertidig programstyre behandlet søknadene under den ekstraordinære utlysningen av programmet i 1996 og under den ordinære utlysningen i 1996. Til grunn for Programstyrets arbeide lå et programnotat, utarbeidet av en arbeidsgruppe ledet av overlege Jon Reitan, datert februar 1996. Programmets handlingsplan ble utarbeidet av programstyret, datert november 1997. Programmet ble opprettet med varighet fra 1996 til og med 2001.

Strålevernprogrammet ble i 1998 slått sammen med tre andre forskningsprogrammer under MU til et nytt program, ProFo. ProFo fikk et programstyre med representanter fra alle de fire delprogrammene.



EINAR SAGSTUEN

Styreleder Strålevernprogrammet



Midlere atmosfærisk transporttid etter et utslipp fra en Kola kjernereaktor, basert på 11 års meteorologiske data, 1985-1995. Etter tillatelse fra Bartnicki og Saltbones, Research Report 43, DNMI, 1997. ISSN 0332-9879

Den foreliggende rapporten representerer Strålevernprogrammets sluttrapport til Norges forskningsråd og til forvaltningen som har finansiert programmet. Rapporten er ført i pennen av Strålevernprogrammets leder, Einar Sagstuen med bidrag fra Tone Bergan, begge medlemmer av ProFos programstyre. Prosjektledere takkes for velvillig bistand i forbindelse med sluttrapporten fra Strålevern programmet.

Oslo mars 2002



MERETE ULSTEIN

Styreleder ProFo

## Forkortelser

AMS	Akseleratorbasert massespektroskopi
DN	Direktoratet for naturforvaltning
ESR	Elektron spinn resonans
EU	Den europeiske union
FiD	Fiskeridepartementet
HI	Havforskningsinstituttet
ICP-MS	Inductively coupled plasma - massespektroskopi
IFE	Institutt for energiteknikk
KUF	Kirke, undervisnings- og forskningsdepartementet
LD	Landbruksdepartementet
MD	Miljøverndepartementet
MH	Området for Medisin og helse i Norges forskningsråd
MU	Området for Miljø og utvikling i Norges fForskningsråd
NHD	Nærings- og handelsdepartementet
NIKU	Norsk institutt for kulturminneforskning
NINA	Norsk institutt for naturforskning
NIVA	Norsk institutt for vannforskning
NKS	Nordisk kjernesikkerhetsforskning
NLH	Norges Landbrukshøgskole
NLVF	Norges landbruksvitenskapelige forskningsråd
NOU	Norges Offentlige Utredninger
NT	Området for Naturvitenskap og teknologi i Norges forskningsråd
PDT	Fotodynamisk terapi
ProFo	Forskningsprogram for forurensninger – kilder, spredning og effekter
RPP	Radiation Protection Program (EURATOM-traktaten)
SAS	Scandinavian Airline Systems
SHD	Sosial- og helsedepartementet
UD	Utenriksdepartementet
UiB	Universitetet i Bergen
UiO	Universitetet i Oslo
UVA	Langbølget ultrafiolett stråling

# Innholdsfortegnelse

Forord	3
Forkortelser	4
Sammendrag	6
<b>1 Bakgrunn for Forskningsprogram om stråling og strålevern</b>	<b>9</b>
1.1 Historikk	9
1.2 Stråling og virkninger av stråling	9
1.3 Samfunnets kompetansebehov	10
<b>2 Mål for Forskningsprogram om stråling og strålevern</b>	<b>12</b>
2.1 Hovedmål	12
2.2 Delmål	12
2.3 Etterprøvbare mål	12
<b>3 Gjennomføring av programmet</b>	<b>14</b>
3.1 Generelt	14
3.2 Budsjett	14
3.3 Tiltak, samlinger og konferanser	15
3.4 Virksomhet	15
3.4.1 Prosjektoversikt	15
3.4.2 Doktorander	16
3.4.3 Formidling fra prosjektene	16
3.5 EU-Strålevern	17
<b>4 Faglige og samfunnsrelevante resultater</b>	<b>18</b>
4.1 Syntese av prosjektene på sentrale områder	18
4.2 Marin Radioøkologi	19
4.3 Akvatisk radioøkologi	20
4.4 Terrestrisk (zoologisk) radioøkologi	21
4.5 Kjernekjemi/analytisk kjemi	23
4.6 Dosimetri, strålingsfysikk, -medisin, -biologi	24
4.7 Bakgrunns-stråling/radon	25
<b>5 Behov for videre innsats</b>	<b>26</b>
Vedlegg 1: Programstyrets sammensetning	27
Vedlegg 2: Prosjektportefølje	28
Vedlegg 3: Populærvitenskapelige sammendrag	30
Vedlegg 4: Publikasjonsliste	35

## Sammendrag

Forskningsprogram om stråling og strålevern var et vidt favnende program som siktet mot å opprettholde nasjonal kompetanse innen alle strålingsarter og ha som hovedinnsatsområder fagområder som strålingsdosimetri, radioøkologi (terrestrisk, akvatisk og marin), strålingsbiologi, strålemedisin og medisinsk fysikk. Programmet skulle fylle forvaltningens behov for forskning, forskningsbasert overvåkning og basiskunnskap for beredskapsplaner. Da sentrale bidragsytere for programmet helt eller delvis trakk seg fra den endelige finansieringen fikk dette konsekvenser for dekningsgraden av de ulike innsatsområdene i programmet. Dette har spesielt ført til at helseaspektet etter hvert ble utelatt. Forskningsprogrammet om stråling og strålevern har i en viss utstrekning fungert som referansegruppe for Norges deltakelse i EUs strålevernprogram (RPP) ved å ha vurdert norske søknader til RPP og bistått i oppfølgingsarbeidet ved å behandle årlige framdriftsrapporter samt sluttrapporter fra prosjektene.

Programmet har hatt en kostnadsramme på ca 18 millioner kroner som har vært fordelt på 22 prosjekter. Fra prosjektene er det publisert ca 80 vitenskapelige artikler, bokkapitler eller bøker. I tillegg har de prosjektansatte foretatt ca 105 presentasjoner på vitenskapelige møter eller samlinger. Programmet har bidratt vesentlig til faglig utvikling innen enkelte områder, og til et uventet høyt tverrfaglig samarbeid både nasjonalt og internasjonalt. Dekningsgraden har vært størst innenfor de fagområder som har størst interesse for de tyngste finansieringene av programmet, MD, LD

og FiD. Helse-relevant forskning har hovedsakelig bare blitt gjennomført når dette har vært en naturlig følge av andre og mer dominerende aspekter ved prosjektene. Internasjonale forskningsprosjekter (spesielt i nordområdene) har i hovedsak adressert nasjonale forvaltningsmessige forskningsbehov. Med unntak av finansiering av stipendiater er det ikke gitt støtte til tiltak for å styrke utdannings- eller rekrutteringsforholdene ved norske utdanningsinstitusjoner.

Barentshavet er et av de viktigste havområdene for norske fiskerier. Nivåene av menneskeskapt radioaktivitet i sjøvann og fisk i alle norske havområder er pr. i dag lave. Fisk i Skagerrak og Nordsjøen inneholder generelt høyere nivåer av radioaktivitet enn fisk i Norskehavet og Barentshavet. Det er også blitt påvist en økning i nivåene av menneskeskapt radioaktivitet oppover i de forskjellige leddene i næringskjeden. Transport av  $^{99}\text{Tc}$  fra Sellafield har gått raskere enn forventet og isotopen gjenfinnes nå i Barentshavet. I sedimenter hentet fra området Svalbard-Bjørnøya finnes de største konsentrasjonene av radioisotoper av cesium, americium og plutonium som alle trolig stammer fra Sellafield. Detaljerte studier av fordelingskoeffisienter for radioaktivitet mellom sedimenter og havvann, samt tidsavhengighet av sedimentbinding er gjort. Disse er blitt inkorporert i spredningsmodeller for radioaktivitet i havmassene på den nordlige halvkule. Spredningsmodellen indikerer at punktutslipp i Karahavet vil kunne gi større kollektive dosebidrag enn tidligere antatt.

Ulike stammer innen samme art av

ferskvannsfisk skiller ut radioaktivt cesium med ulik hastighet. Dette kunne korreleres med fiskenes stoffskifteaktivitet, målt ved oksygenforbruket. Røye fra Finnmark har et høyere stoffskifte enn røye fra Rogaland, ved samme vanntemperatur. Overraskende nok, men i tråd med de seneste modellberegningene, viser data fra Øvre Heimdalsvann at den økologiske halveringstiden for ørret faktisk har økt i perioden 1993-1998. Den var i 1998 ca 9 år, mens den i begynnelsen av perioden var nede i 3 år. I 1998 var innholdet av radiocesium i ørret ca 1/10 av maksimalnivået fra 1986, men med forlenget økologisk halveringstid vil det gå lang tid før innholdet av radiocesium i ørret er nede i nivået før 1986.

Sopp spiller en betydelig rolle for overføring av radioaktive isotoper fra jord til beitere som husdyr og vilt. Overraskende nok har innholdet av radiocesium i de undersøkte soppene endret seg lite i perioden 1995-1999 i forhold til årene 1990 - 1995. Hos reinsdyr gir både lav og sopp store bidrag til inntaket av  $^{137}\text{Cs}$  gjennom beitesesongen. Den økologiske halveringstiden er ikke en konstant størrelse og ser ut til å øke med økende antall år siden Tsjernobyl-ulykken. Halveringstiden er lenger for perioden 1996-1999 enn for perioden 1987-1999. Dette er en konklusjon analog til den som ble trukket for ørret i Øvre Heimdalsvann. Det er utarbeidet et PC-basert modelleringsverktøy for konsekvensanalyse av et radioaktivt nedfall over Norge. Modellen kan forutsi hvilke områder og hvilke næringskjeder som vil være mest utsatt for forhøyede verdier av radioaktivt cesium. Basert på kostholdsundersøkelser kan modellen også beregne stråledoser til befolkningen utfra inntak av forurenset mat.

I programmets regi er det utviklet mer effektive metoder for oppkonsentrasjon av transuraner basert på medfelling med  $\text{MnO}_2$ , en metode som i tillegg oksiderer uønskede oksidasjonstrinn av Pu til nivåer der de er bedre tilgjengelig for ekstraksjon. I et foreløpig ikke ferdigstilt prosjekt har det vært fokusert på metodeutvikling for ICP-MS og AMS analyser. Av spesiell interesse har isotopforholdet  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  hatt, da dette er karakteristisk for kilden og muliggjør sporing av plutonium-utslipp i vann og sediment.

Det er arbeidet med metodikk for bestemmelse av strålingsdoser, og ESR/alanin-metoden har vist seg meget anvendelig for fysisk, klinisk og strålingsbiologiske formål. I forbindelse med biologiske indikatorer for cellulær strålevirkning konkluderte man med at måten cellene dør på (målt som antall apoptose-forekomster) kan ha et potensiale som en tilleggsmarkør for strålefølsomhet. En stor epidemiologisk undersøkelse viser at kreftrisikoen hos piloter og flykabinpersonell ikke avviker fra den i den norske befolkningen generelt. Disse resultatene bidrar til å redusere frykten for den mulige kreftframkallende virkning av kosmisk stråling under flyreiser. Programmet har dermed gitt et viktig bidrag til økt kunnskap om helsevirkningen av lave stråledoser.

I starten av programperioden var mange av de prioriterte oppgavene til *Forskningsprogram om stråling og strålevern* relatert til menneskelig helse. Under ProFo har hovedfokuset vært på de miljømessige sidene av stråling. Med den stadig økende betydning stråling og strålingsvirkninger har i samfunnet er det særdeles viktig at også de helsemessige aspektene av stråling tas opp i full bredde.





# 1 Bakgrunn for Forskningsprogram om stråling og strålevern

## 1.1 HISTORIKK

Etter Tsjernobylulykken i 1986 ble det foretatt en rekke utredninger av forskningsbehov og av myndighetenes behov for kompetanse innenfor fagfeltet stråling og strålevern. Situasjonen ble vurdert pessimistisk:

*Den beredskapen som fantes i 60-årene var ikke vedlikeholdt, og ingen utbygging hadde funnet sted som kunne ta dets plass. Denne nedbyggingen fant sted til tross for advarsler fra fagmiljøene (Ofstedalrapporten, NOU 1987:1).*

Det fantes imidlertid fremdeles noe aktivitet, blant annet ved Institutt for Energiteknikk (IFE) i Halden og på Kjeller, ved Nordisk Kjernesikkerhetsforskning (NKS), ved daværende Statens institutt for strålehygiene (senere Statens Strålevern) og spredt aktivitet ved universiteter og høyskoler.

Som en direkte følge av Tsjernobylulykken ble det iverksatt overvåkingsprogrammer, og etterhvert også forskning i regi av daværende Norges landbruksvitenskapelige forskningsråd (NLVF) og Landbruksdepartementet (LD). Denne forskningsaktiviteten var i stor grad svært praktisk rettet og søkte å ivareta dagsaktuelle behov som særlig rettet seg mot Tsjernobyl-problemer i landbrukssektoren og mot radioøkologi. Den internasjonale evalueringsgruppen var meget fornøyd med den norske innsatsen på feltet, men påpekte at programmet var meget smalt.

Oppbygging av langsiktig kompetanse- og sikring av andre relevante fagområder og grunnforskningsmiljøer innen strålevernet ble derimot ikke prioritert på dette tidspunktet. Referansegruppen for EUs

strålevernsforskning tok imidlertid opp spørsmålet om et bredere nasjonalt forskningsprogram i 1994, og brukte bevisst begrepet «strålingsrelatert forskning» i stedet for strålevernsforskning. Det ble uttalt at

*Forskningen må innrettes vesentlig bredere enn dagens begrensede program vedrørende radioaktivt nedfall,...*

og Forskningsrådet ble bedt om å ta initiativ til å utrede et samlet nasjonalt program. Et slikt forskningsprogram bør også gi rom for både videreutvikling av oppbygget kompetanse ved opprettelse av nye stillinger i universitets- og høyskolesektoren, samt rekruttering gjennom post doc stipend og doktorgradsstipendiater. Senere er strålevernsforskningen også styrket gjennom Norges deltakelse i EUs strålevernsprogram<sup>1</sup>. I tillegg har myndighetenes finansiering av miljøundersøkelser til en viss grad tilgodesett mer forskningspregete oppgaver.

## 1.2 STRÅLING OG VIRKNINGER AV STRÅLING

I tillegg til ioniserende stråling, omfatter begrepet stråling synlig og ultrafiolett lys (UV), samt mikro- og radiobølger. Ekstremt lavfrekvente og statiske elektromagnetiske felt, slik som fra kraftgater og i smelteverksindustrien, er ikke omfattet i Strålevernprogrammet. Det samme gjelder ultralyd og andre mekaniske bølger som ikke egentlig er stråling.

Menneskene har til alle tider vært utsatt for naturlig stråling og utviklet seg i henhold til dette. Strålevern og strålevernsforskning er begrunnet i at strålings-

<sup>1</sup> Dette er en del av programmet «Nuclear Fission Safety» hjemlet i EURATOM-traktaten. Norge er ikke medlem her, men deltar i programmet på prosjekt basis.

påvirkning utover den normale bakgrunnsstrålingen kan medføre uheldige virkninger. Alt levende materiale kan i prinsippet påvirkes av stråling, men det er særlig helseaspekter hos mennesker som har påkalt oppmerksomhet. Ved spredning av radioaktivitet i naturen, kan en rekke arter påvirkes av stråling i form av registrerbare forandringer i biomarkører eller skader på enkelt dyr, men dosene og effektene er vanligvis så små at det ikke medfører økologiske endringer. På tross av dette, kan imidlertid en akkumulert effekt av ulike andre miljøforurensninger føre til at enkelte økosystemer har abnorm følsomhet for ellers små strålingspåvirkninger.

Opprinnelig har strålevern som fag og filosofi sitt utspring i radiologien, og var begrunnet ut fra beskyttelse av pasienter og personale mot akutte skader. Økt kunnskap om strålevirkning viste imidlertid at all stråling vil kunne ha en biologisk effekt. Derfor vurderes nå all strålebruk nøye, slik at ulike anvendelser kan optimaliseres m.h.t. forholdet mellom nytte og risiko. Strålevern er, spesielt etter utviklingen av kjernekraft, også blitt knyttet til menneskets behov for å beskytte seg selv, direkte eller indirekte, gjennom påvirkninger fra miljøet. Dette inkluderer både radioaktiv forurensning og naturlig stråling, som fra naturlige isotoper og sollys. Stråling og effekter av stråling anvendes til stor nytte for samfunnet, f.eks. er et moderne helsevesen utenkelig uten bruk av stråling i terapi og diagnostikk. Under Tsjernobyl-ulykken fikk deler av den norske befolkning, tross lavt forurensningsnivå, helseproblemer bl.a. i form av angst, endrede kost- og levevaner, og/eller fikk problemer på grunn av restriksjoner i næringsutøvelse i landbruk og reinnæring. Enkelte har ment at disse helseeffektene var mer omfattende enn de biomedisinske virkninger. Strålingsvirkninger i snever forstand er derfor biologiske effekter i biosystemer direkte utløst av stråling, og fagfeltene er strålingsbiologi, radioøkologi, human strålingsbiologi, generell strålingsmedisin og epidemiologi. I bred forstand bør man bruke begrepet «strålingsrelaterte virkninger», og inkludere psykologiske effekter, herunder frykt for strå-

ling, politiske og økonomiske effekter, og bivirkninger av beskyttelsestiltak.

### 1.3 SAMFUNNETS KOMPETANSE-BEHOV

Brukerne av stråleverntjenester, også enkeltmennesket i samfunnet, har krav på et troverdig strålevern. Internasjonalt sett har man høye ambisjoner i strålevernet, og Norge følger de internasjonale anbefalinger.

For å opprettholde et adekvat strålevern kreves en aktiv nasjonal kompetanse og kontinuerlig rekruttering. Dette viste seg bl.a. ved Tsjernobyl-ulykken, hvor samfunnet var uforberedt på situasjonen etter flere tiårs nedbygging av kompetanse. Derfor er det en forutsetning at universiteter, høyskoler og forskningsenheter tar ansvar for kvalitetsutdanning av fagfolk som senere kan rekrutteres til strålevern-arbeid. Forvaltningen skal ivareta befolkningens behov og preferanser og er derved viktige brukere av strålingsfaglig kompetanse. Atomberedskap og helsevesenets strålingsbruk er viktige områder for strålevern og for publikums oppmerksomhet. Økende bruk av strålingsteknologi i industrien, særlig av ikke-ioniserende stråling som f.eks. lasere, gir også et behov for strålingskunnskap i industrien.

Strålebruk innen terapi og diagnostikk er under rask utvikling, noe som stiller stadig større krav til kompetanse. Den teknologiske utviklingen har redusert dosen til pasient ved vanlige røntgenundersøkelser, samtidig som det diagnostiske utbyttet er bedret. På den annen side er det kommet nye metoder som gir langt høyere stråledoser enn de tradisjonelle undersøkelsene. Totalt sett er både antall foretatte undersøkelser og kollektiv dose fra røntgendiagnostikk svakt økende i Norge. Denne utviklingen stiller store strålevernsmessige utfordringer m.h.t. berettiget og optimalisert bruk. EU utgav i 1997 et nytt direktiv kalt «pasientdirektivet» (97/43/EURATOM). Dette direktivet har fått sterk innvirkning på strålevern-lovgivningen i Norge og inneholder blant annet krav til kompetanse innen strålevern

og medisinsk fysikk, dokumentasjon av doser og undersøkelsesstatistikk, etablering av doseføringer, og kvalitetskontroll av strålemedisinsk utstyr. Dersom Norge skal kunne oppfylle dette direktivet, forutsetter dette en betydelig satsing på utdanning, både m.h.t. grunnutdanning og ordninger for spesialisering innen strålevern og medisinsk fysikk. For å heve norsk kompetanse til internasjonalt nivå, er det helt nødvendig å stimulere til økt forskning på området

Det er således i samfunnets interesse at det finnes institusjoner der forskning foregår på relevante og viktige felter for å sikre norsk kompetansegrunnlag, og at disse fagmiljøer blir i stand til å ivareta slik virksomhet over lengre tid.

Omprioritering til andre oppgaver vil ellers lett kunne skje i perioder med lav offentlig interesse, slik det skjedde før Tsjernobyl-ulykken. Dette stiller krav til koordinering og samordning mellom institusjoner og fagmiljøer som driver forskning på dette området.

Departementene representerer viktige brukere av strålevernstjenester.

Hovedansvaret innehas av Sosial- og helsedepartementet (SHD) som departement for Statens strålevern, men også andre er viktige brukere.

Utenriksdepartementet (UD) har påpekt behov for kunnskap i forbindelse med samarbeid med Øst-Europa, risikovurderinger og grunnleggende kompetanse til tjeneste for industrien.

Miljøverndepartementet (MD) understreker behovet for å bygge opp varig kompetanse, og særlig kompetanse om virkninger i miljøet. Dette inkluderer kunnskap om samvirke mellom belastning fra radioaktivitet og andre miljøbelastninger på ulike økosystemer, og utvikling av metodikk for å kartlegge spesielt følsomme områder som krever særlig beredskap.

Miljøsam arbeidet med Russland tydeliggjør disse behovene. Landbruksdepartementet (LD) mener det er behov for å opprettholde kompetanse etter Tsjernobyl-ulykken, og at matvaresikkerhet er viktig. Fiskeridepartementet (FiD) ser behov for forskning om overføring av radioaktivitet i marine næringskjeder. Både LD og FiD

fokuserer på ren, norsk mat, og ønsker kompetanse rundt akkumulering av radioaktivitet i næringskjedene og effektiviteten av mottiltak. Det tidligere Kirke, utdannings- og forskningsdepartementet (KUF) har ansvar for oppbygging av grunnkompetanse og kandidat/forskerutdanning, og Nærings- og handelsdepartementet (NHD) har et bredspektret ansvarsområde både innen matvare- og produkt-sikkerhet og innen reaktorsikkerhet og avfallshåndtering. Arbeidsgruppen for utarbeidelsen av programnotatet som lå til grunn for *Forskningsprogrammet om stråling og strålevern*, og senere også Programstyret gjennom sine handlingsplaner, søkte å innpasse disse behovene i forskningsprogrammet.

## 2 Mål for Forskningsprogram om stråling og strålevern

### 2.1 HOVEDMÅL

*Forskningsprogram om stråling og strålevern* var et vidt favnende program som siktet mot å opprettholde tilstrekkelig nasjonal kompetanse innen alle strålingsarter og ha som hovedinnsatsområder anvendte fagområder som strålingsdosimetri, radioøkologi (terrestrisk, akvatisk og marin), strålingsbiologi, strålemedisin og medisinsk fysikk. Nasjonal kompetanse og rekruttering skulle sikres ved at programmet også dekker fysisk, kjemisk, biologisk og samfunnsvitenskapelig strålingsrelatert grunnforskning. Programmet har hatt som hensikt å bidra til styrking og samordning av forskningsmiljøene i landet, og skulle fylle forvaltningens behov for forskning, forskningsbasert overvåking og basiskunnskap for beredskapsplaner. Virksomheten skulle koordineres i forhold til annen nasjonal og internasjonal forskning innen fagområdet.

### 2.2 DELMÅL

Det skulle i programmet legges vekt på nettverksbygging, kompetansebygging, forskerutdanning og rekruttering. Følgende hovedområder utgjorde de prioriterte innsatsområder under programmet (ikke prioritert rekkefølge):

- Utvikling av forenklede radiokjemiske metoder for bestemmelse av alfa- og betaemittere.
- Effekter av lave stråledoser, herunder mikrodosimetriske metoder og forskning på mikroskopisk energiavsetning.
- Terrestriske radioøkologiske studier med vekt på grunnleggende prosesser og på forhold av betydning for norsk matvareproduksjon.
- Marin og akvatisk radioøkologi med vekt på transport og opptak i næringskjeder.

- Evaluering av befolkningsdoser og individdoser fra forskjellige kilder. Optimalisere strålingsanvendelser, særlig i helsevesenet.
- Strålingsbiologiske og strålingsmedisinske studier av effekter av stråling. Epidemiologi og utvikling av retrospektiv dosimetri for ulykkessituasjoner.
- Forskning knyttet til helse- og miljøforvaltningens beredskapsplaner.
- Studier av samfunnsmessige virkninger av stråling og tiltak:
  - karakterisering av strålekilder og risikoanalyse, herunder metodeutvikling
  - økonomiske og psykososiale konsekvenser

### 2.3 ETTERPRØVBARE MÅL

Strålevernprogrammets hoved- og delmål skulle realiseres ved tildeling av forskningsmidler etter søknad fra relevante forskningsmiljø. Søknadene ble vurdert som beskrevet i handlingsplanen. Hvorvidt programmets mål ble oppfylt gjennom de forskningsprosjekter som ble tildelt skulle vurderes ved evaluering av framdrifts- og sluttrapportene, og ved egnevalueringer. Konkrete etterprøvbare mål var:

- Dekningsgraden av programmets hoved- og delmål i lys av ressursbruk og budsjett. Det søkes en bredest mulig dekning som samtidig er i rimelig samsvar med bidragsytternes relative innsats til programmet.
- Antall og faglig fordeling av publikasjoner i internasjonale tidsskrifter/konferanser. Publiseringen bør gjenspeile programmets ressursbruk på de ulike innsatsområder.
- Antall og fordeling av doktorgrader som gjennomføres. Det var et mål å ha en

jevn fordeling av avlagte doktorgrader over alle programmets viktigste innsatsområder.

- Antall og natur av nye samarbeidsprosjekter som ble satt i gang. Programmet skulle ta initiativ til, og stimulere tverrfaglige og tverr-institusjonelle prosjekter.
- Omfanget av populærvitenskapelig formidling.
- Tilbakemeldinger fra oppdragsgivere og fra forskningsmiljøer om virksomhetens betydning for kompetansebygging (herunder utdanning og rekruttering), beredskapsplaner og internasjonalisering.



## 3 Gjennomføring av programmet

### 3.1 GENERELT

Det var behov for innsats på alle de viktige delmålene i programmet. Derfor ble opprinnelig ingen spesielle områder plukket ut som prioriterte områder. Det ble imidlertid på senere tidspunkter introdusert føringer i programutlysningene som avspeilet områder der programstyret mente programmet til da ikke hadde hatt tilstrekkelig dekningsgrad. Dette ble også sett i sammenheng med at den handlingsrettede delen av programmet i stor grad måtte gjennomføres avhengig av bevilgningene fra de ulike kilder. Videre følte programstyret et ansvar for å søke å initiere/stimulere til aktivitet på områder hvor det ikke syntes å være det ønskelige aktivitetsnivå (se Kapittel 3.3).

Det må understrekes at programmets mål var meget bredt og omfattende. Utgangspunktet var et program som skulle være mer omfattende enn det tidligere strålevernprogrammet i regi av LD/NLVF. Dette kunne bare oppnås gjennom finansiering fra flere departementer. De viktigste av disse var KUF (oppbygging av grunnkompetanse og rekruttering), NHD (reaktorsikkerhet, avfallsproblematikk og matvare/produksikkerhet), SHD, FiD, MD, og LD. Det er beklagelig at KUF og NHD ikke ga tilskudd til programmet, og at således de områder av programmet hvor KUF og NHD hadde sine ansvarsområder i stor utstrekning ble udekket. I tillegg ble tilskuddet fra SHD betydelig mindre, nærmest symbolsk, i forhold til det dokumenterte innsatsbehovet innen fag og forvaltning. Svært mange av søknadene var rettet

mot problemstillinger av primær interesse for dette departementet. Det ble i 1996 og 1997/8 tatt initiativ overfor SHD til å endre denne situasjonen uten at dette førte fram. Det totale budsjettet har således blitt betydelig mindre enn forventet og i omfang ikke særlig større enn det foregående strålevernprogrammet.

### 3.2 BUDSJETT

Bevilgningen for 2000 er ikke brutt opp på de enkelte finansiører, da disse fra og med 2000 budsjetterte til ProFo som helhet, og ikke til hvert enkelt underprogram.

Det faktum at forventede sentrale finansiører for programmet helt eller delvis ikke bidro til den endelige finansieringen har selvfølgelig hatt klare konsekvenser for dekningsgraden av de ulike innsatsområdene. Programstyret har forsøkt å finne dekning for de fleste av de prioriterte oppgavene for programmet. Programstyret har imidlertid måttet tilordne deler av programmet til de ulike bevilgningsinstanser og søkt å legge en profil over bevilgningene som i en viss grad harmoniserer til de relative bidrag fra disse. Dette har ført til at helseaspektet etter hvert har blitt utelatt. Dog har det vært overordnet for Programstyret at et prosjekts faglige kvaliteter skulle ha vesentlig vekt i forhold til de brukermessige hensyn. Videre hadde søknader som bidro til forskerrekuttering innen fagområdet høy prioritet. Doktorgradsstipendene ble bevilget for en periode over tre år.

Programmets budsjett har vært som følger (alle beløp i kNOK):

Finansieringskilde	1996	1997	1998	1999	2000
MD	1000	1000	2000	2000	
LD	1000	1700	1700	1600	
FiD	800	1000	1000	1000	
SHD	200	200	–	–	–
<b>SUM</b>	3000	3900	4700	4600	3000

### 3.3 TILTAK, SAMLINGER OG KONFERANSER

Programstyret så det som sin oppgave å sørge for en, etter forholdene, rimelig spredning av forskning over de fleste av programmets prioriterte områder. Ved siden av den tradisjonelle åpne utlysning av midlene ønsket programstyret å kunne sette inn ulike tiltak for å stimulere aktuelle miljøer til å utarbeide prosjektforslag.

Et slikt tiltak var å begrense utlysningene av programmidler slik at bare prosjekter innen spesifikke fagområder var aktuelle. På denne måten kunne en styre aktivitet innen svakt dekkede områder av programmets hovedmål.

Et annet tiltak ble satt i verk i april 1997 da programstyret inviterte forskere fra et titalls forskningsmiljøer innen *marin radioøkologi* til en to-dagers forskersamling i Bergen (tittelen på samlingen var: *Radioaktiv forurensning i marine miljøer*). Bakgrunnen for dette initiativet var at programstyret til da hadde innvilget kun ett prosjekt innen marin radioøkologi, mens man sammen med bevilgningsinstitusjonene hadde forventet en tyngre innsats. De ulike nasjonale aktører innen fagfeltet ble derfor invitert til en samling for å identifisere felles interesser, initiere faglig samarbeid og fremme prosjektsøknader til Strålevernprogrammet. Forskersamlingen var vellykket og førte til nye prosjektsøknader for 1998 og 1999. Det foreligger en Forskningsrådsrapport fra denne forskersamlingen.

Programstyret har ved enkelte anledninger slått sammen prosjekter fra forskjellige institusjoner for derved å fremme tverrfaglighet og stimulere til kommunikasjon for derved å effektivisere kunnskapsproduksjonen. I tillegg har programstyret gått i direkte dialog med aktører for å få fram prosjekter, eller for å få prosjekter omarbeidet.

Det var planlagt en midtveisevaluering av programmet våren 1998 i form av en større forskersamling. Formålet med denne samlingen skulle være dels å gå grundig gjennom prosjektene og å identifisere udekkede forskningsbehov innen programområdet, og dels en egnevaluering

av programmet. I forbindelse med opprettelsen av ProFo ble imidlertid disse planene omarbeidet. Høsten 1998 holdt ProFo et programseminar i Oslo. Her hadde de ulike programmene egne sesjoner i tillegg til innledningsforedrag i plenum. Det ble i alt holdt 18 foredrag/innlegg i forbindelse med Strålevernprogrammet. Hensikten med dette møtet var å forsøke å trekke linjer fra beskrivelsen av behov for forskning nedfelt i programnotatet av 1996, gjennom det som var gjort til møtetidspunktet, og til hvilke behov man skulle prioritere videre, og ikke minst videreføre til ProFo etter 2001. Møtet var i så måte vellykket – udekkede forskningsbehov ble identifisert og nedfelt i de prioriteringer som ble gjort i forbindelse med programnotatet til ProFo. Det foreligger en egen Forskningsrådsrapport fra dette møtet.

Våren 2000 var det ytterligere en forskersamling i regi av ProFo, denne gang på Lillehammer. For Strålevernprogrammet sin del ble dette en start på arbeidet med den foreliggende sluttrapporten, med oppsummeringer av det arbeide som var fullført til da, samling og presentasjoner av populærvitenskapelige sammendrag og diskusjoner om videre strategier i forbindelse med ProFos videreføring av strålingsforskningen.

### 3.4 VIRKSOMHET

#### 3.4.1 PROSJEKTOVERSIKT

*Forskningsprogram om stråling og strålevern* hadde i perioden 1996 - 2000 totalt 61 søknader til programmet med en kostnadsramme på omlag 50 millioner kroner. Som det framgår nedenfor, ble det bevilget midler til 22 prosjekter innenfor en kostnadsramme på 18 millioner kroner. Innvilgsesgraden har følgelig vært på 36%. To nye strålevernrelaterte prosjekter er blitt startet opp i regi av ProFo fra og med 2001. Disse er ikke inkludert nedenfor. En oversikt over alle prosjektene er vist i Vedlegg 2. Som det framgår av dette vedlegget er pr. 31/12/00 18 prosjekter avsluttet mens 4 av ulike grunner fortsetter inn i 2001/2002 (+ de to startet i 2001).



Det framgår av oversikten i Vedlegg 2 at de totale bevilgninger for hvert år (basert på ettertids regnskaper) ikke stemmer fullt overens med budsjettallene i tabellen ovenfor. Dette skyldes flere forhold. Dels har det funnet sted systematiske forskyvninger av bevilgninger fra ett år til neste ved at prosjekter er forsinket eller har endret tidsplan av tekniske eller personalmessige årsaker, og dels er prosjekter blitt avsluttet uten at den totale bevilgningen er brukt. De administrative kostnader ved drift av programmet har dekket reiser til møter, møtehonorarer, konferanser/forskersamlinger, lønn til eksterne programkoordinatorer, referee-honorarer, trykkingsutgifter etc. Administrative kostnader for 1996 dekket også i en viss utstrekning utgifter knyttet til arbeidet til referansegruppen som utarbeidet programnotatet.

### 3.4.2 DOKTORANDER

Programmet har finansiert 8 doktorgradstipendiater som har arbeidet/arbeider på disse 22 prosjektene. Av disse sluttet en stipendiat uten å ha disputert, og prosjektet ble avsluttet uten stipendiat. De resterende 7 er:

- **Rajdeep Singh Sidhu**, Prosjektleder Per Hoff, UiO. Prosjekt avsluttet. Kandidaten forventes å disputere 2002.
- **Lindis Skipperud**, Prosjektleder Deborah Oughton, NLH. Prosjekt ikke avsluttet.
- **Jostein Dale**, Prosjektleder Johan Moan, DNR/UiO. Disputert.
- **Hilde Elise Heldal**, Prosjektleder Lars Føyn, HI. Disputert.
- **Tor Arne Vestad**, Prosjektleder Eli Olaug Hole, UiO. Prosjekt ikke avsluttet.
- **Aud Venke Sundal**, Prosjektleder Stein Erik Lauritzen, UiB. Prosjekt ikke avsluttet.
- **Lavrans Skuterud**, Prosjektleder Per Strand, Statens Strålevern. Prosjekt ikke avsluttet.

For de stipendiatene (4) som er knyttet til

prosjekter som ikke er avsluttet, viser de seneste framdriftsrapportene at prosjektene høyst sannsynlig vil komme i mål, enkelte etter nødvendige (mindre) justeringer av tidsplaner og prosjektmål.

### 3.4.3 FORMIDLING FRA PROSJEKTENE

Tabellen under gir et sammendrag av den totale formidlingsaktiviteten i prosjektene. Dette tallmaterialet er basert på data gitt i prosjektens sluttrapporter, og i de siste framdriftsrapportene (2001) for prosjektene som ikke er avsluttet. En fullstendig publikasjonsliste er presentert i Vedlegg 4

Artikler i vitenskapelige tidsskrifter med referee	54
Artikler i andre vitenskapelige tidsskrifter eller artikkelsamlinger, bøker, antologier	8
Bøker (monografier, lærebøker, antologier (red.))	3
Publiserte foredrag fra internasjonale faglige møter	15
Andre rapporter samt foredrag og presentasjoner fra vitenskapelige/faglige møter	103
Allmennrettede formidlingstiltak	5
Brukerrettede formidlingstiltak	3
Oppslag vedrørende prosjekter i massemedia	ca 20

Antall artikler i vitenskapelig tidsskrifter og bøker må anees som tilfredsstillende med omlag 3,5 pr. prosjekt. Prosjektdeltakerne har også hatt en betydelig utadrettet virksomhet i forbindelse med vitenskapelige og faglige møter med ca 5 presentasjoner pr. prosjekt. På den annen side kan ikke den allmenn- og brukerrettede formidlingen vurderes som fullt ut tilfredsstillende. I lys av Norges forskningsråds nye strategi for utadrettet for-

midling forventes det at ProFo vil gripe fatt i dette aspektet. Det skal imidlertid bemerkes at programseminaret i Oslo i 1998 og forskerkonferansen på Lillehammer i 2000 hadde et betydelig innslag av inviterte deltakere fra brukersiden.

### 3.5 EU-STRÅLEVERN

Norske forskningsmiljøer innen stråling og strålevern har siden EUs 3. rammeprogram ble iverksatt hatt muligheten for å søke deltakelse i EUs Strålevernprogram. Dette strålevernprogrammet (RPP, Radiation Protection Program) er hjemlet separat i EUs EURATOM traktat og er således ikke omfattet av EØS avtalen. Under 3. rammeprogram ble det imidlertid forhandlet fram en avtale om norsk deltakelse som ble iverksatt mot slutten av perioden, og som ble reforhandlet og videreført for 4. og 5. rammeprogram. Avtalen åpner for norsk deltakelse i RPP på linje med EU-landenes deltakelse, etter søknader på prosjekt til prosjekt basis. Til forskjell fra EU-landenes deltakere må norske deltakere betale sin egen andel av prosjektet fullt ut. Norges forskningsråd har gjennom særskilte bevilgninger fra de ansvarlige departementer (SHD, FiD, LD, MD, UD; 5 mill NOK for 2002) tatt ansvar for søknadsbehandling, oppfølging av prosjektene og sluttrapportering. I 3. rammeprogram deltok norske kontraktspartnere i 8 prosjekter, det var norsk deltakelse i 14 prosjekter under 4. ramme-program, og det ligger foreløpig an til deltakelse i 9 prosjekter under 5. rammeprogram.

Skal en dømme etter sluttrapportene synes denne ordningen i hovedsak å ha vært en suksess. Norske forskere har fått en helt annen tilgang til andre europeiske forskningsmiljøer enn de ellers ville ha hatt. Det har gitt solid inspirasjon og ytterligere finansiering av internasjonal forskning på høyt nivå. Den norske innsatsen har vært berømmet som meget god fra EUs side. Det skal imidlertid nevnes at for norske prosjektdeltakere har det vært et problem at finansieringen, spesielt i

overganger mellom de ulike rammeprogram, har vært usikker og at organiseringen har medført en del dobbeltrapportering som har føltet unødig og tidkrevende.

*Forskningsprogrammet om stråling og strålevern* har i en viss utstrekning fungert som referansegruppe for Norges deltakelse i EUs strålevernprogram.

Programstyret har ved noen anledninger vurdert norske søknader til EUs RPP og programstyret har bistått i oppfølgingsarbeidet ved å behandle årlige framdriftsrapporter samt sluttrapporter fra prosjektene.

ProFo har nå, på oppfordring fra de berørte departementene, på en mer formell måte enn tidligere overtatt koordineringsansvaret for norsk deltakelse i EUs Strålevernprogram (Key Action 2.4) under 5. rammeprogram. Det er gitt prioriteringer i henhold til ProFos programnotat og handlingsplaner, i tillegg også til enkelte deloppgaver som grenser over mot miljø og helse. ProFo vil bistå departementene med videre forslag til prioriteringer og med prosjektoppfølgning etter de samme rapporteringsrutiner som gjelder for ordinære forskningsrådsprosjekter.

Ytterligere detaljert rapportering fra den norske deltakelsen i EUs forskningsprogrammer faller utenfor rammen for denne sluttrapporten, med unntak av enkeltstående prosjekter (4) som har hatt delfinansiering direkte gjennom bevilgningene til *Forskningsprogrammet om stråling og strålevern*.

## 4 Faglige og samfunnsrelevante resultater

### 4.1 SYNTSE AV PROSJEKTENE PÅ SENTRALE OMRÅDER

Programmet har bidratt vesentlig til utvikling av fag på enkelte områder, og til et uventet høyt tverrfaglig samarbeid både nasjonalt og internasjonalt. Det er meget sannsynlig at dette har bidratt til å høyne kvaliteten på forskningsmiljøene.

For å illustrere dekningsgraden av de ulike satsingsområdene innen programmet har prosjektene blitt klassifisert i forhold til de prioriterte delmålene for programmet (Kapittel 2.2). Det skal her bemerkes at noen av prosjektene (og stipendiatene som er knyttet til prosjektene) kan passe inn under flere av delmålene. De er da plassert ut fra hovedfokuset i prosjektet.

Det framgår av dette at dekningsgraden har vært størst innenfor de fagområder som har størst interesse for de tyngste finansiererne av programmet, MD, LD og FiD. Helse-relevant forskning har hovedsakelig bare blitt gjennomført når dette har vært en naturlig følge av andre og mer dominerende aspekter ved prosjektene. Eksempelvis har det vært en underdekning av problematikken rundt radon som følge av nedprioritering av helseaspektene. Enkelte støtteverdige helse-relaterte prosjekter er blitt overført til andre områder i Forskningsrådet.

Internasjonale forskningsprosjekter (spesielt i nordområdene) har i hovedsak adressert nasjonale forvaltningsmessige forskningsbehov (det er f.eks. ingen prosjekter på problematikken rundt håndtering av radioaktivt avfall). Med unntak

Utvikling av forenklede radiokjemiske metoder for bestemmelse av alfa- og betaemittere.	2 prosjekter, 2 stip
Effekter av lave stråledoser, herunder mikrodosimetrisk metode og forskning på mikroskopisk energiavsetning.	2 prosjekter, 1 stip
Terrestriske radioøkologiske studier med vekt på grunnleggende prosesser og på forhold av betydning for norsk matvareproduksjon.	6 prosjekter, 1 stip
Marin og akvatisk radioøkologi med vekt på transport og opptak i næringskjeder.	7 prosjekter, 2 stip
Evaluering av befolkningsdoser og individdoser fra forskjellige kilder. Optimalisere strålingsanvendelser, særlig i helsevesenet.	4 prosjekter (ingen prosjekter har omfattet optimalisering av strålingsanvendelser)
Strålingsbiologiske og strålingsmedisinske studier av effekter av stråling. Epidemiologi og utvikling av retrospektiv dosimetri for ulykkessituasjoner.	6 prosjekter, 2 stip
Forskning knyttet til helse- og miljøforvaltningens beredskapsplaner.	5 prosjekter, 3 stip
Studier av samfunnsmessige virkninger av stråling og tiltak: – karakterisering av strålekilder og risikoanalyse, herunder metodeutvikling – økonomiske og psykososiale konsekvenser	4 prosjekter, 1 stip  ingen prosjekter

av finansiering av stipendiater er det ikke gitt støtte til tiltak for å styrke utdannings- eller rekrutteringsforholdene ved norske utdanningsinstitusjoner, eller til å stimulere samarbeide mellom UoH- og instituttsektorene for dette formål.

Forskersamlingene og konferansene har imidlertid utgjort et kjærkomment og vellykket møtested for de ulike forskningsmiljøene.

For å lette oppsummeringen av de faglige resultatene er prosjektene gruppert på nedenforstående hovedtema i den videre gjennomgangen. Mer detaljerte redegjørelser for de faglige resultatene fra de ulike prosjektene finnes i prosjektenes sluttrapporter til Norges forskningsråd.

Marin radioøkologi	2 prosjekter, 2 stip
Akvatisk radioøkologi	5 prosjekter
Terrestrisk (zoologisk) radioøkologi, spredningsmodeller	6 prosjekter, 1 stip
Kjernekjemi/analytisk kjemi	2 prosjekter, 2 stip
Dosimetri, strålingsfysikk, -biologi, -medisin	4 prosjekter, 2 stip
Bakgrunnsstråling/radon	3 prosjekter, 1 stip

For noen utvalgte, særs vellykkede prosjekter med resultater av klar betydning for forskningen, samfunnet og forvaltningen, presenteres det populærvitenskapelige sammendrag i et eget vedlegg (Vedlegg 3). Publikasjonslister fra prosjektene er gitt i Vedlegg 4.

#### 4.2 MARIN RADIOØKOLOGI

Våre nordlige havområder har blitt tilført menneskeskapt radioaktivitet i et halvt hundreår. Noen av de viktigste kildene er nedfall fra kjernefysiske prøvesprengninger på 50- og 60-tallet, utslipp fra de europeiske gjenvinningsanleggene for brukt

kjernefysisk brensel, Sellafield og La Hague, og dumping av radioaktivt avfall i Barentshavet/Karahavet. I tillegg har store elvesystemer fra Russland (Ob, Yenisey) utløp i disse havområdene. Disse elvesystemene fører med seg betydelig radioaktiv forurensning, spesielt gjennom smeltevann og andre episodiske hendelser. I havet transporteres forurensningene via de store havstrømmene; fra sør (Østersjøområdet, Den engelske kanal, Irskesjøen) i hovedsak med kyststrømmene opp langs norskekysten inn i Barentshavet, til Svalbard og tilbake langs Grønlands østkyst; fra nordøst via strømmene i Karahavet tilbake mot Barentshavet og Svalbard. Et ikke ubetydelig bidrag fra de arktiske områdene skyldes også isdrift.

Barentshavet er et av de viktigste havområdene for norske fiskerier med årlige fangster på 2-3,5 millioner tonn fisk. Nivåene av menneskeskapt radioaktivitet i sjøvann og fisk i alle norske havområder er pr. i dag lave. Det er imidlertid et stort potensiale for utslipp til arktiske havområder forbundet med uhell og ulykker, og det er en kontinuerlig tilførsel av radioaktiv forurensning også fra sør, spesielt knyttet til represseringsanleggene i Sellafield og La Hague. Det arbeides kontinuerlig med å oppnå økt kunnskap om transportveier og prosesser for overføring av radioaktivitet fra kildene til norske havområder, om sedimentering og remobilisering fra sediment, og om opptak til alger, fisk og andre dyr, inklusive transport i de marine næringskjedene. Flere norske institusjoner deltar i internasjonale feltekspedisjoner i Norskehavet, Barentshavet, Karahavet og Kvitsjøen med innsamling av store mengder prøver av sediment, vann, og biologisk materiale. Prøvene analyseres i institusjonenes laboratorier, og resultatene fra analysene benyttes i overvåkningsøyemed, samt i det pågående arbeide for modellering av spredning og opptak av radioaktivitet. Dette er virksomhet av stor betydning for den norske fiskerinæringens troverdighet overfor markedene i utlandet såvel som hjemme.

Resultater fra programmet viser at fisk i Norskehavet og i Barentshavet fortsatt har

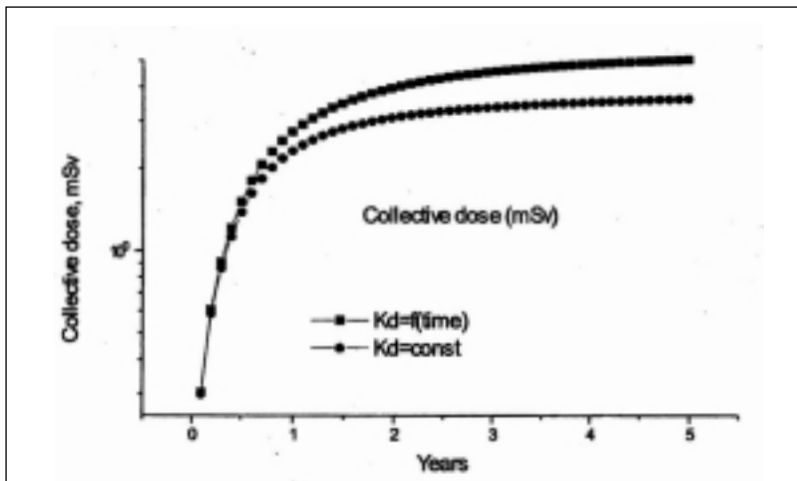


Fig. 1: Sammenlikning av  $^{137}\text{Cs}$  kollektive doser for tidsavhengige og konstante fordelingskoeffisienter for likevekten sjøvann/sediment. Hentet fra Sluttrapport 112257/720 «Modellutvikling for konsekvensvurdering av radioaktiv forurensning i nordlige havområder»

lavere nivåer av radioaktivitet enn fisk i Skagerrak og i Nordsjøen. Men det er funnet at transporten av  $^{99}\text{Tc}$  fra Sellafield har gått raskere enn forventet og at isotopen nå gjenfinnes i Barentshavet. Det er også blitt påvist en økning i nivåene av menneskeskapt radioaktivitet oppover i de forskjellige leddene i næringskjeder i Barentshavet. I sedimenter hentet fra området Svalbard-Bjørnøya finnes de største konsentrasjonene i Barentshavet av radioisotoper av cesium, americium og plutonium, som alle trolig stammer fra Sellafield. Det har vært hevdet at det i en del polarfronter skjer en aktiv transport av radioaktivitet ved hjelp av planteplankton, ut av vannet og ned i sedimentene. Nå viser både laboratorieforsøk og nyere målinger at planteplankton ikke bidrar til bioakkumulering av  $^{137}\text{Cs}$  i marine næringskjeder.

Prøver innsamlet på tokt i nordområdene sammen med laboratorieforsøk har gitt bedre og mer detaljert informasjon om fordelingskoeffisienter for radioaktivitet mellom sedimenter og havvann samt tidsavhengighet for sedimentbinding. Dette er blitt inkorporert i spredningsmodeller for radioaktivitet i havmassene på den nordlige halvkule. Et overraskende resultat av det foreløpige modelleringsarbeidet er en indikasjon på at potensielle punktutslipp i Karahavet vil kunne gi større kollektive dosebidrag enn tidligere antatt. Figur 1 viser en økende effekt av radioaktivitet til befolkningen som følge av et punktutslipp

på 1 TBq  $^{137}\text{Cs}$  i Ob-estuarier ved bruk av tidsavhengige konstanter for likevekten sjøvann/sediment. Det forventes sterkere effekter enn dette for andre isotoper som har høyere likevektskonstanter.

### 4.3 AKVATISK RADIOØKOLOGI

Et radioaktivt nedfall kan skape alvorlige problemer for drikkevannsforsyning og konsum og salg av ferskvannsfisk. Det er derfor behov for inngående kunnskap om transport, biologisk opptak og lagring av radioaktive stoffer i elver og innsjøer. Det er flere miljøer som peker seg ut som vel-egnede testområder for slike undersøkelser. Øvre Heimdalsvann, øverst i Valdres, er en av landets best undersøkte innsjøer og derfor en viktig referanse for miljøendringer. I 1986 fikk området et radioaktivt nedfall fra Tsjernobyl-ulykken og det ble umiddelbart satt i gang studier av radioaktiv forurensning da det var svært lite kunnskap om virkningen på ømfintlig høyfjellsnatur. Både kort- og langtidsvirkning av nedfallet har vært studert. Det er spesielt viktig å ha måleserier over lang tid for radioaktive stoffer både i vann, på land og i planter og dyr. Siden 1986 har det funnet sted en omfordeling av radioaktive stoffer i Øvre Heimdalen. Nå er det meget lite av radioaktive stoffer i selve vannet, og over tid er det blitt adskillig mindre i fisken. I dag finnes mesteparten av radioaktiviteten enten i innsjøens bunnslam eller i omkringliggende landarealer. Dette betyr at kunnskap om muligheten for frigjørelse fra innsjøens bunnslam eller fra landområdene er uhyre viktig. En frigjøring av radioaktive stoffer kan finne sted enten ved fysisk-kjemiske prosesser eller gjennom planter og dyr som har evne til å ta opp slike stoffer og gjøre dem tilgjengelige.

Tilsvarende undersøkelser er også gjort i Vinstervatnet, og enkelte prosjekter har også benyttet sedimenter i Nitelva utenfor Oslo som i 1970-åra ble forurenset fra utslipp fra Kjernerreaktoren på Kjeller. Disse sedimentene inneholder også etter forholdene høye konsentrasjoner av plutonium. Det er blitt utviklet en bioenergetisk

modell for predikering av radioaktivitet i fisk etter f.eks. et nedfall. Modellen fungerer godt for ørret under bestemte miljøforhold. På grunn av forskjeller i metabolisme og ekskresjon mellom arter og innen ulike stammer av samme art, kan ikke modellen overføres til andre arter og stammer uten å gjøre nødvendige korrigeringer av modellen. Det er også funnet at opptak og ekskresjon fra invertebratene, som inngår i fiskens næringskjede, også varierer betydelig mellom artene. Det er søkt å finne årsakene til at ulike arter og ulike stammer innen samme art av ferskvannsfisk skiller ut radioaktivt cesium med ulik hastighet. Dette kunne korreleres med stoffskiftehastigheten, målt ved oksygenforbruk i laboratorie-eksperimenter. Røye fra Finnmark har et høyere stoffskifte enn røye fra Rogaland, ved samme vanntemperatur, og skiller dermed raskere ut radioaktivt cesium gitt like temperaturforhold.

Tilsvarende problemstillinger ble tatt opp i et annet prosjekt, sentrert rundt Øvre Heimdalsvann. Her ble det foretatt langtidsserier av målinger med hovedvekt på å bestemme halveringstider for fisk og endringer i innsjøens cesium- og strontiumbudsjett. Samtidig ble prosesser som er bestemmende for transport, biologisk opptak og lagring av radionuklider i akvatiske økosystemer studert. Det ble funnet at enkelte bestanddeler som tilføres vannet, f.eks. bjørk, ikke viser nedgang i radiocesiumkonsentrasjonen over tid. Målinger indikerer en betydelig resuspensjon av radionuklider gjennom regnvann eller tørr transport med vind. Overraskende nok, men i tråd med de seneste modellberegningene viser data fra Øvre Heimdalsvann at den økologiske halveringstiden for ørret har økt i perioden 1993 – 1998. Den var i 1998 ca 9 år, mens den i begynnelsen av perioden var nede i 3 år. I 1998 var innholdet av radiocesium i ørret ca 1/10 av maksimalnivået fra 1986 men med forlengede økologiske halveringstider vil det gå lang tid før innholdet av radiocesium i ørret er nede i nivået før 1986.

De empiriske data sammen med ny kunnskap om de sentrale prosessene er anvendt i utvikling og validering av

omfattende prediktive modeller for radionuklider i fisk, og for å vurdere ulike former for tiltak ved eventuelt framtidig nedfall.

Detaljerte kinetikk-studier av Nitelva- og Vinstervatnsedimenter ga en rekke viktige resultater. Blant annet ble overføringsraten for radioaktivitet fra sediment til vann funnet å være ti ganger høyere for innsjøsediment enn for elvesediment. Det ble også funnet at konsentrasjonsfaktorer for vannmose og musling økte med økende hastighet av vannet.

Utlekkingssraten fra sedimentene økte med økende salinitet av vannet men ble halvert når sedimentet ble dekket av et 10 mm tykt lag ikke-radioaktivt sediment.

#### 4.4 TERRESTRISK (ZOOLOGISK) RADIOØKOLOGI

Etter Tsjernobyl-ulykken ble store deler av fastlands-Norge forurenset av radioaktivt cesium. Selv femten år etter ulykken er det betydelige konsentrasjoner av radiocesium i utmark. Det radioaktive isotopet tas opp fra jordsmonnet av planter og sopp, og føres gjennom næringskjedene til dyr og mennesker. Fra undersøkelser gjort etter Tsjernobyl-ulykken, vet en at konsekvensene av et radioaktivt nedfall kan variere mye både geografisk og mellom ulike organismer. Av forvaltningsmessige hensyn, spesielt innen landbruket, er det viktig å kartlegge den belastningen planter, dyr og mennesker er utsatt for pga Tsjernobyl-ulykken. Dette er av betydning for den norske landbruksnæringens troverdighet overfor markedene ute og hjemme, og er også viktig for å kunne forutsi hva konsekvensen vil bli for forskjellige områder og næringskjeder ved et eventuelt nytt nedfall av radioaktivt cesium over Norge.

Mye kunnskap ble opparbeidet i årene umiddelbart etter Tsjernobyl, men det var en rekke problemstillinger som måtte videreføres og utdypes innen Strålevernprogrammet. Spesielt gjelder dette den radioaktive forurensningens oppførsel i naturen, det vil si overføringsmekanismer og varighet. Mange faktorer påvirker overføring av stoffer i naturen.

For radioaktivt cesium er bl.a. følgende forhold viktige å ta hensyn til: jordtype, kornstørrelse, jordas surhetsgrad, jordas innhold av kalium, type jordbruk, dyreslag og fôrtyper. For transporten gjennom næringskjedene har også sesong- og habitatmessige variasjoner stor betydning.

I programmet har det vært arbeidet med hjortedyr som indikatororganismer for nedfall av radiocesium. Hjort og hjortedyr (elg, rådyr, elg) utgjør et viktig ledd for overføring av radioaktivitet til mennesker. Sesongvariasjoner i hjortens radiocesium-belastning, samt innflytelsen av habitat- og næringsvalg på denne variasjonen ble undersøkt. Beregninger av økologisk halveringstid i hjort, elg, rådyr og rein er brukt til å estimere stråledoser til befolkningen gjennom høsting av vilt.

Sopp spiller en betydelig rolle for overføringen av spesielt radiocesium fra jord til husdyr, såvel som vilt. Det er gjort systematiske undersøkelser av ulike arter makrosopper med henblikk på deres evne til å akkumulere radionuklider og deres evne til å frigjøre radionuklider bundet til ulike typer partikler. Overraskende nok har innholdet av radiocesium i de undersøkte soppene endret seg lite i perioden 1995-1999 i forhold til årene 1990 - 1995. I de høy-akkumulerende soppartene var innholdet det samme i 1999 som i 1995 og ubetydelig lavere enn i 1990, som

illustrert i Figur 2. Dette skyldes trolig at sopp har evnen til biologisk å kunne frigjøre bundet radiocesium i jord, samt at disse soppene har en svært høy affinitet til cesium. Vekstmediets innhold av kalium har vist seg å spille mindre rolle for de høy-akkumulerende soppartene, mens dette er en viktig faktor for lav-akkumulerende sopparter (som imidlertid ofte er opptil ti ganger større og er mindre avhengige av klimatiske forhold slik at de forekommer hvert år i relativt store mengder (se figur nedenfor).

Varigheten av radioaktiv forurensning i utmark har vært tema for et omfattende samarbeidsprosjekt mellom Statens Strålevern og NLH. Mengden radioaktivitet som tas opp i vegetasjonen avhenger av mengde nedfall fra forurensningskilden og jordtypen på stedet. Husdyr som beiter på utmark vil ta opp radioaktivt cesium i kroppen. Dette forurenser både melk og kjøtt. Graden og varigheten av forurensningen i dyra vil avhenge av lokale variasjoner i beiteplanter og jordtype, samt dyrenes varierende metabolisme. Forsøk viser at  $^{137}\text{Cs}$  i lav er mindre biotilgjengelig for opptak enn frie cesiumioner. Hos reinsdyr gir både lav og sopp store bidrag til inntaket av  $^{137}\text{Cs}$  gjennom beitesesongen. Den økologiske halveringstiden er ikke en konstant størrelse og ser ut til å øke med økende antall år siden

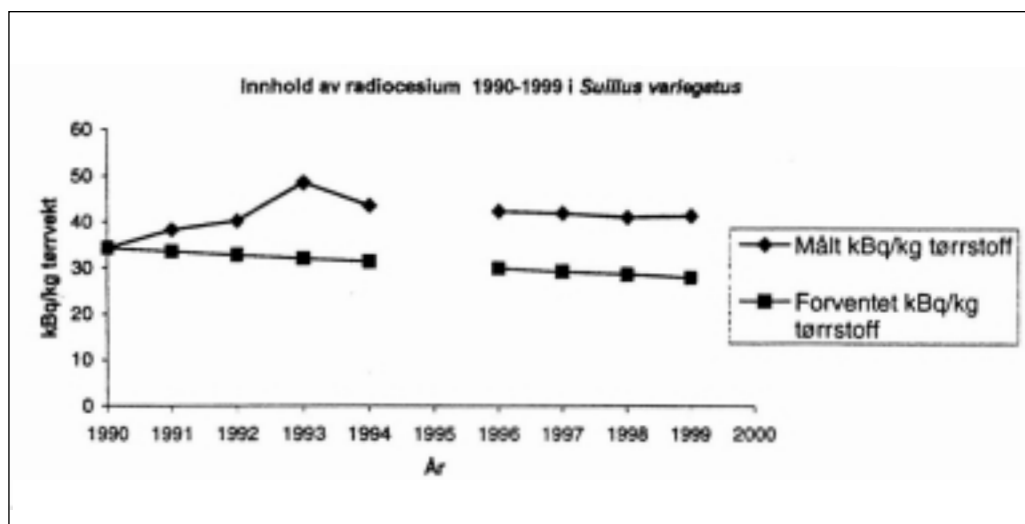


Fig. 2: Forventede og målte verdier av  $^{137}\text{Cs}$  i soppen *Suillus variegatus* i perioden 1990 – 1999. Hentet fra sluttrapport 112258/720 «Varighet av radioaktiv forurensning i utmark»

Tsjernobyl-ulykken. Halveringstiden vil dermed være lenger for perioden 1996-1999 enn for perioden 1987-1999. Dette er forøvrig den samme konklusjonen som ble trukket for ørret i Øvre Heimdalsvann.

Det er blitt laget et PC-basert modelleringsverktøy for å kunne forutsi hva konsekvensen vil bli for forskjellige områder og næringskjeder ved et eventuelt nytt nedfall av radioaktivt cesium over Norge. Målet var å forutsi konsekvensene av et radioaktivt nedfall for alle kommuner i Norge. Det er derfor samlet inn data for produksjon av svinekjøtt, sauekjøtt, storfekjøtt, reinsdyrkjøtt, viltkjøtt, kumelk, geitemelk, grønnsaker, frukt og bær på kommunenivå. Modellen kan dermed forutsi hvilke områder og hvilke næringskjeder som vil være mest utsatt for forhøyede verdier av radioaktivt cesium i matvarer i Norge. Basert på kostholdsundersøkelser kan modellen også beregne stråledoser til befolkningen fra inntak av forurenset mat.

Resultatene viser at produksjon av reinsdyrkjøtt er spesielt utsatt. Dette skyldes at reinsdyra hovedsakelig spiser reinlav, som blir mer forurenset enn andre beiteplanter. Produksjon av kjøtt og melk fra utmarksbeitende dyr vil også være utsatt. Dette skyldes at utmarksbeiter verken pløyes eller gjødsles, slik at det radioaktive cesiumet forblir tilgjengelig for planteopptak i det øverste jordlaget over lengre tid. I tillegg vil dyra i gode soppår spise mye sopp som inneholder mer radioaktivt cesium enn grønne beiteplanter. Noen områder i Norge har en spesielt ugunstig jordtype mhp overføring av radioaktivt cesium. Denne jordtypen har spesielt høyt innhold av organisk materiale. Slike områder er observert i Møre og Romsdal, Trøndelag og Hedmark.

#### 4.5 KJERNEKJEMI/ANALYTISK KJEMI

Transuranenes, spesielt plutoniums og americium isotopforhold, tilstandsformer og konsentrasjoner er sentral informasjon ved evaluering av forureningsgrad, kilder og spredningsevne. Denne informasjonen skaffes gjennom laboratorieanaly-

ser av prøvemateriale innsamlet i felt.

Tradisjonelt har det vært nødvendig med store mengder prøvemateriale grunnet de lave konsentrasjoner av radioaktive isotoper som vanligvis forefinnes

Oppkonsentrering av materialet for å gjøre det tilgjengelig for kjemisk analyse har vært en tidkrevende prosess. Det arbeides på den ene siden intenst med å utvikle mer effektive og hurtigere metoder for oppkonsentrering. Samtidig arbeides det med å utvikle forbedrede separasjonsteknikker. For å rasjonalisere målingene etterstrebes det å utvikle nye mer sensitive metoder basert på alternativ teknologi. Masse-spektroskopiske metoder som AMS og ICP-MS har stått sentralt i det sistnevnte.

I et prosjekt er det utviklet mer effektive metoder for oppkonsentrasjon av transuranene basert på medfelling med  $\text{MnO}_2$ , en metode som i tillegg oksiderer uønskede oksidasjonstrinn av Pu til nivåer der de er mer tilgjengelig for ekstraksjon. Ved en modifikasjon som omfatter bl.a. eluering med 4M HCl og deretter  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  medfelling fulgt av ekstraksjonskromatografi med elementspesifikke separasjonsenheter viser det seg mulig å benytte felles oppkonsentreringsprosedyre for både Pu og Am med høye utbytter. Ulike separasjonsenheter har vært testet for sekvensiell analyse av de forskjellige elementer. Det høye utbyttet kombinert med minimalt praktisk arbeide i laboratoriet gjør dette til en metode som kan komme til alminnelig anvendelse. I et foreløpig ikke ferdigstilt prosjekt har det vært fokusert på metodeutviklinger for ICP-MS og AMS analyser. Foreløpig er det arbeidet med optimalisering av teknikkene og sammenligning av laboratorier for kvalitetssikring av analysemetodene. Det benyttes sedimentprøver fra Mayak, Sellafield, Karahavet og fjordene ved Novaja Semlja. Isotopforholdet  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  har vært av spesiell interesse siden dette forholdet er karakteristisk for kilden og muliggjør sporing av forbindelsen i vann og sediment. Disse teknikkene skal også benyttes for å studere transuraners bindingsforhold og mobilitet i ulike jordtyper og sediment.



#### 4.6 DOSIMETRI, STRÅLINGSFYSIKK, -MEDISIN, -BIOLOGI

Bestemmelse av stråledosen (dosimetri), målet for absorbert strålingsenergi pr. masse-enhet, er grunnleggende, enten dette dreier seg om enkeltindividers helse, om kliniske anvendelser, om industrielle anvendelser eller gjelder planlegging av samfunnsmessige tiltak i forhold til strålingsrelaterte spørsmål. Det finnes mange viktige oppgaver innen dosimetri, både når det gjelder ekstern strålevirkning og intern strålevirkning, som f.eks. ved inntak av radioaktive næringsmidler. Det er behov for bedre kunnskap innen standard-dosimetri og høydose-dosimetri for ekstern bestråling, og det er behov for utvikling av metoder for dosimetri for strålingsbiologiske studier og studier av langtidsvirkninger av små doser. Måling og modellering av fordeling av lave stråledoser gjennom fødeinntak av alfa- og betaemitterende radionuklider, er et viktig fagområde. Det er også viktig å videreutvikle biologisk dosimetri, dvs å kunne bestemme strålingsdosen ut fra måling / karakterisering av tilstand eller endring i biologiske prosesser. Spesielt er dette interessant i forbindelse med katastrofedosimetri eller retrospektiv dosimetri, da det alltid vil være behov for å kunne utføre doserekonstruksjoner umiddelbart etter en ulykke/katastrofe.

I to samnhørende prosjekter hvorav ett ikke er avsluttet er det arbeidet med fysisk, biologisk, medisinsk og industriell dosimetri basert på ESR/alanin-metoden. Det har vært arbeidet med flere ulike problemstillinger. En viktig del av prosjektet har vært arbeidet med å benytte ESR/alanin-dosimetri som praktisk dosimeter i forvaltningen og som klinisk dosimeter. Det er etablert et godt samarbeid med Statens Strålevern i tilknytning til vurderingen av nye overvåkningsmuligheter av bestrålingsfasilitetene ved norske sykehus. En pilotundersøkelse viste bl.a. at alle de impliserte sykehusenes kliniske bestrålingsutstyr lå innenfor akseptabel usikkerhet i dosimetrien. I samarbeide med Det Norske Radiumhospital er det benyttet alaninfilmer som dosimetre i radiobiolo-

giske forsøk på cellekulturer. Denne metoden har vist seg å representere et meget verdifullt supplement til dagens dosimetrimetoder innen radiobiologisk forskning. Bruk av alaninfilmer i kombinasjon med alanin/agarose gel og Monte Carlo beregninger har vist seg å fungere svært lovende i modellstudier av dosefordelinger i forbindelse med vaginal brachyterapi (stråleterapi der strålekilden er plassert inne i kroppen). Arbeidet med utvikling av ESR-basert katastrofedosimetri fortsetter bl.a. ved ett prosjekt i nært samarbeid med ESR-miljøet ved Universitetet i Linköping, Sverige.

I et annet prosjekt har en søkt å finne nye biologiske indikatorer som muligens kan detektere mindre doser og supplere de anerkjente biologiske dosimetre som for eksempel mikrokjernemetoden. Her har man sammenliknet cellenes måte å dø på (med apoptose som den dominerende måten) etter relativt små doser av ioniserende stråling, med forandringer i flere proteiner som er tilknyttet dødsprosessen. Videre ble det analysert, både på en direkte og indirekte måte, mulig bruk av proteiner som er involvert i signaloverføringsprosesser som markører for strålingseksponering. Man konkluderte med at de faktorer og proteiner som ble undersøkt generelt ikke var bedre sensorer for røntgen-eksponering enn mikrokjernemetoden. Mens apoptose-forekomsten kan ha et potensiale som ytterligere markør for strålefølsomhet ved siden av etablerte biologiske dosimetre, viste de analyserte proteiner seg å være til mindre nytte for dette formålet. Grunnen til det er stor diversitet av signaloverføringsveier i celler.

Et enkelt prosjekt omhandlet langbølget ultrafiolett (UVA) stråling. Hensikten med prosjektet har vært å få større kunnskap om betydningen av og mekanismene for «bystander»-effekten i fotobiologien, et fenomen som også gjenfinnes i strålingsbiologien (fenomenet innebærer at skade på en celle formidles til naboceller). Ved å måle fordelingen av stråleskade i mikrokolonier og i sammenløpende monolag av celler i kultur, har en påvist at bystandereffekter spiller en viktig rolle i celledskader framkalt med UVA stråling og fotodyna-

misk behandling (PDT). Ved bruk av forskjellige fotosensitive forbindelser har betydningen av den initielle skadens cellulære plassering blitt undersøkt. Kommunikasjon via «gap junctions» har blitt funnet å ikke ha noen betydning for bystandereffekten etter PDT. Bystandereffektene har blitt verifisert både for celler som dør en apoptotisk cellecød og for celler som dør ved nekrose. Forsøk for å kartlegge om molekyler involvert i oksidativt stress eller om signalproteiner er involvert i bystandereffekten er igangsatt.

#### 4.7 BAKGRUNNS-STRÅLING/RADON

Menneskene har til alle tider vært utsatt for naturlig stråling, og har utviklet seg i henhold til dette. Den viktigste kilden for naturlig stråling er radon (og datterprodukter), spesielt i uran- eller thoriumrike områder. Selv om radon er naturlig forekommende radioaktivitet, vil en kunne få forhøyede konsentrasjoner f.eks. i boliger. Norge hører til de land i verden hvor befolkningen har størst strålebelastning på grunn av radon i boliger. Det er behov for utbedringer av målemetoder, spesielt i forbindelse med bygg-grunnsundersøkelser, samt for utvikling av hensiktsmessige tiltak der dette er nødvendig.

Kosmisk stråling er også en viktig del av den naturlige strålingen som vi til daglig utsettes for. Mesteparten av denne strålingen bremses opp eller stoppes i atmosfæren, men jo høyere vi befinner oss jo større doser får vi. For mennesker som oppholder seg i høyere luftlag (astronauter, piloter, kabinpersonale) vil den kosmiske strålingen øke betraktelig. I forbindelse med både naturlig og menneskeskapt stråling bør en merke seg at psykososiale helse-effekter kan skyldes selve strålings-situasjonen, uten at effektene er direkte knyttet til dosenivået. Kunnskap om befolkningsreaksjoner og kartlegging av informasjonsbehov er derfor viktig kunnskap i en beredskapssammenheng.

To prosjekter representerer støtte til et større internasjonalt prosjekt om sammen-

hengen mellom små doser av ioniserende stråling og kreft. Piloter og flykabinpersonale er en utsatt yrkesgruppe som synes velegnet for slike epidemiologiske studier. Konklusjonen fra undersøkelsen var at kreftrisikoen ikke avviker fra den i den norske befolkningen generelt. Ved sine konkrete resultater bidrar prosjektet til å redusere frykten for den mulige kreftframkallende virkning av kosmisk stråling under flyreiser. Sammenhengen mellom lave stråledoser og eventuelle helseskader er ikke kjent. Når muligheten for slike helseskader tallfestes, så er det på basis av rene antagelser (ekstrapolasjon fra høye stråledoser). Prosjektet har gitt et viktig bidrag til økt kunnskap om helsevirkningen av lave stråledoser.

I et ikke avsluttet prosjekt skal det gjøres geokjemiske undersøkelser av området rundt boligfeltet Huse i Kinsarvik for å vurdere kildeforholdene for radongass. En skal utvikle en modell for potensiell anrikning av uranserie nuklider i ulike mineraliseringer (f.eks. Fe-, Mn-oksider, humus), og til slutt teste dette ved å simulere transport og eventuell anrikning av radon fra slike mineraliseringer. En potensiell anrikning av uranserie nuklider i overflaten av mineralkorn, som i utgangspunktet har relativt lavt innhold av radionuklider, vil føre til en mer effektiv radonutstrømming. Radonutstrømmingen vil derfor ikke stå i forhold til analyser av uran/radium i bulkprøver. Dette vil være viktig informasjon i forbindelse med radonrisiko vurderinger. Resultatene fra dette prosjektet skal derfor benyttes for å bedre risikovurderinger for forhøyet radonkonsentrasjon i bygninger.

## 5 Behov for videre innsats

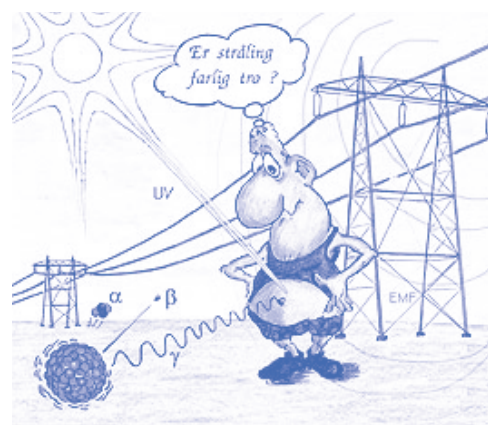
Som den lille vignettfiguren til høyre antyder, er mange av disse oppgavene, foruten en rekke andre udekkede oppgaver fra det opprinnelige Programnotatet til Forskningsprogram om stråling og strålevern relatert til menneskelig helse. ProFos arbeidsområde omhandler i hovedsak de miljømessige sidene av stråling. Med den voksende betydning stråling og strålingsvirkninger har i samfunnet er det særdeles viktig at også de helsemessige aspektene av stråling tas opp i full bredde.

Det ble presisert innledningsvis (Kapittel 2.1) at det opprinnelige Strålevernprogrammet var et vidt favnende program. Selv om det har vært en viss dekning innen de fleste av programmets prioriterte arbeidsområder (Kapittel 2.2) gjenstår det betydelige udekkede oppgaver, foruten at de gjennomførte prosjektene har avdekket nye viktige forskningsoppgaver. I forbindelse med utarbeidelsen av programnotat og handlingsplaner for ProFo ble følgende forslag til prioriterte områder innenfor fagfeltet fremmet:

- Radioøkologiske studier i marine systemer. Kartlegging av kilder, transport (herunder langtransportert spredning), opptak og metabolismestudier i marine næringskjeder.
- Transport, opptak, akkumulering, varighet og omsetning i næringskjeder av direkte betydning for norsk matvareproduksjon.
- Fremme arbeidet med sårbarhetsanalyser og samspillseffekter for stråling med andre miljøagens i ulike økosystemer.

Marine næringskjeder har blitt fokusert forbindelse med den store oppmerksomheten rundt utslippene av technetium-99 ( $^{99}\text{Tc}$ ) fra det engelske gjenvinningsanlegget for brukt kjernefysisk brensel, Sellafield, ved Irskesjøen. Vi vet svært lite om transport av denne radionukliden i marine næringskjeder, men det er observert høyt opptak av  $^{99}\text{Tc}$  i noen bunndyr og i andre marine organismer. Det er derfor viktig å undersøke i hvilken grad den kontinuerlige tilførselen av  $^{99}\text{Tc}$  til norske havområder kan true den norske fiskerier næringen og om noen fiskearter eller populasjoner er mer sårbare for denne radionukliden enn andre.

Med fokus på produksjon av ren norsk mat er det også viktig å øke kunnskapene rundt omsetning av radionukliden i økosystemer som er av betydning for matvareproduksjon. Særlig gjelder dette andre radioaktive stoffer enn  $^{137}\text{Cs}$ .



Figur: Per Erik Arnstad, Arnt Inge Vismes ©

Lite er foreløpig kjent om hvordan ulike arter i naturen kan påvirkes av stråling, for eksempel i form av registrerbare endringer i biomarkører eller skader på enkelt dyr. Likeledes er det behov for kunnskap om eventuelle samspilleffekter mellom radioaktiv forurensning og andre miljøgifter.

Det gjenstår dessuten et betydelig omfang av god forskning i regi av instituttsektoren såvel som UoH institusjonene innen mer grunnleggende områder som:

- Evaluering av befolkningsdoser og individ-doser fra ulike kilder (nedfall, ulykker, radon).
- Strålingsbiologiske *in situ*- og modellstudier av effekter av stråling, spesielt lave stråledoser herunder mikrodosimetrisk metode og forskning på mikroskopisk energiavsetning.
- Utvikling av biologiske indikatororganismer/signalmekanismer og fysiske metoder for retrospektiv dosimetri.
- Konsekvenser av strålingsforurensning i forhold til reelle naturlige variasjoner i bakgrunnsnivåene. Etablere kunnskap om årsak til variasjoner i bakgrunnsnivå fra år til annet.
- Forskning knyttet til forvaltningens beredskapsbehov og tiltaksplaner, herunder evaluering og utvikling av egne mottiltak.

## VEDLEGG 1: PROGRAMSTYRETS SAMMENSETNING

Fra opprettelsen av Forskningsprogram om stråling og strålevern og fram til opprettelsen av ProFo hadde programstyret følgende sammensetning:

- Kontorsjef **Jon Barikmo**,  
Direktoratet for Naturforvaltning
- Seksjonsleder/stipendiat  
**Tone D.S. Bergan**  
Institutt for energiteknikk
- Overlege **Marie S. Buchmann**,  
Axis Biochemicals ASA
- Overingeniør **Bjarne Bøe**  
Fiskeridirektoratet
- Forsker **Astrid-Mette Husøy**  
Laboratorium for klinisk biokjemi, Haukeland Sykehus
- Professor **Bernt Jones**  
Institusjonen för klinisk kjemi, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala, Sverige
- Forsker **Hilde Olerud**  
Statens Strålevern
- Professor **Einar Sagstuen**, programstyrets leder  
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo
- Professor **Brit Salbu**  
Laboratorium for analytisk kjemi, Norges Landbrukshøgskole
- Rådgiverne **Kirsten Broch Mathiesen**, **Terje Mørland** og **Tom Skyrud**  
Norges forskningsråd, Område for miljø og utvikling,  
har fungert som kontaktpersoner i forskningsrådet
- Forsker/stipendiat **Ellen Roll**,  
Statens strålevern
- Forsker **Nina Jonsson**, NINA-NIKU, og
- Forsker **Hartvig Christie**, NINA-NIKU  
har fungert som programmets *eksterne koordinører*

Overlege Marie S. Buchmann trakk seg fra programstyret pr. 08.10.1996.

Professor Einar Sagstuen og seksjonsleder/stipendiat Tone D.S. Bergan ble gjenoppnevnt som medlemmer av programstyret for ProFo i februar 1998.

**VEDLEGG 2: PROSJEKTPORTEFØLJE**

Løpenummer/ Prosjektleder	Institusjon	Prosjekt-tittel	1996	1997	1998	1999	2000
112156 Hoff, Per	UiO	Moderne separasjonsmetoder for transuraner	–	217	355	385	136,7
112227 Ulf Tveten	IFE	Flypersonell, kosmisk stråling og kreft	50	–	–	–	–
112228 Torbjørn Forseth	NINA NIKU	Omsetting av radiocesium i ferskvannsfisk og invertebrater	124	249	–	–	–
112229 Jon B. Reitan	Statens Strålevern	Tidlige cellulære reaksjoner etter bestråling som biologiske dosimetre eller markører	240	535	349,6	388,4	–
112230 Tor Haldorsen	Kreft-registeret	Kosmisk stråling og kreftrisiko blandt flygere og kabinansatte	110	–	–	–	–
112234 Eldar Gaare	NINA NIKU	<sup>137</sup> Cs i næringskjeden hos norske hjortedyr, en sammenliknende studie	186,4	271,6	–	–	–
112235 John E. Brittain	UiO	Radioøkologiske studier av høyfjellsøkosystemet, Øvre Heimdalsvann	109,6	437,9	311,5	–	–
112254 Deborah H. Oughton (fortsetter ut 2002)	NLH	Bestemmelse av transuraner og mobile tilstandsformer	249,8	358,8	326,7	39	–
112257 Brit Salbu	NLH	Modellutvikling for konsekvensvurdering av radioaktiv forurensning i nordlige havområder	239,5	593,8	630	660	–
112258 Per Strand	Statens Strålevern	Varighet av radioaktiv forurensning i utmark	300	250	187,5	312,5	–
112269 Rolf A. Olsen	NLH	Bioerosjon og opptak av naturlige og antropogene radionuklider i forskjellige matsopper	60	342	342	–	–
112354 Eli O. Hole	UiO	Klinisk, industriell og retrospektiv katastrofedosimetri ved ESR spektroskopi	60	48,7	50	25	–

Løpenummer/ Prosjektleder	Institusjon	Prosjekt-tittel	1996	1997	1998	1999	2000
112636 Per Varskog	IFE	Modellering av overføringsprosesser mellom elvesedimenter og biologiske komponenter	231	331,2	278,8	293	–
113617 Eldar Gaare	NINA NIKU	Sammenhengen mellom diettvariasjon og hjortens ( <i>Cervus elaphus</i> ) radiocesiumbelastning	–	29,7	133,9	–	–
113625 og 135194 Johan Moan	DNR/UiO	Mekanismer for biologisk skade av UVA stråling og fotokjemoterapi	–	306,5	358,4	310	270
113706 Lars Føyn	HF	Transport og akkumulering av radionuklider i næringskjeder i Barentshavet	–	55	835	545	347,1
113719 Dag Berge	NIVA	Radionuclide fluxes in freshwater	–	140	140	140	–
121441 Per Strand	Statens Strålevern	Sårbarhetsanalyse ved radioaktiv forurensning	–	–	337,5	512,5	400
127520 Ola Ugedal	NINA NIKU	Omsetting av radiocesium i ferskvannsfisk	–	–	–	248	247
129079 Eli O. Hole (varighet tom 2002)	UiO	Industriell, cellebiologisk og retrospektiv dosimetri ved EPR spektroskopi	–	–	–	581,2	380
135370 Stein Erik Lauritzen (varighet tom 2002)	UiB	Radonemanasjon og geokjemiske prosesser – en prediktiv modell for potensiell anriking av Ra og U					411
134118 Per Strand (varighet tom 2002)	Statens Strålevern	Opptak og omsetning av radioaktive stoffer og tungmetall i reinsdyr				510	
Administrasjon	Miljø og utvikling	–	227,6	216,5	230,6	206	ca 220*
Totalt 1996- 2000: 19104,8			2187,9	4482,9	4866,6	4645,6	2921,8

\* De eksakte regnskapstallene for administrasjonsutgifter for 2000 foreligger ikke enda.

### VEDLEGG 3: POPULÆRVITENSKAPELIGE SAMMENDRAG

Her presenteres populær-vitenskapelige sammendrag fra endel «nøkkelprosjekter» i programmet. Dette er prosjekter med en høy grad av vellykkethet og med resultater av klar betydning for forskning, samfunnet, og forvaltningen. Mer detaljerte redegjørelser for de faglige resultatene fra de ulike prosjektene finnes i prosjektenes sluttrapporter til Norges forskningsråd og i de publiserte arbeidene fra prosjektene.

#### **Prosjekt 113706/720 Lars Føyn:** **Transport og akkumulering av radio-** **nuklider i næringskjeder i** **Barentshavet.**

Våre nordlige havområder har blitt tilført menneskeskapt radioaktivitet i et halvt hundreår. Noen av de viktigste kildene er nedfall fra kjernefysiske prøvesprengninger på 50- og 60-tallet, utslipp fra de europeiske gjenvinningsanleggene for brukt kjernefysisk brensel, Sellafeld og La Hague, og dumping av radioaktivt avfall i Barentshavet. Barentshavet er et av de viktigste havområdene for norske fiskerier med årlige fangster på 2-3,5 millioner tonn fisk. Nivåene av menneskeskapt radioaktivitet i sjøvann og fisk i alle norske havområder er per i dag lave. Fisk i Skagerrak og Nordsjøen inneholder imidlertid generelt høyere nivåer enn fisk i Norskehavet og Barentshavet. Vi har påvist en svak økning i nivåene av menneskeskapt radioaktivitet oppover i de forskjellige leddene i næringskjeden. Dette prosjektet har bidratt til økt kunnskap om nivåer og prosesser for overføring av radioaktivitet til fisk, og kompetansen til Havforskningsinstituttet innen fagområdet er betydelig styrket. Videre innsats på dette området, både når det gjelder overvåking og forskning, vil være av stor betydning for den norske fiskerierhvervets troverdighet overfor markedene i utlandet og hjemme.

#### **Prosjekt 112235/720 John E. Brittain:** **Radioøkologiske studier av høyfjell-** **søkosystemet, Øvre Heimdalsvann**

Et radioaktivt nedfall kan skape alvorlige problemer for drikkevannsforsyning og konsum og salg av ferskvannsfisk. Det er derfor behov for inngående kunnskap om transport, biologisk opptak og lagring av radioaktive stoffer i elver og innsjøer. Øvre Heimdalsvatn, øverst i Valdres, er en av landets best undersøkte innsjøer og derfor en viktig referanse for miljøendringer. I 1986 fikk området et radioaktivt nedfall fra Tsjernobylulykken og det ble umiddelbart satt i gang studier av radioaktiv forurensning da det var svært lite kunnskap om virkningen på ømfintlig høyfjellsnatur. Både kort- og langtidsvirkning av nedfallet har vært studert. Det er spesielt viktig å ha måleserier over lang tid for radioaktive stoffer både i vann, på land og i planter og dyr.

Siden 1986 har det funnet sted en omfordeling av radioaktive stoffer i Øvre Heimdalen. Nå er det meget lite av radioaktive stoffer i selve vannet, og over tid er det blitt adskillig mindre i fisken. I dag finnes mesteparten av radioaktiviteten enten i innsjøens bunnslam eller i omkringliggende landarealer. Dette betyr at kunnskap om muligheten for frigjørelse fra innsjøens bunnslam eller fra landområdene er uhyre viktig. Binding og lekkasje av radioaktive stoffer, først og fremst radiocesium og radiostrontium, er derfor gjenstand for studier både ute i naturen og ved å ta materiale inn i laboratorium. En frigjøring av radioaktive stoffer kan finne sted enten ved fysisk-kjemiske prosesser eller gjennom planter og dyr som har evne til å ta opp slike stoffer og gjøre dem til-

gjengelige. I laboratoriestudier er det vist betydelige forskjeller mellom ulike radioaktive stoffer; noen er mer bundet enn andre og er dermed mer vanskelig tilgjengelig.

Slike studier er bare mulig gjennom et bredt faglig samarbeid mellom forskere fra flere institusjoner. Foruten Universitetet i Oslo deltar forskere fra bl.a. Laboratorium for analytisk kjemi, NLH, Institutt for energiteknikk, Norsk institutt for naturforskning, Statens institutt for folkehelse og Forsvarets forskningsinstitutter på Kjeller og i Umeå.

Gode og lange dataserier etter et radioaktivt nedfall er mangelvare og felldata fra Øvre Heimdalen har vært anvendt i oppbygging og for å teste gyldighet av flere prognosemodeller for virkning av radioaktivt nedfall. I regi av EUs strålevernprogram brukes nå data fra Heimdalen til å utvikle et edb-basert verktøy som kan bistå myndigheter i å velge den beste tiltaksløsning ved et eventuelt radioaktivt nedfall på et vassdrag, og som tar hensyn både til de økonomiske-, miljø- og samfunnsmessige konsekvenser av ulike tiltak.

### Prosjekt 112258/720 Per Strand: Varighet av radioaktiv forurensning i utmark

Etter Tsjernobyl-ulykken ble store deler av Norge forurenset av radioaktivt cesium. Selv tretten år etter ulykken er det betydelige konsentrasjoner av radiocesium i utmark. Mengden radioaktivitet som tas opp i vegetasjonen avhenger av mengde nedfall fra ulykken og jordtypen på stedet. Jord med mye leire vil over tid fiksere mer radiocesium enn andre jordtyper, og dermed gjøre det utilgjengelig for planteopptak. Geiter og sauer som beiter på utmark vil ta opp radioaktivt cesium i kroppen. Dette forurenser både melk og kjøtt. Graden og varigheten av forurensningen i dyra vil avhenge av lokale variasjoner i beiteplanter og jordtype, samt dyrenes varierende metabolisme. For småfe er den effektive økologiske halveringstiden beregnet til henholdsvis 7 og

10 år for søyer og lam. For geitemelk er den effektive økologiske halveringstiden beregnet til 13 år for perioden 1987-1999. Tilsvarende for tamrein i Vågå kommune er den biologiske halveringstiden for radiocesium i røde blodceller ca 3 år for høstmålinger, og ca 4 år for vintermålinger. Sesongvariasjonen skyldes at reinen om vinteren beiter mest lav som inneholder betraktelig mer radioaktivitet enn grønne planter på sommerbeitet. Føringforsøk på reinkalver har vist at ca 1/3 av det radioaktive cesiumet i reinlav er tilgjengelig for opptak i dyra.

Sopp bør vies spesiell oppmerksomhet, da den tar opp radioaktivt cesium svært effektivt, antagelig ved å biologisk frigjøre bundet cesium fra jorda. År med mye sopp på utmarksbeite fører til spesielt høye verdier av radiocesium i dyra på høsten. Det har ikke vært noen betydelig nedgang i radioaktiviteten i sopp siden 1990. Dermed er det ikke mulig å angi hvor lenge sopp vil være en betydelig overføringsfaktor for radiocesium fra jord til beitedyr.

*Hovedkonklusjoner:* Innholdet av  $^{137}\text{Cs}$  i mange sopparter som er viktige som mat for beitedyr, viser ingen synkende trend over tid. For utmarksbeiter med mye sopp, vil derfor soppforekomsten være den viktigste faktor som påvirker varighet av radiocesium i dyr som beiter på utmark. Andre steder vil de viktigste faktorene være variasjon i jordparametere og vertikal migrasjon nedover jordprofilen. Bedre jordkarakterisering kan gi verdifulle innspill til prognoser for overføringsfaktorer. Forsøk viser at  $^{137}\text{Cs}$  i lav er mindre bio-tilgjengelig for opptak enn frie cesiumioner. Hos reinsdyr gir både lav og sopp viktige bidrag til inntaket av  $^{137}\text{Cs}$  gjennom beitesesongen. Den økologiske halveringstiden er ikke en konstant størrelse og ser ut til å øke med økende antall år siden Tsjernobyl-ulykken. Halveringstiden vil dermed være lenger for perioden 1996-1999 enn for perioden 1987-1999.



### **Prosjekt 112254/720 Deborah Oughton : Bestemmelse av transuraner og mobile tilstandsformer (ikke avsluttet)**

Etter Tsjernobyl-ulykken er den nasjonale radiologiske kompetanse for radiocesium nådd et internasjonalt nivå.

Kunnskapshullene angående transuraner som Pu- og Am-isotoper er imidlertid store, både når det gjelder kvalitetssikrede analyser, kildekarakterisering, tilstandsformer, bindingsforhold i jord (sedimenter) og overføring til ulike næringskjeder. De norske utmarksområdene har vist seg å være sårbare ved Cs-nedfall og varigheten er lang. Denne problemstillingen er også relevant for plutonium som har en meget kompleks kjemi. I lave oksidasjonstilstander antas Pu å være sterkt bundet til leire, mens binding til organisk materiale øker mobiliteten. Dessuten antas  $^{241}\text{Am}$  (alfa), dannet fra  $^{241}\text{Pu}$  (beta), å være mer mobil enn Pu. Kunnskap om i hvor stor grad det radioaktive nedfallet forblir bundet i jord («sink») eller om forurenset jord vil fungere som en diffus mobil kilde er avgjørende for vurdering av transport og biologisk opptak av et nedfall. For å skille mellom sivile kilder (kjernekraft) og militær virksomhet (våpen) er det også nødvendig å bestemme forholdet mellom ulike Pu-isotoper.

Samarbeidet mellom Norges landbruks-høgskole og Statens strålevern omfatter videreutvikling og kvalitetssikrede analyser av alfa-Pu og Am og forenklete prosedyrer for beredskapsmessige formål. Dessuten vil isotopforholdet  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  bestemmes. I tillegg utføres studier av Pu-isotopers mobilitet i jord og sediment.

### **Prosjekt 112354/720 Eli O. Hole: Klinisk, industriell og retrospektiv katastrofedosimetri ved ESR spektroskopi, Prosjekt 129079/720 Eli O. Hole: Industriell, cellebiologisk og retrospektiv dosimetri ved ESR spektroskopi (ikke avsluttet)**

Ved all bruk av ioniserende stråling, det være seg stråleterapi, røntgendiagnostikk,

desinfisering og sterilisering av emballasje og utstyr, bestråling av krydder for å drepe salmonella, eller andre industrielle anvendelser er det viktig å ha kontroll på strålingsmengden (*stråledosen*). Det finnes en rekke ulike dosimetrimetoder som alle har sine fordeler og ulemper, avhengig av bestrålingssituasjonen og hvilke stråledoser som skal måles. ESR-dosimetri er en metode hvor stabile strålingsinduserte radikaler, målt ved Elektron Spinn Resonans (ESR) spektroskopi, benyttes som mål for den absorberte dosen.

Forskningen knyttet til ESR-dosimetri ved ESR-laboratoriet ved Fysisk institutt ved universitetet i Oslo, spenner fra basal forskning på dosimetrimaterialenes strålingsfysiske og strålingskjemiske egenskaper, til samfunnsnyttige anvendelser av metoden knyttet til forvaltningens overvåking og kvalitetssikring av strålebruk ved norske sykehus.

Hovedvekten av ESR-dosimetri prosjektet har vært relatert til ESR/alanin dosimetri der det er aminosyren *alanin* som benyttes som dosimeter. Alanin har en rekke egenskaper som er svært gunstige for et dosimetrimateriale, og anses derfor for å være et av de beste dosimetrimaterialene for ESR-dosimetri.

Et av de viktigste resultatene innen prosjektets basalforskningsdel er identifikasjonen av et tidligere ukjent strålingsindusert stabilt radikal i alanin, samt bestemmelsen av dets molekylære struktur. Denne identifikasjonen kan ha viktige følger for optimalisering av ESR/alanin metodens presisjon spesielt når det gjelder lave doser, og vi er i full gang med detaljstudier av dette nyoppdagede produktet.

På den mer anvendte siden av ESR-dosimetriprosjektet er det bruken av metoden innen radiobiologiske celleforsøk, samt forsøkene knyttet til medisinsk stråleovervåking som har gitt de viktigste resultatene så langt. I samarbeid med Statens Strålevern har vi undersøkt ESR/alanin-metodens potensiale som en alternativ dosimetrimetode for overvåking av sykehusenes bestrålingsfasiliteter. I den forbindelse er doseresponsens energivhengighet studert i samarbeid med National Research Center i Ottawa,

Canada, og resultatene så langt er svært positive. En annen medisinsk anvendelse av metoden knytter seg til modellstudier av dosefordelinger i forbindelse brachyterapi, dvs stråleterapi der strålekilden er plassert inne i kroppen. I dette studiet som er gjort i samarbeid med dosimetrimiljøer i Sverige har vi brukt av alaninfilmer i kombinasjon med alanin/agarose gel. Metoden har vist seg å være svært lovende. En tredje anvendelse, knyttet til radiobiologiske cellestudier, ble utført i samarbeid med Radiumhospitalet. Tynne alaninfilmer muliggjør en svært presis dosemåling på mikrometer nivå, og slik dosimetri i radiobiologiske forsøk med cellekulturer har vist oppsiktsvekkende resultater, både med hensyn på hvilke vekselvirkninger som finner sted i mediet og med hensyn på absoluttdosimetrien.

**Prosjekt 113625/720 Johan Moan: Mekanismer for biologisk skade av UVA stråling og fotokjemoterapi. Prosjektet fikk en mindre tilleggsbeviling: Prosjekt 135294/720 Johan Moan: Mekanismer for biologisk skade av fotodynamisk behandling og UVA stråling**

Langbølget ultrafiolett stråling (UVA) inaktiverer celler ved at strålingen absorberes av molekyler som finnes inne i cellene. Disse molekylene danner bl.a. giftige oksygenforbindelser som dreper cellene. Fotodynamisk behandling av kreft virker på omtrent samme måte, men her tilsettes fargestoffer som absorberer synlig lys i stedet for å bruke cellens egne molekyler. Ved fotodynamisk behandling eller UVA bestråling av celler som ligger tett inntil hverandre har vi vist at celler dør i klynger. Dette betyr at det ikke kan være bare den direkte absorpsjonen av UVA strålingen eller lyset som inaktiverer cellene. Da ville nemlig de døde cellene være tilfeldig fordelt i cellelaget. For å begå et slikt kollektivt selvmord må cellene ha kommunisert med hverandre under bestrålingen. En måte naboceller kan kommunisere på er å sende signalmolekyler gjennom proteinrør («gap junctions»)

mellom cellene. Vi har stengt av «gap junction» kommunikasjonen, men allikevel observert samme grad av kollektivt selvmord (apoptose) som før. Konklusjoner: 1) Nabodrapseffekten skyldes ikke kommunikasjon via «gap junctions», 2) Mekanismene for kollektivt celledselvmord etter fotodynamisk behandling eller UVA-bestråling er fremdeles ukjent.

**Prosjekt 112227/720 Ulf Tveten: Flypersonell, kosmisk stråling og kreft og Prosjekt 112230/720 Tor Haldorsen: Kosmisk stråling og kreftrisiko blandt flygere og kabinansatte**

Flypersonell er en yrkesgruppe som er eksponert for radioaktiv stråling i sitt arbeidsmiljø. Den kosmiske stråling, har i typiske flyhøyder ca 100 ganger sterkere intensitet enn på bakkenivå. Dette faktum utnyttes i prosjektet til å utføre en epidemiologisk undersøkelse av sammenhengen mellom lave stråledoser og forekomst av kreft.

I 1992 fikk prosjektet midler fra EUs Strålevernprogram, tredje rammeprogram (1992 - 1995). En prosjektgruppe bestående av IFE, Krefregisteret og Statens Strålevern ble dannet. Samtidig ble mulighetene for å utvide prosjektet til å omfatte flere europeiske land undersøkt. Resultatet var at det ble dannet en nordisk og en europeisk prosjektgruppe. Grunnen til at det ble to, er at de nordiske landene kan gjennomføre en undersøkelse på kreft-tilfeller, mens de andre landene bare kan framskaffe kreft-dødsfall. Det europeiske prosjektet omfatter landene Tyskland, Norge, Danmark, Finland, Nederland, Italia og Hellas. Skjønt initiativet til det europeiske prosjektet kom fra IFE, og partnerskapet ble bygget opp av IFE, måtte prosjektlederavert overføres til Tyskland fordi Norge ikke kom med i EU.

De utvalgte studieenheter består av alle flyvere som har vært yrkesaktive i Norge siden 1947 (3701 personer), og alt kabinpersonale som har vært yrkesaktive i Norge siden 1950 (3743 personer, hvorav 599 menn). Tre uavhengige kilder har blitt brukt til å identifisere studieenheter:

Luftfartsverkets lisensregister, registeret i Legenemda for flyvere, og SAS' såkalte senioritetslister. All relevant informasjon om hver enkelt person er lagt inn i en database.

Vurderingen/beregningen av den individuelle stråleeksponering er først og fremst basert på de innrapporterte antall flytimer mellom hver lisensfornyelse (hvert år for yngre flyvere; hvert halvår for eldre flyvere), som for piloter har blitt tatt ut av Luftfartsverkets lisensregister. Der finnes også opplysninger (noe ufullstendige) om hvilken flytype som er fløyet og for hvilket selskap. Supplerende informasjon er hentet fra andre registre som nevnt ovenfor. Arbeidet med vurderingen av eksponeringen forenkles ved det faktum at yrkespiloter flyr bare én bestemt flytype i hver fase av karrieren.

SAS' rutetabeller tilbake til 1955 (før kommersielle jettflyvinger) er analysert for å finne hvilken andel av flyvingene som er fløyet med de forskjellige flytyper, ruter av forskjellig lengde og i forskjellige geografiske områder. Stråledosen er beregnet med et data-program som er stilt til rådighet (og tilpasset prosjektets behov) av USA's Federal Aviation Authority, Oklahoma City. Dette dataprogrammet beregner stråledosen langs enhver flyving (definert ved avgangs- og ankomst-flyplass, «light-profil» og tidspunkt). Tidspunktet er av en viss viktighet da intensiteten av den kosmiske stråling varierer fra år til år. Korreksjon for dette er lagt inn i dataprogrammet. «Flight-profilene» (hvilke høyder flyvingen har foregått i og hvor lenge i hver flyhøyde etc.) ble definert for bruk i prosjektet av medlemmer av de norske, danske og belgiske pilotforeningene.

For kabinpersonalet er ikke antallet flytimer registrert på samme måte som for piloter. Dessuten kan kabinpersonalet fly mange forskjellige flytyper og vidt forskjellige ruter innen samme år/måned/uke. Men det finnes opplysninger om ansettelsesdato og eventuell sluttdato for hver person og disse data er brukt som et grovt uttrykk for størrelsen på stråleeksponering, selv om dette er et vesentlig grovere estimat enn det som er utført for pilotene.

Sent i prosjektperioden ble det klart at SAS hadde detaljerte data (flytimer fordelt på flytyper for hver flyging, også summert for hver måned og for hvert år) tilbake til 1977. Disse er nå (mars 2001) lagt inn i databasen, og en ny eksponeringsevaluering for de kabinansatte i SAS (ca 1400 personer) vil bli utført.

Kobling mellom de to gruppene (piloter og kabinansatte) og Krefregisteret er utført med oppfølging til og med 1996. Analysen av resultatene er også utført. Resultatene for pilot-gruppen ble publisert i år 2000. Konklusjonen er at kreftrisikoen ikke avviker fra den i den norske befolkningen generelt, med ett unntak: hudkreft. Årsaken til den høye forekomsten av hudkreft skyldes derimot sannsynligvis ikke ioniserende stråling, men heller hyppige opphold på steder der det er naturlig å besøke strender. Resultatene for kabingruppen (mannlige og kvinnelige er analysert hver for seg) er akseptert for publikasjon i år 2001. Ved sine konkrete resultater bidrar prosjektet til å redusere frykten for den mulige kreft- framakallende virkning av kosmisk stråling under flyreiser. Sammenhengen mellom lave stråledoser og eventuelle helseskader er ikke kjent. Når slike helseskader tallfestes (og det skjer ofte), så er det på basis av rene antagelser (ekstra-polasjon fra høye stråledoser). Prosjektet gir et viktig bidrag til økt kunnskap om helsevirkningen av lave stråledoser.

## VEDLEGG 4: PUBLIKASJONSLISTE

Denne listen over publikasjoner er helt og holdent basert på prosjektenes rapportering til Norges forskningsråd. Dette omfatter i hovedsak prosjektenes sluttrapporter, eller der hvor sluttrapport ikke foreligger, de siste framdrifts-rapportene. Det er ikke gjort noen systematiske forsøk på oppdateringer eller rettelser utover dette. Prosjektbeskrivelser, framdriftsrapporter, sluttrapporter og registrerte publikasjoner kan også i noen utstrekning lokaliseres på Den Nasjonale Forsknings-informasjons (NFI's) database ved Norsk Samfunnsvitenskapelig Datatjeneste (NSD), Universitetet i Bergen. Web-adressen til denne databasen er <http://www.nsd.uib.no/nfi/>

#### A. Artikler i internasjonale tidsskrifter med referee:

##### Amundsen, I., Gulden G., Strand P.

*Accumulation and long term behaviour of radiocesium in Norwegian fungi. Sci. Total Environ*, **184**, 163-171 (1996).

**Bagdonas, S., et al.**, *Cooperative effects of UVA radiation. Radiation Res.* (In press).

**Bergstrand, E.S., Hole, E.O., Sagstuen, E.**, *A simple method for estimating dose uncertainty in ESR/Alanine dosimetry. Appl. Radiat. Isotopes* **49**, 845-854 (1998).

**Buseth, E., Oughton, D.H.**, *A comparison of three sample introduction systems for the determination of plutonium isotopes using ICP-MS. J. Atom. Abs. Spectr.* (In press).

**Christensen, G.C., Bergan, T.D.S., Berge, D., Bækken, T.**, *A Comparison of sea-water and fresh water in a study of sediment-water exchange of radionuclides. Radiat. Prot. Dosimet.* **75**, 107-109 (1998).

**Dahle, J., et al.**, *Cooperative effects of photodynamic treatment of cells in microcolonies. Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America.* **94**, 1773-1778 (1997).

**Dahle, J., et al.**, *Gap junctional intercellular communication is not a major mediator in the bystander effect in photodynamic inactivation of cells. Biochim. Biophys. Acta.* **154**, 273-280 (2000).

**Dahle, J., et al.**, *The bystander effect in photodynamic inactivation of cells. Biochim. Biophys. Acta.* **1475**, 273-280 (2000).

**Dahle, J., Steen, H. B., Moan, J.**, *The mode of cell death depends on cell density. Photochemistry and Photobiology* (In press).

**Day, J.P., Fifield, L.K., Oughton, D.H.**, *Accelerator mass spectroscopy determination of plutonium isotopes. Analyst* (Submitted)

**Forseth, T., Ugedal, O., Næsje, T.F., Jonsson, B.**, *Radicesium elimination in fishes: variation among and within species. J. Appl. Ecol.* **35** (6), 847-856 (1998)

**Furre, T., Bergstrand, E.S., Pedersen, E., Koritzinsky, M., Olsen, D.R., Hole, E.O., Pettersen, E.O.**, *Measurement of dose rate at the interface of cell culture medium and glass dishes by means of ESR dosimetry using thin films of alanine. Radiat. Res.* **152**, 76-82 (1999).

**Føyn, L., Heldal, H. E., Sværen, I.**, *The Barents Sea, distribution and fate of radioactive contaminants. Proceedings, International Symposium on Marine Pollution, Monaco, 5-9 October 1998. IAEA-TECDOC-1094, International Atomic Energy Agency, July 1999, pp. 471-474.*

**Haldorsen, T., Reitan, J.B., Tveten, U.**, *Cancer incidence among Norwegian airline pilots. Scand. J. Work Environ. Health* **26**, 106-111 (2000).

**Haldorsen, T., Reitan, J.B., Tveten, U.**, *Cancer incidence among Norwegian airline cabin attendants. Int. J. Epidemiol.* (Accepted).

**Hammer, G.P., Zeeb, H., Tveten, U., Blettner, M.**, *Comparing different methods of estimating cosmic radiation exposure of airline personnel. Radiat. Environ. Biophys.* **4**, (In press).

**Heldal, H. E., Kershaw, P. J., Mork, K. A.**, *Technetium-99: a renewed transient tracer of Nordic Seas and Arctic circulation. Deep-Sea Res.* (Submitted).

**Heldal, H. E., Stupakoff, I., Fisher, N. S.**, *Bioaccumulation of <sup>137</sup>Cs and <sup>57</sup>Co by five marine phytoplankton species. J. Environ. Radioact.* **57** (3), 231-236 (2001).

- Heldal, H. E., Varskog, P., Føyn, L.,** *Distribution of selected anthropogenic radionuclides ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$  and  $^{241}\text{Am}$ ) in marine sediments with emphasis on the Spitsbergen-Bear Island area. Sci. Total Environ. (Accepted).*
- Heldal, H.E., Føyn, L., Varskog, P.,** *Bioaccumulation of  $^{137}\text{Cs}$  in pelagic food webs in the Norwegian and Barents Seas, J. Environ. Radioact. (Submitted).*
- Hongve, D., Brittain, J.E. & Bjørnstad, H.E.,** *Aquatic mosses as a monitoring tool for  $^{137}\text{Cs}$  contamination in streams and rivers – a field study from central southern Norway. J. Environ. Radioact. (In press).*
- Howard B., Wright S., Barnett S., Skuterud L. Strand P.,** *Estimation of critical loads for radiocesium in Fennoscandinavia and Northwest Russia. J. Environ. Radioact. (In press).*
- Håkanson, L.,** *A compilation of empirical data and variations in data concerning radiocesium in water, sediments and fish in European lakes after Chernobyl. J. Environ. Radioact. 44, 21-42 (1999).*
- Håkanson, L., Brittain, J.E., Monte, L., Bergström, U., Heling, R.,** *Modelling of radiocesium in lakes - lake sensitivity and remedial strategies. J. Environ. Radioact. 33, 1-25 (1996).*
- Håkanson, L., Brittain, J.E., Monte, L., Heling, R., Borgström, U., Suolanen, V.,** *Modelling of radiocesium in lakes - the VAMP model. J. Environ. Radioact. 33, 255-308 (1996).*
- Jaworska, A., Sochanowicz, B.,** *Bcl-2/Bax ratio and radiation sensitivity in two L5178Y cell lines cross-sensitive to ionizing radiation and  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Radioprot. 32, C 1-200 (1997).*
- Jaworska, A., Szumiel, I., De Angelis, P., Olsen, G. Reitan, J.,** *Evaluation of ionizing radiation sensitivity markers in a panel of lymphoid cell lines. Int. J. Radiat. Biol. 77, 269-280, (2001).*
- Kennedy, V., Sanchez, A., Oughton, D. H., Rowland, A. P.,** *Use of single and sequential chemical extractants to assess radionuclide and heavy metal availability from soils for root uptake. Analyst, 122, 89R-100R (1997).*
- Mehli, H. et al.,** *The impact of Chernobyl fallout on the southern saami reindeer herders of Norway in 1996. Health Phys. , 79, 682-690 (2000).*
- Mehli, H., Skuterud, L.,** *The influence of fungi on the long term behaviour of radiocesium in Norwegian sheep. Sci. Total Environ. , 224, 9-17 (1998).*
- Monte, L., Håkanson, L., Bergström, U., Brittain, J. E., Heling, R.,** *Uncertainty analysis and validation of environmental models: the empirically based uncertainty analysis. Ecol. Model. 91, 139-152 (1996).*
- Nordlinder, S., Bergström, U., Brittain, J. E.,** *A general dynamic model of  $\text{Cs-137}$  turnover in Nordic lakes. J. Environ. Radioact. 37, 175-191 (1997).*
- Olsson, S., Bergstrand, E. S., Carlsson, Å. K., Hole, E. O., Lund, E.,** *Radiation Dose Measurements with Alanine/Agarose Gel and Thin Alanine Films around a  $^{192}\text{Ir}$  Brachytherapy Source, using ESR Spectroscopy. Phys. Med. Biol. (Accepted).*
- Oughton, D.H., Fifield, L.K., Day, J.P., Cresswell, R.C., Di Tada, M., Salbu, B., Skipperud, L., Strand, P., Mokrov, Y., Drozho, E.,** *Plutonium from Mayak: Measurement of isotope ratios and activities using accelerator based mass spectroscopy. Environ. Sci. tech. 34, 1938-1945 (2000).*
- Pukkala, E., Aspholm, R., Auvinen, A., Eliasch, H., Gundestrup, M., Haldorsen, T., Hammar, N., Hrafinkelsson, J., Kyyrönen, P., Lannersjö, A., Rafnsson, V., Storm, H., Tveten, U.,** *Cancer incidence among Nordic airline pilots. Br. Med. J. (Submitted).*
- Rios-Insua, S., Gallego, E., Mateos, A., Jiménez, A.,** *A decision support system for ranking countermeasures for radionuclide contaminated aquatic ecosystems: the MOIRA project. Umwelt-Informatik aktuell 23, 283-297 (1999).*
- Sagstuen, E., Hole, E.O., Haugedal, S.R., Nelson, W.H.,** *Alanine radicals: Structure determination by EPR and ENDOR of single crystals x-irradiated at 295K. J. Phys. Chem. A 101, 9763-9772 (1997).*
- Sagstuen, E., Hole, E.O., Haugdal, S.R., Lund, A., Enid, O.I., Erickson, R.,** *EPR and ENDOR analysis of x-irradiated L-Alanine and  $\text{NaHC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Simulations of microwave power dependence of satellite lines. Nukleonika, 42 (2), 353-372 (1997).*
- Salbu, B., Nikitin, A.I., Strand, P., Christensen, G.C., Chumichev, V.B., Lind, B., Fjellidal, H., Bergan, T.D.S., Rudjord, A.L., Sickel, M., Valetova, N.K., Føyn, L.,**

*Radioactive contamination from dumped nuclear waste in the Kara Sea – results from the joint Russian-Norwegian expeditions in the Kara Sea.* Sci. Total Environ. **257**, 81-93 (1997).

**Sidhu, R.S., Hoff, P.**, *Rapid determination of environmental plutonium in large water samples by measurement of MnO<sub>2</sub> co-precipitation and extraction chromatography separation.* Radiochim. Acta **84**, 89-93 (1999).

**Skipperud, L., Oughton, D.H. Salbu, B.**, *The impact of plutonium speciation on the distribution coefficients in a sediment-sea water system, and radiological assessment of doses to humans.* Health Phys. **79**, 147-153 (2000).

**Skipperud, L., Oughton, D.H. Salbu, B.**, *The impact of Pu-speciation in distribution coefficients in Mayak soil.* Sci. Total Environ. **257**, 81-93 (2000).

**Skuterud L., Bergan T., Mehli H., Strand P.**, *Cesium-137 contamination in Saamis: 34 years of monitoring in Kautokeino, northern Norway.* (Submitted).

**Szumiel, I., Jaworska, A., Kapiszewska, M., John, A., Gradzka, I., Sochanowicz, B.**, *Differential induction of apoptosis in x-irradiated L5178Y sublines bearing p53 mutation.* Radiat. Environ. Biophys. **39**, 33-40 (2000).

**Tolley, K., Heldal, H.E.R.**, *Inferring ecological separation from regional differences in radioactivity in harbour porpoises (Phocoena phocoena).* Mar. Ecol. Prog. Ser. (In press).

**Tveten, U., Haldorsen, T., Reitan, J.B.**, *Cosmic radiation and airline pilots: Exposure pattern as a function of aircraft type.* Radiat. Prot. Dosimet. **87**, 157-165 (2000).

**Ugedal, O., Forseth, T., Jonsson, B.**, *A functional model of radiocesium turnover in brown trout.* Ecol. Applic. **7**, 3, 1002-1016 (1997).

#### **B. Artikler i andre vitenskapelige tidsskrifter, artikkelsamlinger, bøker eller antologier**

**Amundsen, I.**, *Sopp og radioaktivitet. Er det trygt å spise norsk sopp? Våre nyttevekster* **93** (3), (1998).

**Brittain, J. E., Bjørnstad, H. E., Sundblad, B., Saxén, R.**, *The characterization and retention of different transport phases of <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr in three contrasting Nordic lakes.* In Desmet, G. et al. (Eds) *Freshwater and estuarine radioecology.*

Elsevier, Amsterdam, Netherlands. 87-95, (1997).

**Hole, E.O.**, *Strålingsdosimetri ved hjelp av ESR spektroskopi.* Fra Fysikkens Verden, **60**, 52-57 (1998).

**Håkanson, L.**, *Transport and processes in fresh-water ecosystems.* In *Health impacts of large releases of radionuclides.* John Wiley & Sons, Chichester, U.K. 46-67 (1997).

**Oughton, D.H., Day, J.P., Fifield, L.K.**, *AMS determination of plutonium isotopes: methodology and applications.* In *Pu in the environment*, Environmental Radioactivity Series, Vol 1, Elsevier Science Ltd, UK (In press)

**Oughton, D.H., et al.**, *Determination of <sup>240</sup>Pu/<sup>239</sup>Pu isotope ratios in Kara Sea and Novaya Zemlya.* In Strand P., Jolle T. (eds.): *Environmental Radioactivity in the Arctic*, Østerås: NRPA, 26-29 (1999).

**Oughton, D.H., Skipperud, L., Salbu, B.**, *Analytical techniques for the determination of radionuclide species in natural waters, soils and sediments.* In S.S. Hecker, et al. (eds.): *Nuclear Physical methods in radioecological investigations of nuclear test sites*, NATO ASI Series 1. Disarmament Technologies, vol. 31. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 117-125 (2000).

**Sansone, U., Smith, J.T., Brittain, J.E.**, *Freshwater.* In Howard, B.J. (ed.) *Radioecological sensitivity forum.* Centre for Ecology & Hydrology, UK. 14-15 (2000).

#### **C. Bøker (monografier, lærebøker, antologier (red.))**

**Dahle, J.**, *Cell-to-cell interactions in photosensitized inactivation of cells.* Dr. scient-avhandling, University of Oslo. 53 pp, (2000).

**Harbitz, O., Skuterud, L.**, (redaktører), *Radioaktiv forurensning – betydning for landbruk, miljø og befolkning.* (2000).

**Håkanson, L.**, *Water Pollution.* Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands. 277 pp. (1999).

#### D. Publiserte foredrag fra internasjonale faglige møter

**Bagdonas, S., Moan, J., Dahle, J., Bech, Ø.,** *Cell cooperativity in PDT*. International Photodynamic Association, Semiannual Meeting, Nantes, (1998).

**Bredholt, K., et al.,** *Mikrokjerner og apoptose i humane lymfocytter*. In: Sjøgaard-Hansen, A.D. (red.): Proceedings. Nordic Society for Radiation Protection 12th ordinary meeting, Roskilde, Danmark: Risø National Laboratory, 181-184 (1999).

**Brittain, J.E., Bjørnstad, H.E.** . *A long-term study of radiocaesium transport to a subalpine lake from its catchment*. In Amiro, B. et al. Proc. Int. Symp. on Ionising Radiation, Stockholm, 213-217 (1996).

**Brittain, J.E., Håkanson, L., Bergström, U., Bjørnstad, H.E.**. The significance of hydrological and catchment processes for the transport and biological uptake of radionuclides in northern aquatic ecosystems. In Sand, K. & Killingtveit, Å. (eds) *Proc. 10th Int. Northern Research Basins Symposium & Workshop*: 201-217 (1996).

**Brittain, J.E., Monte, L., Gallego Diaz, E., Håkanson, L., Heling, R., Hofman, D.** . *The MOIRA project: methodologies for the development of a computerised decision support tool to restore radionuclide contaminated freshwater ecosystems*. In: Strand, P. & Jølle, T. (eds). Proc. 4th Int. Conference on Environmental Radioactivity in the Arctic, Edinburgh Scotland, 111-113 (1999).

**Dahle, J., et al.,** *Cooperative effects of photosensitized cell killing* In: Photochemotherapy of cancer and other diseases, SPIE. **3563**, 120-124 (1998).

**Heldal, H. E., Stupakoff, I., Fisher, N. S.,** *Bioaccumulation of <sup>137</sup>Cs and <sup>57</sup>Co by marine phytoplankton*. Proceedings, Nordic Society for Radiation Protection, 12<sup>th</sup> ordinary meeting, 23-27 August 1999, Skagen, Denmark. Risø National Laboratory, 147-150 (1999).

**Hongve, D., Brittain, J.E., Bjørnstad, H.E.** . *Aquatic mosses as a monitoring tool for radioactive fallout in lakes and rivers*. In: Strand, P. & Jølle, T. (eds). Proc. 4<sup>th</sup> Int. Conference on Environmental Radioactivity in the Arctic, Edinburgh Scotland, 203-205 (1999).

**Jaworska, A., de Angelis, P.,** *Evaluation of apoptosis and apoptosis proteins as possible markers of radiation at doses 0.1-2 Gy, in comparison to the micronucleus assay in three cell*

*lines*. IAEA-TECHDOC-976. 457-460 (1997).

**Jaworska, A., et al.,** *Apoptosis and other indicators of ionizing radiation at doses 1-2,0 Gy in five cell culture systems*. In: Sjøgaard-Hansen, A. D. (ed.): Proceedings. Nordic Society for Radiation Protection 12th ordinary meeting, Roskilde, Danmark: Risø National Laboratory, 301-304 (1999).

**Kershaw, P. J., Livingston, H. D., Povinec, P. P., Heldal, H. E.,** *Contrasting behaviour of artificial radionuclides in the pacific and other ocean basins: radionuclides as tracers of environmental change?*, 6<sup>th</sup> South Pacific Environmental Radioactivity Association (SPERA) Conference, Noumea, New-Caledonia, 19-23 June (2000).

**Salbu, B., Oughton, D.H., Strand, P.,** *Sources of radioactive contamination in the Mayak PA area, Southern Urals*. Proc. 2nd ISTC/SAC Seminar Large Scale Remediation, Snezhinsk. 31-38 (1999).

**Tveten, U., Haldorsen T., Reitan, J.B.,** *Airline crew, cosmic radiation and cancer. Status of the current norwegian study and the proposed european study*. In: Atmo-spheric Ozone Dynamics. Observations in the Mediterranean Region (Ed. Costas Varot-sos). NATO ASI Series 1: Global Environmental Change, Vol. 53. ISBN 3-540-62883-5. Springer Verlag Berlin Heidelberg New York (1997).

#### E. Andre rapporter samt foredrag fra faglig/vitenskapelige møter

**Amundsen, I., et al.,** *Present and potential contamination of the river system at Mayak PA*. International Symposium on Marine Pollution, October 5-9, Monaco. IAEA, Vienna (1998).

**Amundsen, I., Hove, K., Strand, P.,** *Transfer and long-term behaviour of <sup>137</sup>Cs in sheep at Tjøtta, Norway* (Proceedings, ISBN: 9979-60-351-1) 7. Nordiske Radio-økologi Seminar, Reykjavik, Island (1996).

**Appelgren, A., Bergström, U., Brittain, J.E., Gallego Diaz, E., Håkanson, L., Heling, R., Monte, L.,** *An outline of a model-based expert system to identify optimal remedial strategies for restoring contaminated aquatic ecosystems: the project «MOIRA»*. ENEA report RT/AMB/96/17. 46 pp. (1996).

**Bergstrand, E.S.,** *Can Alanine/ESR dosimetry provide quality assurance in radiation therapy?* 7<sup>th</sup> NorFA Workshop on EPR spectroscopy, Jyväskylä, Finland, August 29 – September 1 (1999).

- Bergstrand, E.S.**, *Clinical, industrial and retrospective ESR dosimetry*. Foredrag ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo, Desember (1996).
- Bergstrand, E.S.**, *ESR/alanindosimetri*. MedFysdagene '96, Oslo, November (1996).
- Bergstrand, E.S.**, *ESR-alanindosimetri for lineærakselleratorer – halvveis i målingene*. Invitert foredrag, Dosimetriforum, Trondheim, 8. november (1997).
- Bergstrand, E.S.**, *ESR-dosimetri - en oversikt over metoder og anvendelser*. Norsk Fysisk Selskaps Biofysikk møte, Hjerking, mars (1997).
- Bergstrand, E.S., Furre, T., Pettersen, E.O., Hole, E.O.**, *Application of ESR/alanine dosimetry for measuring doses in cell survival experiments*. Workshop on ESR dosimetry and radiation chemistry of solids, Kungs Starby, Vadstena, Sweden, 4-6 December (1997).
- Bergstrand, E.S., Furre, T., Pettersen, E.O., Hole, E.O.**, *Application of ESR/alanine dosimetry for measuring doses in cell survival experiments*. International Conference on Biodosimetry and 5th International Symposium on ESR Dosimetry and Applications. Obninsk, Russia, 22-26 June (1998).
- Bergstrand, E.S., Hole, E.O., Sagstuen, E.**, *EPR/alanine dosimetry: A simple method for estimating dose uncertainties*. Third European ESR Meeting, «Modern aspects of structure and dynamic investigations of paramagnetic systems by EPR». Leipzig, Germany, 24-29 August (1997).
- Bergstrand, E.S.**, *Kan Alanin/ESR-dosimetri brukes i forbindelse med stråleterapi?* Foredrag ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo, Oslo, 25. november (1999).
- Blytt, L.D., Steenhuisen, F., Borghuis, S., Skuterud L.**, *Definition and quantification of vulnerable areas in northern Norway*. 4<sup>th</sup> International Conference on Environmental Radioactivity in the Arctic, Edinburgh, 20-23 September (1999).
- Brittain, J.E., Håkanson, L., Gallego, E.** *Target ecosystems, key fish species, dose to biota and the impact and feasibility of countermeasures in aquatic systems*. In Monte, L. et al. (eds). The project MOIRA: a model based computerised system for management support to identify optimal remedial strategies for restoring radionuclide contaminated aquatic ecosystems and drainage areas – Final Report. ENEA RT/AMB/2000/13. 23-48 (2000).
- Buseth, E., Oughton D. H.**, *Determination of plutonium isotope ratios with ICP-MS*. 16th Nordic Atomic Spectroscopy and Trace Element Conference, August 12-14, Umeå, Sweden (1998).
- Børretzen, P.**, *Studies of water-sediment heavy metal interactions*. Hovedoppgave i radiokjemi, Institutt for kjemi og bioteknologi, Norges landbrukshøgskole, Ås (1998).
- Dahle, J.**, *Bystander effects in photodynamic treatment of cells*. Årsmøte NOFOFF (Norsk forening for fotobiologi og fotomedisin) (1999).
- Dahle, J.**, *Cooperative effects of PDT and UVA on cells in confluent monolayers*. American Society for Photobiology Annual Meeting, Utah (1998).
- Dahle, J.**, *Cooperative effects of photosensitized cell killing*. Society of Photo-optical Instrumentation Engineers (SPIE), Stockholm (1998).
- Dahle, J.**, *Mechanisms for biological damage induced by UVA radiation and photodynamic treatment*. ProFo Programseminar (1998).
- Engene, L. M.**, *Radioøkologiske studier i Øvre Heimdalsvatn - <sup>137</sup>Cs i ørret (Salmo trutta) og ørretens næringsdyr*. Hovedoppgave i fiskeforvaltning, Institutt for biologi og naturforvaltning, Norges landbrukshøgskole, Ås. 41 pp.+ vedlegg (1998).
- Fifield, L.K., et al.**, *Accelerator mass spectrometry of heavy elements (Tc, Np, Pu) at the Australian National University*. 13th International Conference on the Application of Accelerators, Denton, Texas, 7-10 November (1998).
- Forseth, T., Ugedal, O., Jonsson, B.**, *Radioaktivt cesium i ferskvann*. NINA Fagrapport 27, 1-23. (år)
- Gallego, E., Jiménez, F., Mateos, A., Ríos, A.**, *Contaminated aquatic ecosystems restoration: a case study*. Proc. Int. Workshop on decision analysis applications, Madrid, July (1997).
- Gallego, E., Jiménez, F., Mateos, A., Ríos, S.**, *MOIRA: a computerised decision support system for radionuclide contaminated aquatic ecosystems*. 23 Reunion Anual de la SNE. November (1997).
- Garmo, T. H.** *Variasjon i innhold av radioaktivt cesium i mjølk hjå geiter på fjellbeite 1986-1995*. (Fortrykk, ISSN: 0803-2173). Husdyrforsøksmøtet (1996).



- Garmo, T. H., Asper, N. P.**, *Radiocesium i geitemjølke og beiteplantar frå Griningsdalen 1996*, Rapport fra Institutt for Husdyrfag, NLH (1996).
- Garmo, T. H., Asper, N. P.**, *Radiocesium i geitemjølke og beiteplantar frå Griningsdalen 1997*, Rapport fra Institutt for Husdyrfag, NLH (1997).
- Garmo, T. H., Asper, N. P.**, *Radiocesium i geitemjølke og beiteplantar frå Griningsdalen 1998-1999*, Rapport fra Institutt for Husdyrfag, NLH (1999).
- Gradzka, I., Jaworska, A. Wojcik, A.**, *Application of pulse field gel electrophoresis in the studies of DSB repair after sublethal doses of x-rays*. In: Iwona Szamrej-Forys (ed.): Polish Society for radiation research, 11th meeting (år).
- Hammer, G., Zeeb, H., Tveten, U., Blettner, M.**, *Exposure to cosmic radiation: A comparison of several methods of exposure assessment in a cohort study on flying personnel*. 5<sup>th</sup> International Conference on High Levels of Radiation and Radon Areas: Radiation Dose and Health Effects, Munich, 4-7 September (2000).
- Haugedal S.R.**, *EPR-, ENDOR- og FSE studier av røntgenbestrålte enkrystaller av L-alanin*. Cand.Scient. oppgave i Fysikk, Universitetet i Oslo (1999).
- Haugedal, S.R., Hole, E.O., Sagstuen, E.**, *ESR-, ENDOR- and FSE studies of X-irradiated single crystals of L-Alanine*. Norsk Fysisk Selskaps Biofysikk møte Hjerking, Norway, 6-8 March (1997).
- Heldal, H. E., Tolley, K.**, *Regional differences in radioactive caesium in harbour porpoises (Phocoena phocoena)*. Miljøkjemisk Vintermøte, Hafjell, January-February (2001).
- Heldal, H.E.**, *Antropogen radioaktivitet i norske havområder*, ProFo forskerseminar (NFR), Lillehammer, 5.-7. mars (2001).
- Heydari, M., Hole, E.O., Sagstuen, E.**, *Dose-respons karakteristika av stabile strålings-induserte radikaler i alanin*. Semiannual meeting for Norwegian Biophysics, Kongsvold, Norway, 15-17 March (2001).
- Hole, E.O., Bergstrand, E.S.**, *EPR-dosimetri: Et nyttig redskap for radiobiologisk grunnforskning og offentlig strålevern*. Norwegian Research Council Workshop on Pollution: Sources, Distribution and Effects, Lillehammer, Norway, 5-7 March (2001).
- Hole, E.O., Bergstrand, E.S.**, *EPR-dosimetri: Fra grunnforskning til offentlig strålevern*. Semiannual meeting for Norwegian Biophysics, Kongsvold, Norway, 15-17 March (2001).
- Hole, E.O.**, *Clinical, industrial and retrospective dosimetry using EPR-dosimetry*. Norwegian Research Council Workshop on Pollution: Sources, Distribution and Effects. Oslo, Norway, 23-24 September (1998).
- Hole, E.O.**, *ESR-spectroscopy; a practical method for dose assurance, retrospective dosimetry, and detection of irradiated food stuff*. Invited lecture at: The Physics Department, University of Oslo, Oslo, Norway, 17 October (1996).
- Hole, E.O., Sagstuen, E., Haugedal, S.R., Nelson, W.H.**, *Stable radicals in irradiated alanine*. Invited lecture: Workshop on ESR dosimetry and radiation chemistry of solids, Kungs Starby, Vadstena, Sweden, 4-6 December (1997).
- Hole, E.O., Sagstuen, E., Haugedal, S.R., Nelson, W.H.**, *The nature of the two major alanine radicals. EPR and ENDOR studies of solid L-alanine x-irradiated at 295K*. International Conference on Biodosimetry and 5th International Symposium on ESR Dosimetry and Applications. Obninsk, Russia, 22-26 June (1998).
- Hove, K., Staaland, H., Holand, Ø., Gjøstein, H.**, *Changes in bioavailability of radiocesium from 1986 to 1998 in lichen contaminated by the Chernobyl accident*. X Arctic Ungulate Conference, Tromsø (1999).
- Howard, B. J. et al.** (editor) *Spatial analysis of vulnerable ecosystems in Europe: Spatial and dynamic prediction of radiocesium fluxes into European foods (SAVE)*. Final report for the Commission of European Communities (1999).
- International Atomic Energy Agency (IAEA)**, *Modelling of the transfer of radiocesium from deposition to lake ecosystems*. IAEA-Teccdoc-1143. 343 pp. (2000).
- Iosjpe, M., Mehli, H., Skuterud, L., Blytt, L.D., Borghuis S., Strand P.**, *Distribution of dose from ingestion of <sup>137</sup>Cs via lamb meat in Norway*. 4<sup>th</sup> International Conference on Environmental Radioactivity in the Arctic, Edinburgh, 20-23 September (1999).
- Iosjpe, M., Strand, P., Salbu, B.**, *Estimations of significance of some processes for modelling of consequences from releases in the Arctic Ocean*. Third international conference on environmental radioactivity in the Arctic. Tromsø Extended abstract, 74-75 (1997).

**Jaworska, A.**, *Proficiency for NFkappaB induction after x-irradiation in five lymphoid cell lines*. European Radiation Research 2000. 30<sup>th</sup> Annual meeting of the European Society for Radiation Biology. Warszawa, 27-31 August (2000).

**Kershaw, P., Føyn, L., Christensen, C., Leonard, K., Heldal, H. E., Varskog, P.** *The transfer of Tc-99 from Sellafield to the Arctic*. IUGG 99 Birmingham IAPSO Symposium, July (1999).

**Liland A, Amundsen I., Bergan T.D.**, *13 years of <sup>137</sup>Cs monitoring in meat and milk during the outdoor grazing period in Norway*. 8<sup>th</sup> Nordic Seminar on Radioecology, Rovaniemi, Finland, 25-28 February (2001).

**Liland, A., Skuterud, L., Bergan T., Forseth T., Gaare E., Hellstrøm T.**, *Overvåkning av radioaktiv forurensning i næringsmidler og det terrestre miljø 1986-1998*. Strålevern Rapport 1 (2001).

**Lund, A., Erickson, R., Eid, O.I., Hole E.O., Sagstuen, E.**, *EPR and ENDOR analysis of X-irradiated L-Alanine and NaHC<sub>2</sub>O<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O. Simulations of microwave power dependence of satellite lines*. 2nd International Conference of the Polish EPR Association, «Electron Paramagnetic Resonance of Radicals and Metal Complexes». Warsaw, Polen, 9-13 September (1996).

**Lund, A., Erickson, R., Eid, O.I., Hole, E.O., Sagstuen E.**, *EPR and ENDOR analysis by simulation in disordered and single crystal matrices: Influence of strong nqi and microwave power*. NorFA Workshop on Biological Applications of EPR Spectroscopy, Granavolden, Hadeland, Norway, 26-28 August (1996).

**Moan, J.** *Cooperative effects in PDT*. American Society for Photobiology, Annual meeting, Missouri (1997).

**Monte, L., Brittain, J.E., Håkanson, L., Gallego Díaz, E.** *MOIRA models and methodologies for assessing the effectiveness of countermeasures in complex aquatic systems contaminated by radionuclides*. ENEA report RT/AMB/99/1. 150 pp. (1999).

**Monte, L., Håkanson, L., Brittain, J.E. (eds)**. *Prototype models for the MOIRA computerised system*. ENEA report RT/AMB/97/5. 90 pp. ISSN 0393-3016 (1997).

**Nordisk Kjernesikkerhets forskning (NKS), EKO-2** - Lange økologiske halveringstider i seminaturlige systemer. Sluttrapport for program 1994-97 (1998).

**Nylén, T., Andersson, T., Aquilonius, K., Bjørnstad, H. E., Brittain, J. E., Saxén, R.**, *A Nordic study on the origin and dynamics of CS-137 discharge from land to lakes and residence times of Cs-137 in different terrestrial biotopes*. Abstract and poster, Proc. Int. Symp. Ionising Radiation, Stockholm (1996).

**Oughton, D. H., Day, J.P., Fifield, L.K.**, *AMS determination of plutonium isotopes: Methodology and applications*. Pu in the Environment, Osaka, Japan, December (1999).

**Oughton, D. H., et al.**, *Determination of plutonium activity levels and isotope ratios in Kara Sea and Novaya Zemlya sediments by accelerator mass spectrometry*. International Symposium on Marine Pollution, October 5-9, Monaco. IAEA, Vienna (1998).

**Oughton, D. H., et al.**, *Determination of plutonium isotopes at Mayak*. 8<sup>th</sup> International Conference on AMS, September Vienna (1999).

**Oughton, D. H., et al.**, *Radionuclide speciation in Mayak groundwaters*. Speciation Workshop. Conference - Arctic Radioactivity, Edinburgh, September (1999).

**Oughton, D. H., Salbu, B., Skipperud, L., Tronstad, E.**, *Source term influences on the mobility of radionuclides in soil*. Extended abstracts, Environmental Radioactivity in the Arctic, Tromsø (1997).

**Oughton, D. H., Skipperud, L., Salbu, B.**, *Radionuclide speciation in natural waters, soils and sediments*, Nuclear Physical Methods in Radioecological Investigations of Nuclear Test Sites, NATO ASI Series (In press).

**Oughton, D. H., Tronstad, E., Skipperud, L.**, *Mobility of cesium and strontium in soils*. Report for EKO2, NKS(97)FR5 (In press).

**Oughton, D.H.**, *Contaminated soils and sediments as sources of radionuclides in the environment*. Abstraktbok, Norsk Kjemisk Selskap, Miljøkjemisk Vintermøte, Geilo, februar (1998).

**Oughton, D.H., et al.**, *Determination of <sup>240</sup>Pu/<sup>239</sup>Pu isotope ratios in Kara Sea and Novaya Zemlya sediments using accelerator mass spectrometry*. Proc. Conf. Marine Pollution, IAEA, Vienna (1999).

**Oughton, D.H.**, *Radionuclide mobility in Majak and Chernobyl sediments and soils*. Proc. int. Symp. Environmental Pollution. Aristotle University, Thessaloniki (1999).

- Oughton, D.H.**, *Radionuclide speciation in natural waters, soils and sediments*. Advanced Research Workshop: Nuclear Physical Methods in Radioecological Investigations of Nuclear Test Sites, Almaty, June 7-10. NATO (år).
- Oughton, D.H., Skipperud, L.**, *Støwer-Rosten, L., Naylor, C.*, Determination of Radiocesium interception potential (RIP) for Nordic soils. NKS Report, BOK 2 (In press).
- Oughton, D.H., Standing, W. F., Skipperud, L.**, *Dynamics of Cs-137, Sr-90 and Pu transfer in Chernobyl soil-plant systems*. Union of International Radioecologists Topical Meeting, Mol, Belgium, 1-5 June (1998).
- Oughton, D.H.**, *The use of tracers in speciation studies*. Proceedings of 15th Nordic Atom Spectroscopy and Trace Element Conf. (NAS-TEC), Ebeltoft, Danmark, juni. Danish Society of Analytical Chemistry. 27 pp. (1996).
- Sagstuen, E., Hole, E.O., Haugedal, S.R., Nelson, W.H.**, *The nature of stable radicals in polycrystalline and single crystals of L-alanine x-irradiated at 295 K*. EPR and ENDOR studies. Third European ESR Meeting, «Modern aspects of structure and dynamic investigations of paramagnetic systems by EPR». Leipzig, Germany, 24-29 August (1997).
- Sagstuen, E., Sanderud, A., Hole, E.O.**, *On the radiation chemistry of simple amino acids*. 6<sup>th</sup> NorFA Workshop on EPR spectroscopy, Torrekulla, Göteborg, Sweden, 3-5 September (1998).
- Skipperud, L., Oughton, D. H., Salbu, B.**, *Mobility of Pu-species in a Kara Sea sediment-seawater system*. Speciation Workshop, Conference - Arctic Radioactivity, Edinburgh (år).
- Skipperud, L., Oughton, D.H., Salbu, B.** *The impact of Pu-speciation on the distribution coefficient, K<sub>d</sub> in soil-rainwater systems*. Proc. of 13<sup>th</sup> Radiological Conference, Praha, Tsjekkia, April. Det Tsjekkiske Vitenskapsakademiet (1998).
- Skuterud L., Bergan T., Mehli H.**, *Estimating <sup>137</sup>Cs ingestion doses to Saamis in Kautokeino (Norway) using whole body counting vs. dietary survey results and food samples*. 8<sup>th</sup> Nordic Radioecological Seminar, Rovaniemi, Finland, 25-28 February (2001).
- Skuterud, L., Blytt, L.D., Borghuis, S., Strand, P., Howard, B.J.**, *A detailed example: The study site in Norway*. Report in: Lavrans Skuterud et al. (red): The relative importance of food production systems in Europe – a first approach. EU contract SAVE under DG XII (1999).
- Skuterud, L., Steinnes, E., Hove, K., Gaare, E., Eikermann, I.M., Hansen, H.S., Kvam, T., Strand, T., Strand, P.**, *Opptak og omsetning av radioaktive stoffer og tungmetall i reinsdyr*. ProFo-Seminar, Norges Forskningsråd, Lillehammer, Mars (2001).
- Stabell E., Hole, E.O.**, *ESR Dosimetry in Norway*. NorFA Workshop on Biological Applications of EPR Spectroscopy, Granavolden, Hadeland, Norway, 26-28 August (1996).
- Stavik, G.**, *Analyse av frie radikaler i bestrålte fruktsukre ved EPR spektroskopi*. Cand.Scient. oppgave i Fysikk, Universitetet i Oslo (1999).
- Stavik, G.**, *Analyse av frie radikaler i bestrålte fruktsukre ved EPR-spektroskopi*. Norsk Fysisk Selskap's Fysikermøte, Oslo, 10-12 juni (1998).
- Stavik, G., Hole, E.O.**, *An EPR-analysis of x-irradiated sugars*. Semiannual meeting for Norwegian Biophysics, Kongsvold, Norway, 11-13 March (1999).
- Stavik, G., Hole, E.O.**, *Radiation behavior of fruit sugars for EPR dosimetry purposes*. 6<sup>th</sup> NorFA Workshop on EPR spectroscopy, Torrekulla, Göteborg, Sweden, 3-5 September (1998).
- Strand, T., Sundal, A.V.**, *Natural radiation in a former mining area rich in thorium*. 5<sup>th</sup> International conference on high levels of natural radiation and radon areas. Munich (2000).
- Sundal, A.V., Lauritzen, S.-E., Valen, V., Soldal, O., Strand, T.**, *Radon i lausmassar: Eksempel fra Kinsarvik, Hardanger*. ProFo Seminar, Lillehammer (2001).
- Szmuiele, I., Kapiszewska, M., Gradzka, I., Sochanowicz, B., Gasinska, A., Jaworska, A.**, *Proto-oncogene expression, cell cycle arrests and apoptosis in X-irradiated L-1278Y sublines*. Radioactivity – Risk and Hope. International Symposium, Karkow, October (1997).
- Tveten, U.**, *Airline crew, cosmic radiation and cancer. Status of the Norwegian study and the proposed European study*. 2nd International Symposium on Ozone Depletion and Solar Ultraviolet Radiation - Impacts on Human Health. Athens, Greece. October (1995).
- Tveten, U.**, *Cosmic radiation and airline pilots. exposure patterns of Norwegian SAS-Pilots 1960*

to 1994. IFE/KR/E-96/008. Institute for Energy Technology, Kjeller, Norway. February (1997).

**Tveten, U.**, *Cosmic radiation and airline pilots. exposure patterns of norwegian pilots flying aircraft not used by SAS.* IFE/KR/E-97/003. Institute for Energy Technology, Kjeller, Norway. May (1997).

**Tveten, U.**, *Cosmic Radiation and Airline Pilots. Exposure Patterns of Norwegian SAS-Pilots 1960 to 1994.* IFE/KR/E-99/002. Institute for Energy Technology, Kjeller, Norway. February (1999).

**Tveten, U.**, *Flypersonell og kosmisk strålingsfare* (Invitert presentasjon). Proceedings fra Flyoperativt Forum. 21. - 23. april. Hurum (1997).

**Tveten, U., Haldorsen, T, Reitan, J:** *Exposure to low level ionizing radiation and incidence of cancer in airline pilots and crew.* Presentasjon på møte, vesentlig med tysk deltagelse, arrangert av Lufthansa (invitert presentasjon). Frankfurt Airport, April (1995).

**Tveten, U., Haldorsen, T., Reitan J.**, *Cosmic radiation and airline pilots. exposure patterns of norwegian pilots from 1946 to 1994.* (Invited presentation). The 45th International Congress of Aviation and Space Medicine. 24 - 29 August. Oslo (1997).

**Tveten, U., Haldorsen, T., Reitan, J.**, *Exposure to low level ionizing radiation and incidence of cancer in airline pilots and crew.* (Invited presentation). European Airline Medical Director's Society Conference. 39, Sintra, Portugal (1993-09??).

**Tveten, U., Haldorsen, T., Reitan, J.**, *Exposure to low level ionizing radiation and incidence of cancer in airline pilots and crew.* Radiation Symposium (invitert presentasjon) arrangert av IFALPA (International Federation of Air Line Pilot Associations) HUPER (Human PERFORMANCE) Committee. Frankfurt Airport. Mai (1994).

**Tveten, U., Haldorsen, T., Reitan, J.**, *Exposure to low level ionizing radiation and incidence of cancer in airline pilots and crew* (In Spanish). Medicina Aeroespacial y Ambiental, Vol. 2, no. 3. Madrid, Spain. April (1995).

**Tveten, U., Haldorsen, T., Reitan, J.**, *Exposure to low-level ionizing radiation and incidence of cancer in airline pilots and crew.* International Symposium on Radiological Problems with Natural Radioactivity in the Non-Nuclear Industry. 8 - 10 September. Amsterdam (1997).

**Tveten, U., Reitan, J.B., Haldorsen, T.**, *Aviation personnel, cosmic radiation and cancer.* 5<sup>th</sup> International Conference on High Levels of Radiation and Radon Areas: Radiation Dose and Health Effects, Munich, 4-7 September (2000).

**Tveten, U., Reitan, J.B., Haldorsen, T.**, *Aviation personnel, cosmic radiation and cancer . 72<sup>nd</sup> Annual Scientific Meeting «Emerging Technologies of the New Millenium», of the Aerospace Medical Association.* Reno, Nevada, USA. 6-10 May (2001).

**Tveten, U.**, Samme presentasjon som over gitt etter oppfordring på Hamburg Airport. Januar (1996).

**Tveten, U.**, *The Norwegian Study on Cosmic Radiation, Cancer and Airline Crew – Radiation Exposure Aspects.* Invited Presentation, Meeting on the European Study on Cancer Risk in Flying Personnel. 19 January 1996. Frankfurt Airport, Germany (1996).

**Ugedal, O., Forseth, T., Jonsson, B., Mooij, W.** *Langtidsutvikling for radioaktivitet i ferskvann.* NINA-Oppdragsmelding 650. 15 pp. (2000).

**Varskog, P., Christensen, G.C., Bækken, T., Berge, D.**, *Model validation of sediment-water exchange and bioavailability of radionuclides as obtained from large-scale laboratory experiments.* Report IFE/KR/E-99/015 (1999).

## F. Populærvitenskapelige rapporter og bokkapitler

**Brittain, J.E. Vassdrag og ferskvannsfisk. In Harbitz, O., Skuterud, L.** (red.) *Radioaktiv forurensning – betydning for landbruk, miljø og befolkning.* Landbruksforlaget, 131-154 (1999).

**Brittain, J.E. Tiltak i matproduksjon. In Harbitz, O., Skuterud, L.** (red.) *Radioaktiv forurensning – betydning for landbruk, miljø og befolkning.* Landbruksforlaget, 185-211 (1999).

### G. Bruker-rettede formidlingstiltak

**Bergstrand, E.S., Bjerke, H., Hole, E.O.,** *Postal dose intercomparison test with alanine-ESR dosimetry*. Notat til Strålevernet og norske sykehus, mars (1998).

**Tveten, U.,** *Kosmisk og UV-stråling* (Invitert presentasjon). AML-kurs for flygende personell. 18-20. mars 1996. Sundvollen (1996).

**Tveten, U.,** *Kosmisk og UV-stråling* (Invitert presentasjon). AML-kurs for flygende personell. 7-11. april. Sandefjord (1997).