

PROFO – Forurensninger; kilder, spredning, effekter og tiltak

Forskningsprogram om forurensninger i Norges Forskningsråd

Sluttrapport fra programmets virkeperiode 2000-2005

Innhold

Forord	5
Del I. Innledning og vurdering av programmet	6
Hovedmål / delmål	7
Bakgrunn og faglige prioriteringer	8
Varighet og finansieringsplan	8
Gjennomføring av programmet	9
Formidling	10
Vurdering og måloppnåelse	11
Synergieffekter	13
Del II. Resultatbeskrivelse	14
Kapittel 1. Organiske miljøgifter – stadig nye miljøgifter	16
Kapittel 2. Bjørnøya – et eldorado for miljøforskere:	24
Kapittel 3. Metaller – langtransport og nære virkninger	28
Kapittel 4. Radioaktivitet	36
Kapittel 5. Nitrogen, sur nedbør	45
Kapittel 6. Plantevernmidler og landbruk	51
Kapittel 7. Risikovurdering, beslutningsverktøy og tiltak	54
Kapittel 8. Trafikkstøy som forurensning:	64
Kapittel 9. Olje	68
Del III. Register, oversikter	70
Finansieringsplan	72
Søknader	72
Prosjekter	72
Stipendiater	73
Doktorgrader	74
Formidling	75
Programstyre	75
Prosjektportefølje	76

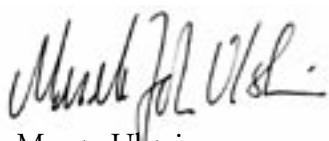


Forord

Forskningsprogrammet «PROFO – Forurensninger; kilder, spredning, effekter og tiltak» og dets programstyre ble opprettet av Områdestyret for Miljø og Utvikling i Norges forskningsråd i 1999. Ved omorganiseringen av Forskningsrådet i 2003 ble PROFO lagt under Divisjon for store satsinger. PROFO er en videreføring av flere satsinger på forurensningsforskning i regi av Norges forskningsråd gjennom mange år, og en direkte etterfølger av fire programmer som ble avsluttet i 2000. Til grunn for programstyrets arbeid har det blitt utarbeidet et programnotat. Dette arbeidet ble ledet av programstyrets leder, Forskningsdirektør Merete Johannesen Ulstein, og med sentrale aktører fra de foregående programmene ble programnotatet tuffet på oppdatert kjennskap til hvor kunnskapsbehovet var stort. Programmet ble opprettet med varighet fra 2000 til og med 2005. Programstyret har i hele perioden hatt en nært og godt forhold til Norges forskningsråd, og det har også vært en god kontakt mellom programstyret, Forskningsrådet, finansierende departementer og prosjektledere.

Den foreliggende rapporten er PROFOs sluttrapport til Norges forskningsråd og til forvaltningen som har finansiert programmet. Rapporten er utarbeidet av programstyrets medlemmer og programkoordinator, og redigert av programkoordinator i samarbeid med Danas Design. Resultatbeskrivelsene er først og fremst basert på sluttrapper fra prosjektene, og vi vil takke prosjektledere og prosjektmedarbeidere for deres resultatpresentasjoner. Vi har også benyttet bilder og illustrasjoner fra prosjektenes presentasjoner under sluttkonferansen, og vi vil takke for denne velviljen. Lavrans Skuterud takkes for et viktig arbeid med kapittelet om radioaktivitet. Bidrag til bilder og illustrasjoner har vi fått fra N. Johan Persson (s 17), Torgeir Nygård (s 19), Eirik Fjeld (21, 32), Guttorm Christensen (25 og 26), NIVA foto (29, 46, 47), Statens strålevern (37, 38, 40), Lillian Øygarden (52, 56, 57, 58), Frode Olsgard og Hans Christer Nilsson (59), Lene Buhl Mortensen (61), David Barton (62), og Ronny Klæboe (67). Torhild Liseter i Forskningsrådet skal ha en stor takk for samarbeid og hjelp med data til del I og III i rapporten.

Oslo, Desember 2006



Merete Ulstein
Programstyreleder PROFO



Hartvig Christie
Programkoordinator



Del I Innledning



Hovedmål / delmål

Det overordnede mål for programmet har vært å:

frembringe ny kunnskap og styrke den nasjonale kompetanse på området forurensningskilder, spredning, eksponering og virkninger av forurensninger på naturmiljøet. Forskningen skal gi grunnlag for forvaltningens beslutninger om tiltak for å avbøte eksisterende og forebygge nye forurensningsproblemer og støtte opp under lokale, nasjonale og internasjonale miljømål. Forskningen skal videre underbygge norske interesser i internasjonale forhandlinger om begrensning av grenseoverskridende forurensninger, samt oppfølging og evaluering av disse.

Programmet skal arbeide i forhold til følgende delmål:

- Øke kunnskapen når det gjelder kilder, transportveier, omsetning, spredning, effekter og risiko av nasjonalt prioriterte miljøgifter, nye kjemiske stoffer og radioaktivitet.
- Øke kunnskapen om regionale og lokale forurensningsproblemer knyttet til tilførsler, akkumulering og omsetning av ulike forurensningskomponenter, herunder nærings-salter og miljøgifter.
- Øke kunnskapen om spredning og langsiktige effekter av langtransporterte forurensninger med særlig fokus på miljøgifter og nitrogen.
- Øke kunnskapen om forurensninger i arktiske og polare områder, spesielt når det gjelder spredning, nedbrytning og effekter av miljøgifter og radioaktive stoffer.
- Øke kunnskapen om kilder og forplantning av støy, og effekt av støy, opplevelse av støy og hvordan det oppfattes av mennesker.
- Utvikle bedre verktøy, integrerte metoder og modeller for miljøplanlegging, overvåkning og risikovurderinger, samt beslutningsgrunnlag for vurdering og prioritering av virkemidler og tiltak for å redusere eller inaktivere forurensningskilder.



Bakgrunn og faglige prioriteringer

PROFO har vært en fortsettelse og videreutvikling av Forskningsrådets satsing på forurensningsforskning og startet opp som en etterfølger til fire avsluttede programmer: «Forurensninger i grunnen» GRUF, «Nitrogen og bakkenært ozon» NOBOZ, «Stråling og strålevern» og «Økotoksikologi». PROFO startet opp for fullt i 2000, mens de ovennevnte programmene ble gradvis utfaset i løpet av 2000–2002 som prosjekter under PROFO. Programstyret, som består av representanter for forskningsmiljøer og forvaltning og som også har vært delaktig i de forutgående programmene, har sett det som fordelaktig å kunne stå for kontinuitet i programarbeidet og at det er en stor fordel å starte ny aktivitet samtidig som den tidligere fases ut. Dette gir en videreføring av nasjonal kompetanseutvikling og sikrer at kunnskapen fra foregående program blir integrert i de nye aktivitetene. Med bakgrunn i evalueringen av de avsluttede programmene og det faktum at nye forurensningsproblemer dukker opp ble programmets hovedmål og delmål og overordnede faglige prioriteringer utarbeidet i 1999 i en **programplan** som har hatt overordnet gyldighet for den totale virksomhet i PROFO. Prioriteringene har tatt hensyn til tidligere oppnådde resultater og brukernes (departementenes) ønsker. Fokus er lagt innen hovedfeltene: kjemikalier, miljøgifter og radioaktive stoffer; regionale og lokale

forurensninger; langtransporterte forurensninger (særlig miljøgifter og nitrogen); støy; metoder og modeller for miljøovervåking, risiko- og tiltaks-vurderinger. Det er også gitt prioritet til forurensningsstudier i arktiske og polare områder, og innen programmets område på støyforskning er det lagt vekt på kilder og tiltak i forbindelse med trafikkstøy.

Ut fra hva som er tildelt og oppnådd, har det blitt utarbeidet årlige **handlingsplaner** med konkrete faglige prioriteringer for den kommende prosjekttildelingen. Pga budsjettsituasjonen har det ikke latt seg gjøre å dekke alle prioriterte områder.

Programstyret har også valgt å prioritere større satsingsområder der flere forskningsmiljøer samarbeider. Dette gjelder bl a miljøgifter i Arktis, dioksinforurensning i Grenlandsfjordene, trafikkstøy, risikovurderinger og tiltaks-vurderinger på steds-spesifikke data som er bygget opp gjennom større prosjekter.

Varighet og finansieringsplan

Programmets varighet har vært fra 2000 til og med 2005. En liten del av programmets aktiviteter har fortsatt i 2006 og 2007, bl a noen få stipendiater som trenger tid og finansiering for å fullføre doktoravhandlingene.



Finansieringsplanen har vært en årlig bevilgning fra flere departementer der Miljøverndepartementet har vært største bidragsyter med over 70 % av bevilgningene. Budsjettet har gjennom programperioden variert noe rundt 25 mill. kr. pr år. Programmet har fått en finansiering på ca 149 mill. kr. i virksomhetsperioden fra 2000 til og med 2005 (se registerdel). Finansieringspartnere har for hele programperioden vært: MD, LMD, FKD, og NHD, mens OED var med fram til 2003 da bevilgningene gikk over i et eget oljeforurensningsprogram (PROOF), og SD som har kommet inn de tre siste årene og gitt støtte til støyforskning. Disse midlene har gått med til å støtte over 100 forskningsprosjekter, mens en liten andel har gått med til å dekke programmets administrasjonsutgifter. I tillegg til denne finansieringen har programmet administrert et årlig beløp på 5 mill. kr. som har gått til støtte av norske forskningsmiljøers deltakelse i EUs 5. og 6. rammeprogram på strålevern (Euratom). Ordningen har vært en samfinansiering av flere departementer (MD, FKD, LMD, UD, HOD, NHD). 17 slike prosjekter er behandlet og finansiert gjennom Profo.

Tabell over finansieringsplanen står i registerdelen.

Gjennomføring av programmet

Programstyret har hatt en arbeidsform med fem

eller seks **møter** i året. De viktigste oppgavene har vært å utarbeide faglige prioriteringer om våren og å behandle innkomne søknader om høsten, mens formidlingstiltak og oppfølging av prosjektenes framdrift og avslutning har vært kontinuerlige oppgaver. I de første årene mottok PROFO over **100 søknader** pr år (se tabell s 72), til tross for at det ble utarbeidet årlige handlingsplaner med sterke prioriteringer for å begrense søkermassen. Ved den siste prosjekttildeling var imidlertid søkermassen redusert fordi tilgjengelige midler var mindre og prioriteringene meget strengt avgrenset. Alle søknader har vært sendt til evaluering hos to utenlandske sakkynndige (referees), og programmet har bygget opp et kontaktnett på over 100 referees. Søknadene har deretter blitt behandlet av programstyret der hver søknad har blitt særskilt evaluert av to habile saksforberedere. Ved tildeling har det i første rekke blitt lagt vekt på faglig kvalitet, men også på brukerrelevans og relevans for programmets mål og prioriteringer.

Programstyret har i hele perioden forholdt seg til gjeldene prosedyrer for **habilitet**. Spørsmål om habilitet har vært på dagsorden på programstyremøtene, og programstyret selv har vurdert de rutiner som har vært benyttet i programperioden til ikke å være på kant med allmenne habilitetsprinsipper. Det har først og fremst vært viktig å forholde seg til dette ved behandling av søknader,

men også under behandling av framdrifts- og sluttrapper fra prosjektene. De nye og strengere rutinene som Forskningsrådet innførte i 2003 i spørsmål om habilitet medførte at flere setteprogramstyremedlemmer måtte oppnevnes under den siste prosjekttildelingen.

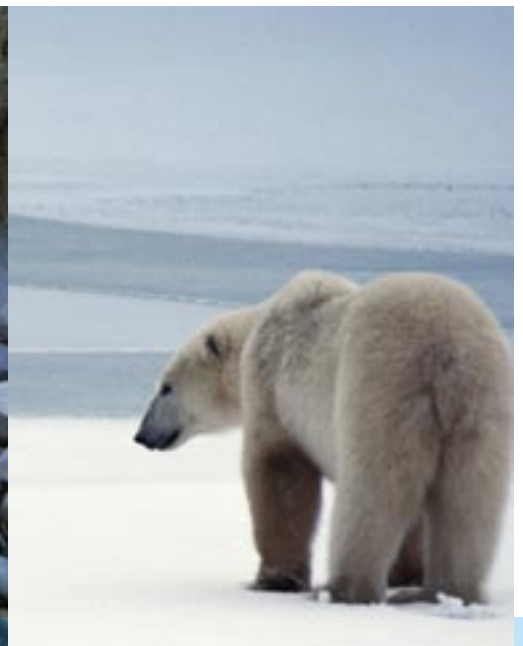
I tillegg til faglige vurderinger, har Programstyret i tildelingen av prosjekter lagt vekt på relevans i forhold til handlingsplanen og nytteverdi i forhold til brukere. **Forvaltningen** er involvert når premissene legges for handlingsplanen og har representanter i programstyret. Det betyr at resultatene skal være til nytte for den delen av forvaltningen som er involvert i forurensningers betydning for miljø og helse både nasjonalt og internasjonalt. For støvforskningen er det opprettet en egen referansegruppe der forvaltningen er representert.

Programstyret har vektlagt **internasjonalt samarbeid** og det er blitt mer vanlig at internasjonalt samarbeid er tydeliggjort i søknadene, og internasjonale kontakter og samarbeidspartnere har i økende grad forekommet i programmets prosjekter. Programmet har også innvilget støtte til utenlandsopphold, bl.a. til post doc stillinger. Representanter fra både programstyret og prosjektene er involvert i internasjonale organer som

arbeider med forskning og miljøforvaltning, og flere av våre prosjekter i nordområdene er viktige for arbeidet i AMAP (Arctic monitoring and assesment programme). Programmet deltar i EUs rammeprogram på strålevernsiden.

Formidling

Forskningsrådet og PROFOs programstyre har vært opptatt av **formidling** av resultatene fra prosjektene og har satt opp tiltaksplaner for dette i programplanen og handlingsplanene. Programstyret har også fått positive tilbakemeldinger på flere av sine formidlingstiltak. En viktig side har vært å stimulere til vitenskapelig publisering for formidling innen forskningsverdenen, men PROFO har også hatt en klar målsetning om formidling av resultatene til forvaltningen som finansierer programmet og til omverdenen for øvrig. PROFO har sett det som viktig å formidle resultatene gjennom større konferanser der både forskningsmiljøene, forvaltningen, næringsliv, media og andre interesserte inviteres. PROFO har avholdt slike konferanser i Longyearbyen (2000), Lillehammer (2001), Olavsgaard/Lillestrøm (2003) og en stor avslutningskonferanse på Gardermoen (2005). PROFO har videre arrangert mindre workshops over smalere temaer.



I forbindelse med fagmøtene har programstyret aktivt bidratt til å plante prosjektinformasjon i nyhetspressen. Til den siste konferansen ble det utarbeidet en brosjyre med resultater som faglige smakebiter. Brosjyren fikk stor spredning og positiv omtale i brukermiljøene. I forbindelse med avslutningskonferansen arrangerte PROFO en åpen debatt om miljø, behovet for miljøinformasjon, behov for et internasjonalt regelverk, og om myndighetenes, forskernes og industriens syn på dette. Med profesjonell debattledelse ble både forvaltning, industri, fagmiljøene og miljøorganisasjoner utfordret og debatten ble opplevd som et positivt element i konferansen. Sluttkonferansen hadde ca 100 deltagere og fagmiljøene uttrykte positivt nytten av et tverrfaglig forum som dette.

Programmet har også formidlet informasjon om viktige faglige og administrative begivenheter gjennom årlige årsrapporter, og prosjektene har selv tatt initiativer til ulike muntlige og skriftlige formidlinger innen det internasjonale fagmiljø, populærvitenskapelige kilder og gjennom media. PROFOs programstyre har utarbeidet og trykket sluttrapporter fra de fire avsluttede programmene Økotoks, Strålevern, NOBOZ og GRUF, alle utgitt i løpet av juni/juli 2002.

Vurdering og måloppnåelse

Programmets programplan har vært så vidt at programmets økonomiske rammer ikke har gitt mulighet til å dekke alle de felt som er nevnt der. Det er først og fremst de problemfelt som er fremhevet i handlingsplanene som programstyret har villet prioritere i sin komponering av en prosjektsammensetning. Temaet overordnet modellering av miljøeffekter, risiko og tiltak viste seg vanskelig å dekke. Programstyret tok så initiativ til et arbeidsmøte/idedugnad i god tid før søknadsfristen i 2003 og dette førte til flere gode søknader og innvilgede prosjekter på dette feltet.

Med bakgrunn i ønsker om prioriterte oppgaver beskrevet i programplanen har programstyret tidligere konkludert at behovet for forskning innen de feltene PROFO dekker kunne ligget på det tredobbelte av hva bevilgningen har gitt rom for. Det er gitt støtte til 25% av prosjektsøknadene, og det er ca 1/3 av de prosjektene som både utenlandske sakkyndige og programstyret har vurdert som støtteverdige og faglig gode prosjekter. Det betyr at forskningskapasiteten i Norge innen PROFOs felt er stor og med kvalitet. Selv ved en tredobling av aktiviteten vil det fortsatt sikres god kvalitet innen forskningen og fortsatt sikres hard konkurranse om tildeling fra kvalifiserte forskningsmiljøer innen PROFOs fagområder.



Selv om programstyret har arbeidet for å få oppnådd de prioriterte mål fra de finansierende departementer, har noen områder, som f eks marin eutrofiering og nye miljøgifter, ikke blitt dekket tilfredsstillende. Fagområdet støyforurensning er også dårligere dekket i forhold til de målsettinger som ble framsatt da dette ble et av PROFOs fagområder. PROFOs programstyre har gått nøyere inn på å definere områder som er dårlig dekket samt definert videre forskningsbehov, og har utarbeidet et notat om videreføring av forurensningsforskning. Dette gjenspeiler manglende måloppnåelse for enkelte felt, men også at det er kommet til nye miljøproblemer etter at PROFO definerte sine mål. Undersøkelser innen programmet har avdekket et forskningsbehov for nye og mer ukjente stoffer som opptrer som miljøgifter, og særlig der de opptrer sammen. I programstyrets evaluering av status i forurensningsforskningen har det også blitt fokusert mer på byforurensning og luftforurensning enn det som har vært nedfelt i PROFOs programplan.

Flere av prosjektene i PROFOs prosjektportefølge har bidratt til å løse konkrete spørsmål når det gjelder forvaltning av nye miljøgifter. Vitenskapelige resultater har vært formidlet via seminarer og møter, og forskningsresultatene

har således bidratt til en bedre håndtering av ulike forurensningsproblemer hos forvaltningen. Forvaltningens tilbakemelding fra programmets konferanser har vært positive.

Programmet har fra starten av hatt som mål å finansiere doktorgrads- og postdoktorstipend innen de fagområder der det er behov for å styrke den nasjonale forskerrekutteringen. Antall rekrutter gjennom programperioden må vurderes som bra (totalt 30 dr scient og 10 post doc, se registerdelen). Programstyret kan for flere felt ikke peke på klare rekrutteringsbehov innen spesielle tema med unntak av støy og eutrofiering. Siden PROFO og programmene som var forløpere til PROFO har utdannet en rekke doktorkandidater, har det vært viktig å ta vare på denne kompetansen gjennom tildeling av post doc stillinger. Ferdig disputerte kandidater har også vært sikret videre rekruttering gjennom andre former for prosjektfinansiering enn rene post doc. stillinger innenfor programmet. Kjønnfordelingen viser også at likestillingsperspektiver har vært godt ivaretatt i programmet.

Synergieffekter

Programstyret har bidratt aktivt til å etablere samarbeid og synergieffekter mellom ulike



forskningsmiljøer, først innen området om tilførsler og effekter av miljøgifter i Arktis, og om dioksinforurensninger i Grenlandsfjordene, støyforskning, og senere på modeller, risiko og tiltak knyttet til store prosjektsatsinger tidligere i programmets periode. Flerfaglig naturfaglig samarbeid har blitt vurdert som et viktig verktøy innenfor programmets virkeområde. I slike samarbeider inngår for eksempel fysiske, kjemiske og biologiske prosesstudier koblet opp mot matematisk modellering. Det er imidlertid initiert et bredere tverrfaglig samarbeid (naturfaglig og samfunnsfaglig) innen støyrelatert forskning og risikovurderinger. Det flerfaglige naturfaglige samarbeidet har blitt ansett som viktig for å gå i dybden på naturfaglige problemstillinger, mens en mer tverrfaglig vinkling over mot samfunnsrelaterte og økonomiske problemstillinger har kommet mer med når risiko og tiltak fokuseres. PROFO har hatt prosjekter over hele landet og også en stor prosjektportefølje på Svalbard og Bjørnøya. Dette betyr at forskningsmiljøer over hele landet har vært involvert i programmet.

Støyforskningen i Norge har i lang tid hatt små resurser og antall forskergrupper som kunne utføre de ønskete oppgavene var begrenset. Ett viktig ledd i arbeidet med å utnytte forskningsmidlene effektivt var derfor

at det med initiativ fra programstyret kom i stand et samarbeide mellom de fem viktigste forskningsmiljøene som har utarbeidet felles søknader til PROFO. Forskningsrådets støtte har i flere tilfeller blitt utvidet med støtte fra næringsliv og myndigheter og har bidratt til å få forskningsmiljøene med i EU-prosjekter og andre internasjonale prosjekter.

Alt i alt er det grunn til å fokusere på det store antallet søknader som har holdt gode faglige mål, og som også har hatt høy grad av brukernytte og programrelevans, men som ikke har nådd opp i fordelingen pga begrensede midler. Det er således ledig kapasitet av høy kvalitet i forskningsmiljøene til å løse ytterligere oppgaver og til å videreføre kunnskapsgrunnlaget som er bygget opp, noe som også er blitt påpekt i programstyrets notat om videreføring av forurensningsforskning.







Del II
Resultatbeskrivelse



Kapittel 1.

Organiske miljøgifter – stadig nye miljøgifter



Innledning

Det dukker stadig opp flere kjemiske stoffer som mistenkes å ha effekter på miljøet. En viktig gruppe er de halogen- holdige organiske stoffene. De er karakterisert ved at de inneholder en eller flere halogengrupper. Dette er med på å gjøre de mer resistente mot nedbrytning og for de fleste mer fettløslige. Tidligere var interessen fokusert på DDT og senere på polyklorerte bifenyler (PCB), men i dag omfatter interessen også de bromerte flammehemmere (BFH), polyklorerte alkaner og perfluoreerte alkaner. DDT er et viktig pesticid og brukes enda i enkelte land på grunn av sine egenskaper til å bekjempe malariamyggen. PCB er i dag forbudt brukt i de fleste land, men hadde et bredt bruksområdet som omfatter elektrisk isolasjonsmateriale, maling, bygningsmaterialer ol. Det er 209 forskjellige kongener av PCB så de dekker også et vidt spekter av fysikalsk-kjemiske egenskaper. BFH er en mer heterogen gruppe som er dominert av tre stoffgrupper nemlig bromerte difenyletere, tetrabromdifenyyl og heksabromsyklododekan. Internasjonalt er det denne gruppen som tiltrekker seg mest oppmerksomhet i dag. Perfluoreerte alkaner er i motsetning til de andre overflateaktive og er derfor verken lipofil eller hydrofil. Den har

vært brukt i 50 år, særlig i papirindustrien og på tekstiler, men har ikke fått noen særlig oppmerksomhet før i de siste par årene. I Norge er den viktigste utslipps kilden offshore virksomheten der den er viktig som brannslukker. I tillegg har en i PROFO også begynt å fokusere på utslipp av legemidler. Et eksempel er det bakteriehemmende stoffet Triclosan som blant annet brukes i tannpasta.

Selv om utslippene av miljøgifter fra Norge er små i en global målestokk, fører de klimatiske forhold til at miljøgiftene på den nordlige halvkule blir transportert mot Arktis. Dette er blant annet illustrert i en studie av nivået av miljøgifter hos svartbak, der det vises tydelig at flyktige klororganiske forbindelser (f eks flyktige PCBer, heksaklorbensen og flyktige pesticider) øker nordover langs norskekysten. I tillegg har det vist seg at nivået av miljøgifter i predatorer som isbjørn, sel og polarmåke fra Svalbard og Barentshavet er høyere enn tilsvarende dyr i kanadisk Arktisk. Dette skyldes også at isbjørn, sel og polarmåke gjenspeiler tidligere forurensing gjennom overførsel fra voksne til barn for eksempel ved morsmelk eller gjennom egg. Dette er ikke tilfelle for lavere organismer som fisk og

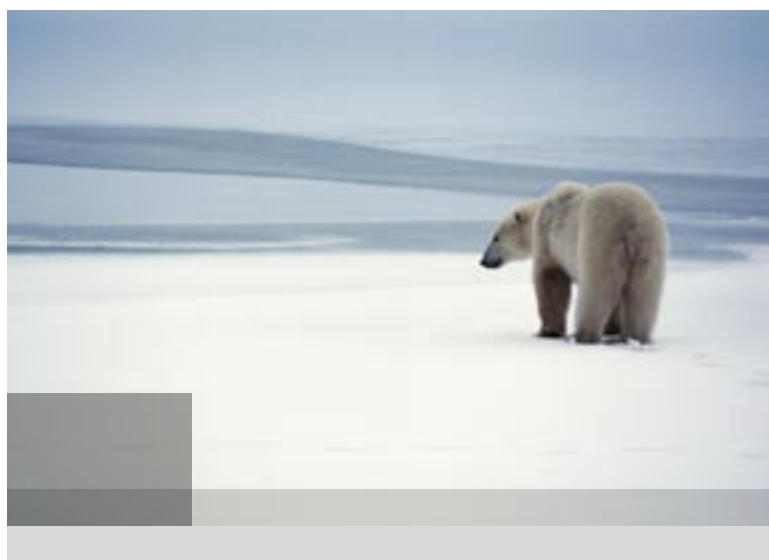
krepsdyr som bedre reflekterer forurensingen i omgivelsene.

Til å vurdere farligheten av et stoff, der felldata ikke er tilstede, benytter både forvaltere og andre seg av et stoffs bioakkumuleringsfaktor (BAF). Den angir graden av anrikning av stoffet i organismer i forhold til i vannet. En sammenstilling av data fra USA, Kanada og Arktiske marine studier utført under PROFO viser imidlertid at det er store variasjoner og derved usikkerheter i BAF. Dette skyldes flere forhold som dyrenes tilstand og størrelse, diett, problemet med å bestemme løselighet i vannet og tilstedeværelsen av andre organismer i vannet. Ulike innsamlingsmetoder har også gitt svært forskjellige resultater og dermed forskjellige BAF.

I PROFO har en særlig studert virkningen av miljøgifter på isbjørn, sel og fugler fordi de representerer et høyt trofisk nivå. I disse artene forventer en å finne de høyeste konsentrasjoner og de største effektene. I tillegg har en også sett et par tilfelle av direkte utslipp av miljøgifter i norske innsjøer og fjorder som har gitt mulighet til mer omfattende studier av et samfunn.

Polyklorerte bifenyler (PCB)

I det tidligere økotoksprogrammet undersøkte en PCB i en rekke predatorer som isbjørn, sel og rovfugl. Det ble funnet at PCB førte til immunologiske effekter og adferdsforandringer som skyldes effekter på hjernens signalsystem. I



PROFO har en gått videre og påvist i mer detalj virkninger av PCB på immunsystemet, hormonendringer og reproduksjonssystemet.

Mye av dette arbeidet har vært utført som feltforsøk på isbjørn. Undersøkelsene har vist at hos isbjørninger er nivået av organiske klorforbindelser (særlig PCB, men også pesticider, DDE, klordaner og hexaklorheksan) positivt korrelert med nivået i plasma og morsmelk. Nivået i plasma hos ungene var imidlertid høyere enn hos moren. Det betyr at ungene er utsatt for et høyt nivå når de ulike organene som hjerne er under utvikling. Det ble også funnet at isbjørninger hadde et lavt nivå av IgG. Siden IgG kan knyttes til ungenes evne til å danne antistoffer indikerer dette at de har et nedsatt immunforsvar og derfor nedsatt motstand mot infeksjoner.

Videre har en undersøkt et stort antall voksne bjørner ved å se på deres evne til å danne antistoffer mot influensa og reovirus etter immunisering. Dette er nedsatt i hvert fall ved høye nivåer av PCB. En kan derfor slutte at PCB kan føre til nedsatt forsvar mot infeksjoner. Det er vanskelig å trekke sikre konklusjoner fra slike feltforsøk fordi immunforsvaret påvirkes av en rekke faktorer som ligger utenfor styring slik som ernæringsstatus, kjønn, alder, hormonstatus og tidligere infeksjoner.

Det er videre gjort en rekke endokrinologiske funn hos isbjørn som kan tyde på at utviklingen og reproduksjonen er påvirket. Således fant en tidlig at det er en negativ korrelasjon mellom PCB og nivåene av thyroideahormon og retinol. Disse hormonene spiller en rolle for utvikling av organer. Dette er i samsvar med en rekke andre internasjonale undersøkelser. Videre har en funnet at det er en negativ korrelasjon mellom PCB innholdet og testosteron hos han-bjørner og en positiv korrelasjon mellom progesteron og PCB i hunnbjørner. Begge disse funn kan indikere en effekt på reproduksjonen

En undersøkelse blant sjøfuglbestandene i Trondhjemsfjorden (Munkholmen) viste at de inneholdt et høyt innhold av PCB, DDT og



BFH som antagelig skyldes lokale utslipp. Nivået avtok med avstand fra disse lokale kildene (Sklinna). Disse stoffene økte med 10-100 ganger for hvert ledd oppover i næringskjeden. Det ble også funnet høye nivåer av PFAS, særlig i lever og blod hos toppskarv. I denne undersøkelsen fant en ikke en sammenheng mellom miljøbelastning og kullstørrelse eller tap av egg/unger. Derimot var det en klar sammenheng mellom eggvolum og klororganiske forbindelser, særlig tydelig var dette for BFH. Det var også en tydelig sammenheng i de mest forurensete områder mellom skalltykkelse eller skallkvalitet og klororganiske forbindelse på ærfugl. Vanligvis er dette siste knyttet til DDT, men i dette tilfelle kan en ikke skille mellom de ulike miljøgiftene. Det ble også funnet en sammenheng mellom fritt tyroksin og DDT hos toppskarvunger på Sklinna.

En del av disse effektene finner en også hos fugler i Arktisk. Således fant en i Svartbak en korrelasjon mellom miljøgiftnivå målt som heksaklorbensen og nedsatt reproduksjon, blant annet ved sen egglegging og nedsatt hekkesuksess. Det viser også at effektene av miljøgiftene er sterkere når andre stressfaktorer som næringsmangel, parasitter og høye energikostnader er tilstede. Slike funn er også gjort på Bjørnøya.

Fuglegg har vist seg som et nyttig undersøkelsesobjekt for miljøgifter. Det skyldes at morfuglen overfører noen av sine forurensinger til egget. Ved å følge egg sanket fra forskjellige år kan en også følge en utviklingstrend. I ørnefamilien og hønsehauk dominerer PCB blant miljøgiftene, mens i vandrefalk og småfalk finner en enda store mengder av DDE som er et nedbrytingsprodukt av DDT.

I tillegg har en nå kunne påvise viktige metabolitter av PCB blant annet i fuglegg. Disse metabolittene er viktige fordi det er vist at de kan påvirke hormonproduksjonen i dyrene. Metabolittene er i første rekke hydroksylerte-PCB og metylsulfone-PCB. Konsentrasjonene av disse var lav (mellom

0,001 og 0,0005% av sum PCB).

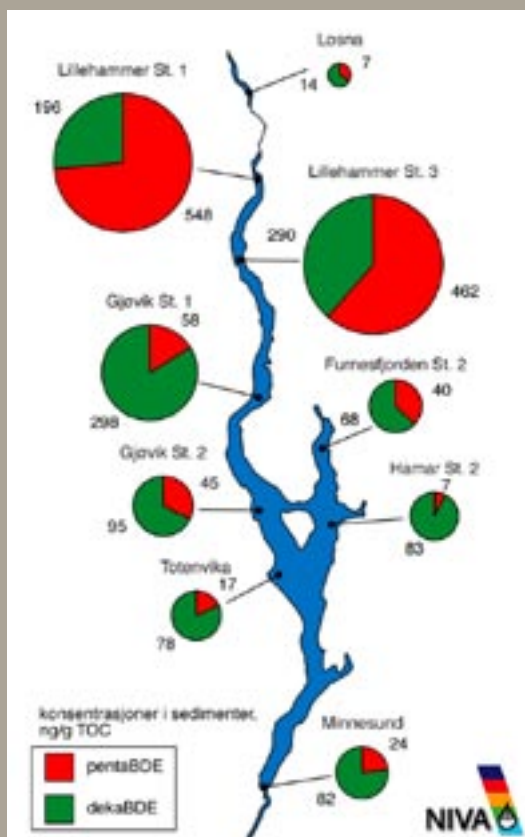
Undersøkelsen av fuglegg viser at konsentrasjonen av miljøgifter som PCB og DDT har gått tilbake i løpet av de siste 30 år. Likevel er konsentrasjonen av disse stoffene kritisk høye for havørn og vandrefalk. Fugler som holder seg langt fra folk som kongeørn og jaktfalk har lavere verdier

Bromerte flammehemmere (BFH)

Bromerte difenyletere utgjør ca en tredjedel av BFH. Tetrabrombisfenol-A er ansvarlig for en annen tredjedel og de øvrige bromerte forbindelsene som heksabromeosyklododekan står for den siste tredjedelen. De bromerte diphenyletere er en stor gruppe, der de giftigste antas å være de med lavest brominnhold. Disse er forbudt brukt i Europa, men de er enda i bruk i USA. I følge SFT er heksabromosyklododekan det mest brukte BFH i Norge. BFH anvendes i en lang rekke produkter som møbler, tekstiler, plastmaterialer og elektriske apparater. De har meget til felles med de mer kjente miljøgiftene som DDT, PCB og dioksiner. De finnes vidt distribuert i naturen og finnes både i landdyr, fugler og fisk.

I PROFO har en undersøkt nivået av BFH i luft og vann. Moseprøver, som representerer transport med luft, er undersøkt fra 19 forskjellige lokaliteter i Norge. Med et unntak av et forhøyet nivå av BFH i mose fra Lillehammerområdet, var det ingen spesiell geografisk trend. Undersøkelsen viser at de blir spredt med luftmassene, sannsynligvis bundet til partikler. En har også undersøkt og funnet BFH i ørret fra en rekke norske innsjøer. Innsjøer med høy befolknings tetthet viste de høyeste verdiene. Imidlertid ble det funnet eksepsjonelt høye verdier av difenyletere i fisk fra Mjøsa, noe som tydet på et lokalt utslipp. Disse er blant de høyeste verdier som er rapportert i ferskvannsfisk fra ulike deler av verden. For øvrig ble nivået undersøkt i 5 ulike fiske arter som representerte ulike trofiske nivåer i Mjøsa. De artene som ble undersøkt var ørret (*Salmo trutta*), lake (*Lota lota*), krøkle (*Osmerus eperlanus*), sik (*Coregonus lavaretus*) og lagesild (*Coregonus albula*). De høyeste verdiene ble funnet i stor ørret (over 2 kg) og lake som er rovfisk.

PBDE i Mjøsa. sedimenter



- Høye konsentrasjoner ved Lillehammer med dominans av lavbromerte forbindelser (2pentaBDE²)
- Svært lave konsentrasjoner i Losna (Gudbrandsdalslågen)
- Konsentrasjonene avtar sørover i Mjøsa – og den fullbromerte forbindelsen «dekaBDE» dominerer

Lake hadde de høyeste verdiene kanskje fordi den lever nærmere bunn. Miljøgiftene er lite vannløslige og vil lett bli bundet til sedimentet. De øvrige fiskene lever av plankton, insektslarver og hadde 10-100 ganger lavere nivå.

BFH i form av difenyleter har også vært målt i lever fra elg, rådyr, rype og gaupe i Norge. Det viktigste funnet var at nivået generelt var lavt, ofte under deteksjonsgrensen. Rådyr og elg er planteetere og lavt nivå er derfor forventet. Imidlertid viste predatoren gaupe høyere verdier og primært av de komponentene med høyt brominnhold. En hadde ventet at dyr med lav bromeringsgrad som finnes i høyest konsentrasjon skulle dominere, men disse ble funnet i bare lave konsentrasjoner. Årsaken kan være at de med høy bromeringsgrad omsettes saktere i kroppen og har derved en lengre halveringstid. Heksabromsyklododekan er også blitt undersøkt, men her lå nivået under deteksjonsgrensen.

Hvilke toksiske egenskaper har så disse BHF. Nylige undersøkelser i Sverige har vist at både difenyletere og heksabromsyklododekan gitt til forsøksdyr under tidlig utvikling fører til adferdsendringer hos voksne dyr. Dette gir seg særlig utslag i forhøyet aktivitet og nedsatt hukommelse. Under PROFO har en videre funnet at disse stoffene påvirker transporten av neurotransmittorer (signalstoffer) i hjernen, særlig dopamin. Dette kan bety at det påvirker hjernens funksjon. Dopamin er involvert i Parkinsons sykdom og er sterkt mistenkt for å være involvert i ADHD som gir seg samme utslag i adferd som funnet hos forsøksdyrene. Videre viste det seg at difenyleter med lav bromeringsgrad og tetrabrombisfenol-A gir dannelse av frie radikaler hos hjerneceller og død av nerveceller. Disse forsøkene viser at BFH kan angripe nerveceller og at dette er i godt samsvar med at de kan føre til adferdsforandringer særlig under tidlig utvikling.

Høye konsentrasjoner av BFH fører også til leverskade. Gener involvert i cellulært stress, metabolisme og vekst/utvikling blir påvirket. Tetrabrombisfenol-A og de lavere bromerte difenylene aktiverer granulocytter og fører til produksjon av reaktive oksygenforbindelser på samme måte som peptidet fMLP. Dette peptidet imiterer bakterieveggen og forsøket viser derved at disse stoffene svekker det generelle immunforsvaret.

Perfluorete forbindelser

Perfluorerte forbindelser er lange alkylkjeder der fluor har erstattet hydrogen atomene (se fig). Det finnes to hovedgrupper, de perfluorerte sulfonater (PFOS) og de perfluorerte karbonsyrer (PFOA). Det finnes en lang rekke stoffer som er basert på disse hovedkomponentene og som i stor grad brytes ned til disse to hovedkomponentene. De perfluorerte forbindelsene er meget stabile og halveringstida for PFOS i mennesker er 8,7 år. De er vann og oljeavstøtende og derfor overflateaktive. Stoffene er ikke brennbare. PFOS er spesielt bioakkumulerbar, mens PFOA bioakkumuleres i bare liten grad. Disse stoffene har vært produsert i over 50 år, men det er først i de siste år at en har fokusert på dem som miljøgifter. Dette skyldes blant annet at en i de siste år er blitt klar over at særlig PFOS fører til død av nyfødte forsøksdyr dersom mødrene blir eksponert kort tid før fødsel. Produksjonen av PFOS skal nå være stoppet, men det er store mengder spredt i miljøet. Internasjonalt har det vært produsert ca 15000 tonn per år av disse stoffene. I Norge var forbruket i 2002 på ca 25 tonn. Stoffene er brukt til brannslukningsmiddel (61%), særlig av offshore-industrien, tekstiler (35%) og for øvrig til gulvvoks, impregneringsmidler og tepper. Årlige utslipp er anslått til 7-8 ton fra offshore installasjoner i Nordsjøen og 7-8 tonn fra kommunalt ledningsnett, fra flyplasser og industri.

I PROFO har en for første gang tatt initiativet til å utvikle analysemetoder for disse stoffene. Spesielt gir væskechromatograf knyttet til massepektrometer muligheter til en følsom analyse. De høyeste verdiene i naturen har en funnet i lever fra isbjørn og fisk, mens det er veldig få data fra terrestriske dyr. I vann er PFOA viktigst. Den høyeste konsentrasjonen finnes i sigevann fra deponier mens konsentrasjonen i åpent hav er langt lavere (0,5 ng/L). Som eksempel kan nevnes at utslipp fra deponiene Spillhaug var 251 ng/L vannfase og 109 ng/L fra partikkelfase, Djupvik var det 175 ng/L i partikkelfase og 65 ng/L i vannfase. Renset vann fra Grønnmo inneholdt 202 ng/L vannfase og 32 ng/L av

partikler. Ved Grønnmo var det 24ng/g tørrvekt i slam og sigevannsediment. Det har videre vært undersøkt nivået av PFAS i ferskvannsmiljø i Norge. I vannet fra Glomma, Hurdalsjøen og Øyeren var det 2-6 ng/L, i sediment fra de samme innsjøene var det fra 0,2-1 ng/g tørrvekt. I abbor fra de samme innsjøene var det 2-4 ng/g. Blåskjell fra Norskekysten fra Hvaler og Espevær inneholdt 0,53 – 0,88 ng/g våtvekt. Torskelever indre Oslofjord, Færder, Lista og Ulsteinvik inneholdt 2-6 ng/g våtvekt. I luft er det alkoholen FTOH som dominerer og den finnes i høyere konsentrasjon inne i hus enn utenfor.

Legemidler og Kosmetikk

Det er et stort forbruk av legemidler og kosmetikk i Norge. Det er derfor ikke unaturlig at en del av dette ender ute i miljøet gjennom avfall og kloakk utslipp. I Sverige har en lenge fokusert på utslipp av slike stoffer, også i tyske elver har en kunnet detektere slike stoffer.

I PROFO har en derfor sett på spørsmålet om utslipp av slike stoffer kan bli et problem i norsk miljø. I første rekke er det viktige å få etablere analysemetoder for en del av de antatt viktigste legemidlene. I alt er 22 legemidler blitt analysert, deriblant var 3 smertestillende midler (Ibuprofen), 8 var antidepressiva (lykkepiller), 4 var syntetiske steroider, 2 betablokkere og 1 antibakteriell (Triclosan). Nesten alle ble funnet i utslipp til sjøen rundt Tromsøya, men bare ibuprofen og dets nedbrytningsprodukter (metabolitter) og caffein ble funnet i sjøvann.

I tillegg har en spesielt fokusert på Triclosan. Triclosan finnes blant annet som antibakterielt stoff i tannpasta og en forventer at det er spredd utover hele landet. En har funnet stoffet både i sigevann fra avfallsdeponier og fra kommunalt renseanlegg. Triclosan kan bioakkumuleres og er påvist i blåskjell og fisk. De høyeste verdiene er funnet i gallevæske fra torsk fra indre Oslofjord. I innsjøer har en foreløpig funnet det i Mjøsa der det viser en årtidsvariasjon med de høyeste verdiene om vinteren. Dette skyldes at Triclosan brytes ned av u/v-lys.

I tillegg har kosmetika som musk og nitromusk (luktestoffer) blitt undersøkt. De syntetiske muskstoffene, som nedbrytes dårlig, er foreløpig bare funnet i lave konsentrasjoner i fuglegg (mindre enn 2ng/g våt vekt).

Selv om konsentrasjonen av miljøgifter som DDT og PCB synes å være på vei ned, blir en stadig overrasket over nye miljøgifter som dukker opp. De siste som en har fokusert på er bromerte flammehemmere, polyfluorerte hydrokarboner, kosmetika og legemidler. Vi må forvente at tilgang på slike stoffer vil fortsette i mange år fremover og sette krav til stadig nye undersøkelser og forskning. Det er tre typer virkninger som har en tendens til å finnes fra slike stoffer. Det ene er en virkning på immunsystemet som gjør organismer mer mottagelig for infeksjoner og setter derfor store populasjoner i fare. Det andre er en virkning på nervesystemet som fører til unormal adferd og som kan ha stor effekt på organismenes evne til å finne mat og ta vare på avkommet. Det tredje er en effekt på reproduksjonen som vil ha en direkte effekt på artens evne til å overleve.

Konklusjon

Selv om konsentrasjonen av miljøgifter som DDT og PCB synes å være på vei ned, blir en stadig overrasket over nye miljøgifter som dukker opp. De siste som en har fokusert på er bromerte flammehemmere, polyfluorerte hydrokarboner, kosmetika og legemidler. Vi må forvente at tilgang på slike stoffer vil fortsette i mange år fremover og sette krav til stadig nye undersøkelser og forskning. Det er tre typer virkninger som har en tendens til å finnes fra slike stoffer. Det ene er en virkning på immunsystemet som gjør organismer mer mottagelig for infeksjoner og setter derfor store populasjoner i fare. Det andre er en virkning på nervesystemet som fører til unormal adferd og som kan ha stor effekt på organismenes evne til å finne mat og ta vare på avkommet. Det tredje er en effekt på reproduksjonen som vil ha en direkte effekt på artens evne til å overleve.

Et hovedproblem for vårt land er at mange av disse stoffene har egenskaper som gjør at de konsentreres i Arktiske strøk. Det settes derfor store krav til våre myndigheters evne til å ha oppmerksomhet på slike problemer fordi de kan oppstå hos oss tidligere enn i andre land.





Kapittel 2.

Bjørnøya – et eldorado for miljøforskere



Da AMAP ble startet i 1990-årene ble det tatt prøver fra innsjøsediment og røye fra flere innsjøer i Nord-Norge. Det viste seg at nivået av miljøgifter var relativt lavt med et unntak for Ellasjøen på Bjørnøya, her lå nivåene av klororganiske miljøgifter 10-20 ganger over det nest høyeste. Det reiste selvfølgelig spørsmålet: hva er kilden? De høye verdiene har selvfølgelig også vært et interessant utgangspunkt for økotoksikologiske undersøkelser som har pågått helt inntil i dag. Resultatene har vist at sediment, bunndyr, dyreplankton og røye fra Ellasjøen inneholder langt høyere konsentrasjoner enn tilsvarende innsjøer i Canada, Svalbard og andre innsjøer på Bjørnøya. I begynnelsen fokuserte man på PCB og DDT, men senere resultater har vist at også bromerte flammehemmere finnes der i høye konsentrasjoner. Spesielt interessant er det at en annen innsjø på Bjørnøya Øyangen, viser lave konsentrasjoner. I det følgende arbeidet har en derfor sammenliknet disse to innsjøene.

En av hypotesene som ble fremsatt var at ulike nedbørsmengder mellom Ellasjøen som ligger i et fjellområde, og Øyangen som ligger i slette-landskap, kunne forklare forskjellene i miljø-

giftmengden. I luftmassene dominerte de lette kongenerer (PCB18, 28, 31). Nedbørsmengden er 3-5 ganger større rundt Ellasjøen enn på slette-landet. Dessuten er Ellasjøen omgitt av tåke 25-30 dager i juni-juli. Analyser av nedbør i form av snø, regn og tåke viste høye konsentrasjoner av miljøgifter, men ikke høyere enn det man fant i annet Arktisk område. Tåke og nedbør bidrar generelt mest til utvasking og transport av tungt nedbrytbare miljøgifter fra atmosfæren til bakken. I regnvann dominerte kongenerer 118, 138, 105, 101. Forskjellen mellom Ellasjøen og Øyangen kunne derfor ikke forklares ut fra konsentrasjonsforskjeller i miljøgifter i nedbør, men de høyere nedbørsmengder spilte en rolle. Disse miljøgiftene som transporteres luftveien kommer fra industrialiserte områder i Eurasia.

En annen åpenbar forskjell mellom de to innsjøene var forekomst av sjøfugl. Fuglefjellene rundt Ellasjøen brukes i sommersesongen som hvileområde for flere tusen sjøfugl, i hovedsak krykkje, polarmåke og alkekonge. Området rundt Øyangen brukes derimot svært lite av sjøfugl. Disse fuglene tilfører Ellasjøen 13-15 tonn guano hvert år. Analyser har vist at det er et

betydelig innhold av miljøgifter i guano fra krykkje og polarmåke og noe mindre fra alkekongen. Guano fra disse fuglene inneholdt tunge PCBer (kongener 153, 180, 138, 118). Mengden av PCB i disse fuglene var for alkekonge 37 ng/g våtvekt, for krykkje 174 ng/g våtvekt og for polarmåke 1653 ng/g våtvekt. Dette er første gang at en har påvist at sjøfugl kan transportere miljøgifter fra hav og til innsjøer.

Sedimentasjonsraten i Ellasjøen er relativt høy og sedimentkjerner fra innsjøen er derfor egnet til å vurdere tidstrender for ulike miljøgifter. Ved analyse av sedimentkjerner fra Ellasjøen så er det fremkommet tidstrender for tilførselen av miljøgifter til området. DDT fordoblet seg fra 1940 til 1953, og hadde en topp rundt 1966, deretter har konsentrasjonene sunket med ca. 60% frem til 1994. På samme måte kan en se at PCB er femdoblet fra 1940 til 1966. Deretter har nivået sunket med ca. 30% frem til 1994, nedgangen er altså mindre for PCB enn for DDT. Den vanligste bromerte flammehemmeren PBDE derimot, har økt jevnt fra 1953 og er seksdoblet frem til 1994.

I blodprøver, vev og egg fra polarmåker er det påvist en rekke klororganiske miljøgifter. Disse omfatter PCB, DDT, plantevernmidler som hexaklorbensen (HCB), klordan, dieldrin, hexaklorcyclohexan og diverse dioksiner. I tillegg

er det i dag påvist flere nye forbindelser som bromerte flammehemmere, perfluorete forbindelser og polyklorerte naftalener. På Bjørnøya har en hos døde eller døende polarmåker funnet 10-100 ganger høyere nivåer av miljøgifter i hjerne og lever. Polarmåker spiser også egg og unger av andre sjøfuglarter og disse har et langt høyere nivå enn krykkje og alkekonge som lever av plankton og fisk. Det er også store kjønnsforskjeller fordi hunner kan kvitte seg med miljøgifter gjennom egglegging. Et annet viktig moment er i hvilken grad dyr kan omsette miljøgiftene. Det viser seg for eksempel at isbjørn er relativt god til å uskadeliggjøre miljøgifter mens for eksempel polarmåker er dårlig til å fjerne miljøgiftene. Dette er en av grunnene til at polarmåker har så høye verdier, og i enkelte tilfeller er i slik dårlig forfatning.



Det er ikke lett å si noe om helt bestemt om den toksiske effekten av miljøgifter på fuglebestandene på Bjørnøya. Enkelte polarmåker er blitt funnet selvdøde eller døende. De mest syke har vist tegn til kramper som er et tydelig neurologisk tegn. Videre har en funnet at måker, med høye PCB-verdier i blodet, i rugetiden er mer borte fra redet fordi de tilsynelatende trenger lenger tid til å skaffe mat. Dette øker igjen sannsynligheten for en mislykket hekking. Slike adferdsforstyrrelser er også et tegn på svikt i hjernens funksjon. Videre er det påvist at immunforsvaret er svekket hos fugler med høyt miljøgiftnivå. Dette betyr at de er mindre motstandsdyktige mot infeksjoner og parasitter.

I Arktisk er dyrene under sterkt stress på grunn av kulde og varierende næringstilførsel. Dette samspill mellom stressfaktorer og miljøgifter kan

føre til lavere terskel for sykelig påvirkning. I en type eksperimenter behandlet en fugler for innvollsormer som i seg selv er en belastning. Hos de ubehandlede individene var det mye vanskeligere å få fram unger enn hos de behandlede individene. Det viste at betydningen av å fjerne en type stress (innvollsormer) vil kunne lette virkningen av en annen type stress (miljøgifter).



A photograph of a dense forest. The upper portion shows tall, moss-covered tree trunks and branches, with sunlight filtering through the canopy. The lower portion shows a forest floor covered in lush green ferns and moss. A semi-transparent dark brown banner is overlaid across the middle of the image, containing text.

Kapittel 3.

Metaller – langtransport og nære virkninger

Tungmetallforurensning og deres relaterte økologiske effekter er fremdeles et viktig miljøproblem i Norge og derfor et prioritert forskningsfelt for PROFO. Selv om spesielt kvikksølv har kommet mer i fokus i de senere år, har PROFO hatt fokus på følgende delområder.

- Metodeutvikling for måling av tungmetaller og deres tilstandsformer i ferskvann og saltvann
- Modellering av tungmetallenes tilstandsformer i resipienter.
- Kildekarakterisering og betydningen av langtransport av tungmetaller til Norge.
- Kvikksølv i arktis med fokus på atmosfærisk kjemi og biomagnifisering i næringskjeder
- Mobilisering av tungmetaller fra sediment og deponier
- Effekter av metaller i organismer

Metodikkutvikling for måling av tungmetaller og deres tilstandsformer i ferskvann og saltvann

Analyser av metaller og metallforbindelser i ulike media og biota for bruk i miljørisikovurderinger stiller strenge krav til prøvetagnings- og analyseteknikker fordi metaller og metallforbindelsenes tilstandsformer (spesiering) er av avgjørende betydning for deres mobilitet og biotilgjengelighet samt for deres økotoksikologiske

(effekt på individnivå) og økologiske effekter (effekt på populasjons- og økosystemnivå).

Innsikt i tilstandsformer krever imidlertid en videreutvikling både av prøvetagnings- og analytiske metoder. Informasjon om konsentrasjoner av løste frie metallioner er særlig viktig, fordi disse former (spesier) er mest mobile og biotilgjengelige og har ofte de største toksiske virkninger. DGT (Diffusive Gradients in Thin films) og SCF (Size Charge Fractionation; fraksjonering basert på størrelse og ladning av det undersøkte stoffet) er eksempler på teknikker som nettopp gir innsikt i konsentrasjoner av frie metallioner, og som har blitt videreutviklet med støtte fra PROFO. DGT er en unik passiv prøvetakingsteknologi for metallioner i vann. DGT prøvetakeren fanger opp metallioner fra vannet ved diffusion og integrerer midlere konsentrasjon over prøvetakingsperioden (fra timer til uker). For DGT er deteksjonsgrensene for mange metaller nå blitt tilstrekkelig lave slik at metoden kan benyttes til vanlige toksisitetsvurderinger av organismer i vann.

Ny grunnleggende kunnskap har også blitt frem-skaftet om anvendelse av DGT i saltvann. DGT tar opp noen færre grunnstoffer fra saltvann enn fra ferskvann på grunn av kapasitetsproblemer og selektivitetsbegrensninger, som er mer frem-



Over: DGT prøvetakeren

tredende på grunn av saltvannets høye ione-styrke. Viktige metaller som bly, kadmium, kobber, sink, kobolt, nikkel og aluminium, tas imidlertid opp kvantitativt.

Size Charge Fraksjonering (SCF) er en ny teknikk, basert på filtrering og kationbytte, og som kan brukes for fraksjonering av de ulike tilstandsformer av metaller i ferskvann. I motsetning til DGT kan SCF teknikken brukes for å bestemme tungmetallkonsentrasjoner på bestemte tidspunkter i stedet for snittverdier over gitte tidsintervaller, som med DGT. Dette er en betydelig forbedring av klassiske spesieringsmetoder, der en før stort sett bare kunne fraksjonere aluminium og aluminiumspesier. Størrelseladnings fraksjoneringsmetoden (SCF) er unik i verden, og den har gjort det mulig å få informasjon om tre fraksjoner av hvert element for opp til 55 grunnstoff. Blant disse er viktige metaller som bly, kadmium, kobber, sink, krom, nikkel, aluminium, jern og mangan.

Alternative metoder for in-situ måling av frie metallioner i saltvann har også blitt testet, for eksempel i forbindelse med utlekking av metaller fra deponier og for å kunne registrere mobilisering av metaller som følge av mudring av sjøsedimenter. En automatisert metodikk, basert på voltammetri, har blitt utprøvd i laboratorieforsøk for å samle lange dataserier (flere uker) fra saltvann, som var kontaminert med kadmium og bly. Metodikken er lovende, men trenger forbedringer når det gjelder statistisk usikkerhet, før den kan anvendes i felt.

Modellering av metallers tilstandsformer i resipienter.

Innsikt i faktorer som bestemmer konsentrasjoner av frie metallioner i løsning, er viktige for å kunne tolke mobilitet og biotilgjengelighet av tungmetall-kontaminert jord og vann. Ved siden av de nye analysemetoder nevnt over har også simuleringsmodeller blitt et viktig redskap. Den kjemiske likevektsmodellen WHAM (Windermere Humic Aqueous Model), som inkluderer kompleksbinding av tungmetaller med naturlig organisk materiale i resipienten, har blitt test-

et for simulering av kontaminert jordsmonn. Modellen er god til å beskrive konsentrasjoner av løst kadmium, sink, bly og kobber i jordvann i et område rundt et sink-smelteverk. Simuleringen forutsetter at den geokjemisk reaktive mengde metaller i jord estimeres best ved hjelp av en ekstraksjon med konge vann. WHAM beskriver ikke bare total konsentrasjoner av tungmetaller, men tar også hensyn til deres tilstandsformer, og angir for eksempel hvor mye som er bundet til løst organisk materiale og hvor mye som er frie metallioner. De simulerte verdier som kommer ut av modellen må i neste omgang testes mot målte konsentrasjoner av ulike tilstandsformer (verifisering).

Kildekarakterisering og betydning av langtransport av metaller til Norge

Norge har mottatt store mengder bly ved atmosfærisk langtransport fra Europa. Imidlertid har atmosfærisk nedfall av bly over Norge avtatt gradvis siden 1977, og per i dag er nedfallet bare 10-15% av nivået på 1970-tallet. Blyforurensning kan i mange tilfeller spores tilbake til kilden ved hjelp av forholdet mellom ulike stabile blyisotoper. Forholdet varierer avhengig av blyforekomstens alder og det geokjemiske miljø der den ble dannet. Forholdet mellom blyisotoper i moser på ulike steder i store deler av Norge har variert betydelig over tid og viser at Tyskland var det viktigste kildeområde på 1970-tallet, mens Storbritannia overtok denne rollen på 1980-tallet. Etter at det ble slutt med blytilsetning i bensin, ble Russland det dominerende





kilde-landet. Over de siste 25 år har ulike deler av Norge fått tilført sitt forurensningsbly fra forskjellige kildeområder. Mens nedfallet på det sørlige Vestlandet har vært dominert av utslipp i Storbritannia, har Øst-Finnmark hatt Russland som dominerende kilde. I det østlige Sør-Norge har det vært varierende bidrag fra både Vest-, Sentral- og Øst-Europa.

Konsentrasjonsprofilen i aldersdaterte torvkjerner viser at nedfallet av bly fra atmosfærisk langtransport i Norge, har pågått i mange hundre år og at nedfallet var på et høyt nivå allerede før blytilsetning i bensin ble vanlig. Isotopforholdet av det «tidlige» blyet peker på Storbritannia som det dominerende kildeområde, særlig på Sør-Vestlandet der nedfallet var størst.

Det er en stor grad av likhet mellom det geografiske mønsteret av atmosfærisk nedfall av metaller og metallakkumulering i moser (med høye verdier i Sør og lave i Nord) på den ene siden, og det vi finner i jord, vann og innsjøsedimenter på den andre. Konsentrasjoner av bly, men også av kadmium og kvikksølv, i jord, vann og sediment, er sterk påvirket av langtransport. I tillegg kan det identifiseres lokale forurensningskilder som deponier og industriområder (for eksempel bly i Mo-i-Rana og Odda), eller fra naturlige kilder som viktige årsaker til de økte konsentrasjons-

nivåene som man finner. Noen metaller som f.eks. bly, bindes så sterkt i jorda at mindre enn 10% av det totale atmosfærisk nedfall transporteres ut gjennom avrenningsvann. Dette betyr en netto akkumulering av bly i Norsk jord. Noe liknende gjelder for andre tungmetaller som bl.a. kvikksølv.

Kvikksølv i arktis med fokus på atmosfærekjemi og biomagnifisering i næringskjeder

Det er en stadig økende langtransport av kvikksølv til Arktis. Kvikksølv taes opp i organismer og går inn i næringskjeder. Særlig under den arktiske våren (arctic sunrise), når det er rask økende biologisk aktivitet, skjer det et brått økende nedfall av atmosfærisk kvikksølv. Økt nedfall av kvikksølv under den arktiske våren har skapt stor interesse både i miljøforvaltningen og i media og har tiltrukket internasjonal oppmerksomhet. Forskning støttet av PROFO viser at sentralt for mekanismen er omdannelsen av kvikksølv fra en gassfase (GEM, gaseous elemental mercury) til de mer reaktive fasene (RGM, reactive gaseous mercury, og PM, particulate mercury). Begge reaktive faser har en forholdsvis høy depositions-hastighet. Det økte nedfallet av kvikksølv skjer når solen kommer tilbake i arktis og mens temperaturen fremdeles er under null grader. Disse episodene der konsentrasjonene av elementær

kvikksølv i atmosfæren synker kraftig, kalles for AMDE (arctic mercury depletion event). Det farlige GEM og PM avsettes lett på snø og isoverflater, slik at det kan føre til ekstremt høye konsentrasjoner av kvikksølv. RGM og PM kan deretter omdannes til GEM, som deretter kan fordampe, noe som er sterk korrelert med innfall av solstråling og økt temperatur på overflaten av snøen.

Selv om en signifikant andel av kvikksølv-nedfallet fordampes igjen i løpet av kort tid, blir en vesentlig del transportert til bakken under snøen ved transport med smeltevann. Smeltevannspytters lave konsentrasjoner av kvikksølv viser imidlertid at det ikke skjer en langtidsakkumulering. Dette er sannsynligvis på grunn av at det forgår (stor) høy fordamping av GEM i løpet av den arktiske sommeren.

Det gjenstår fortsatt mye utviklingsarbeid med hensyn til å kunne oppnå mer pålitelige og robuste analytiske metoder for å måle RGM og PM.

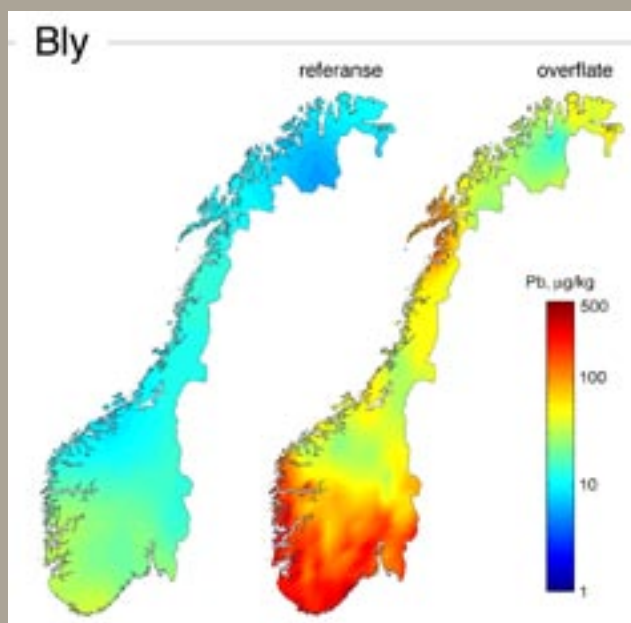
Mobilisering av tungmetaller fra sedimenter og deponier.

Det er stort behov for bedre kunnskap om tungmetallutlekking fra lokale kilder som kommunale deponier og deponier med industrielt avfallsmateriale. Også mobilisering og utlekking av metallforbindelser og metaller fra havnesedimenter, fra ferskvannsedimenter og fra sedimenter i brakkvannspåvirkede fjordsystemer langs norskekysten, er av stor interesse. Grad av mobilitet og utlekking av tungmetaller fra deponier og sedimenter er sterk påvirket av metallens tilstandsform og PROFO har i denne sammenheng støttet flere prosjekter hvor nye metallfraksjoneringssteknikker som for eksempel DGT (se forklaring i avsnitt ovenfor), har blitt anvendt. Utlekkingsstudier i sjønære avfallsdeponier viser at gjennomstrømning av ferskvann har et stort mobiliseringspotensial særlig for sink og kadmium og i mindre grad for bly og kobber. Som gjennomsnitt for vannmassene var bly mest partikkelbundet, sink og kadmium minst. I brakkvannsesipienter, som mottar avrenning fra deponier, blir totalkonsentrasjoner av tungmetaller i vannet først og fremst styrt av fortynning med rent sjøvann. Avvik fra ren fortynning, dvs en raskere minsking av total konsentrasjon, ble imidlertid funnet for kadmium og kobber som følge av overgang fra løst til partikkelbundet form, hvor partiklene raskt sedimenteres. Denne prosessen forklares med at sjøvann har forholdsvis høye konsentrasjoner av organiske partikler som binder tungmetaller som lekker ut fra deponier.

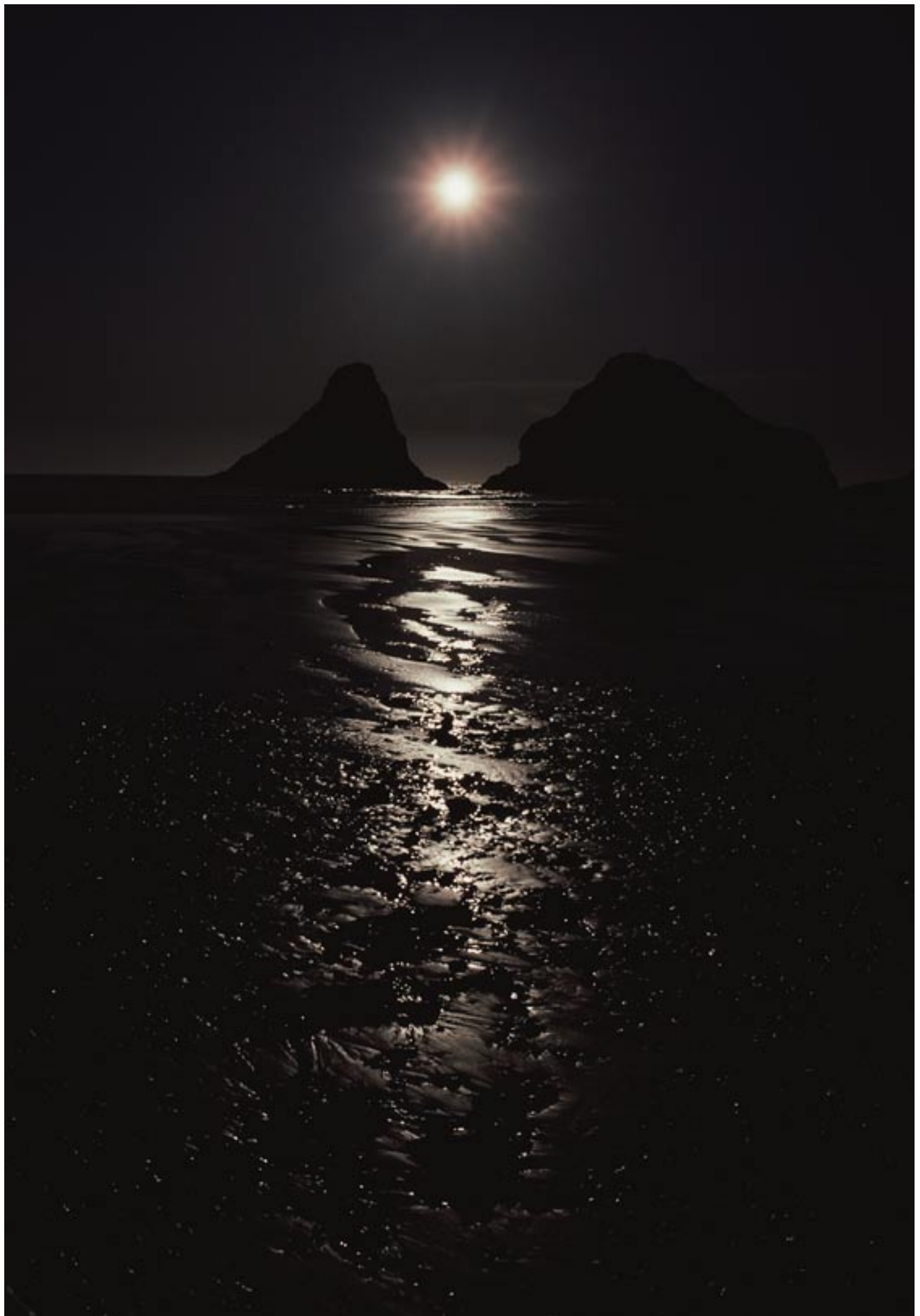
Effekter av kvikksølv og andre metaller i organismer

Oppkonsentrering av kvikksølv (og også av andre biomagnifiserbare miljøgifter) i ferskvannsfisk kan dels forklares med fiskens plass i næringskjeden, målt som forholdet mellom de to stabile nitrogenisotopene ^{15}N og ^{14}N . Dette forholdet, kalt $\delta^{15}\text{N}$, kan benyttes som et mål for

Pb i sedimenter (1996-1997)



*Nord – sør gradient i overflatesedimenter
Normale Pb kons. i overflatesedimenter i Norge:
60-200 mg/g*



organismers plass i næringskjedene, da isotopen ^{15}N anrikes oppover næringskjedene på grunn av en naturlig masseavhengig fraksjonering. Fordi isotopsammensetningen av nitrogen i fisk fra forskjellige innsjøer også varierer, alt ut fra nitrogen-isotop forholdet hos primærprodusentene, ble det utviklet en ny teknikk som tar hensyn til $\delta^{15}\text{N}$ helt fra «bunnen av» de akvatiske næringskjedene (klorofyll-a fra planktonalger).

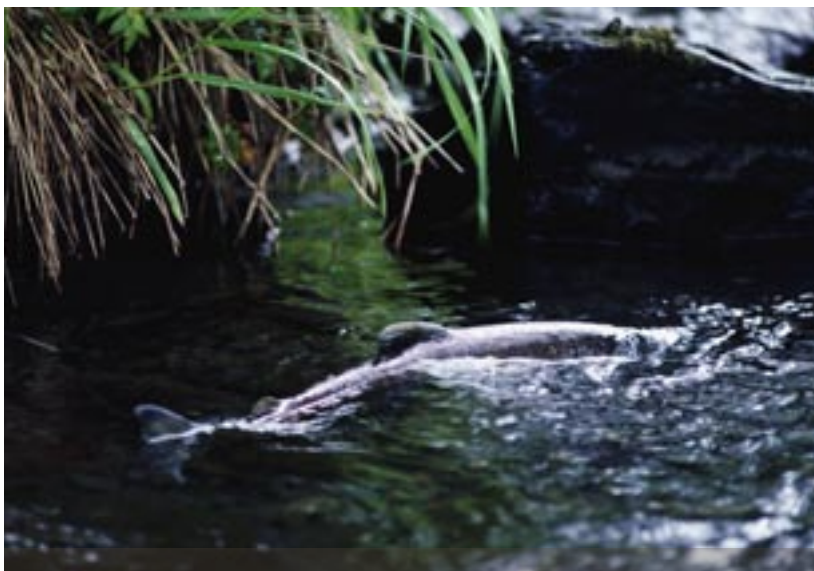
Konsentrasjoner av aluminium i ferskvann, som målt med DGT metoden, er godt korrelert med konsentrasjonen av «gjelle-aluminium» (Al-spesier, som polymeriserer ved visse konsentrasjoner og pH-verdier i vannet, og som hindrer gass utveksling og fører til dødelighet) på laksefisk. Dette viser at DGT prøvetakeren kan være godt egnet som en effekt indikator for reaktivt aluminium i vann med hensyn på å gradere risiko for laksedød i vannet.

Etter ytterligere videreutvikling og tilpasninger kan DGT teknologien også bli et nyttig verktøy for overvåking og dokumentasjon av vannkvalitet innen akvakultur. DGT kan også brukes som et generelt prognoseverktøy for å forutsi risiko for skadelige effekter av en rekke metaller på fisk.

PROFO prosjekter har vist at fiskepopulasjoner kan tilpasse seg til høye konsentrasjoner

av tungmetaller som kadmium, kobber og sink under naturlige flømeepisoder i gruveforurensete elver. Det er fortsatt et åpent spørsmål hvilke mekanismer som ligger til grunn for slike tilpasninger, men det er funnet at en lang rekke stressproteiner kan spille en rolle i detoksifisering av tungmetaller og andre miljøgifter under slike ekstremisituasjoner. Med støtte fra PROFO har nye metoder blitt tatt i bruk for å bestemme genekspresjon i gjelle hos sebrafisk. Etter akutteksponering av sebrafisk for kadmium og kvikksølv økes ekspresjon av stressgener i gjellene. Mønsteret i genekspresjon blir forskjellig avhengig av om fisken var eksponert for kadmium eller kvikksølv. Et distinkt mønster i genekspresjon kan utgjøre en mulig biomarkør for identifikasjon av giftpåvirkning.

PROFO støttet også et prosjekt hvor reetablering av ørretbestanden i tre sur- nedbør- påvirkete vann (som følge av toksisk effekt av oppløst



aluminium fra jordsmonnet) med ukalkete vassdrags tifer, ble studert. Disse vannene befant seg henholdsvis i Vest-Agder, Aust-Agder og Buskerud. Det viste seg at store forekomster av en enkel årsklasse i populasjonssammensetningen tidlig i forbedringsprosessen kan gi et positivt bilde av den generelle reetableringen av fiskebestanden i en innsjø. Noen sammenheng mellom en økning i disse vannenes såkalte ANC (dvs. syre nøytraliserende kapasitet) som funksjon av minket forsuring og tidspunktet for full reetablering av en fiskebestand som selvreproduserer ble derfor ikke funnet.

Mikroorganismesamfunnet i jord er viktig for prosesser som energiomsetning og næringsomsetning. Slike mikrobiologiske samfunn påvirkes av næringstilgang, predasjon og fuktighetsforhold, men også av miljøgifter som tungmetaller. I forurensete områder med høyt innhold av kadmium og sink blir dette mikroorganismes-

samfunnet stresset og det er de mest tolerante organismene som overlever og dominerer. Dette fører til en endring av artssammensetningen (artsmangfoldet blir redusert), men det gjenstår å se hvilken betydning tungmetallforurensingen har for de mest sentrale økosystemfunksjoner. Imidlertid er det ikke totalkonsentrasjonene av metallene i jorda, men aktivitetene av metallene i jordvann som er av betydning for sammensetningen av mikroorganismesamfunnet.

Konklusjon

Dokumentasjon og erkjennelse av disse fakta og de andre PROFO-resultatene som er beskrevet i dette metallkapittelet, er et helt nødvendig vitenskapelig bidrag for de miljørisikovurderinger som foretas av myndigheter og andre, både nå og i fremtiden.





Kapittel 4.

Radioaktivitet

Marin radioøkologi

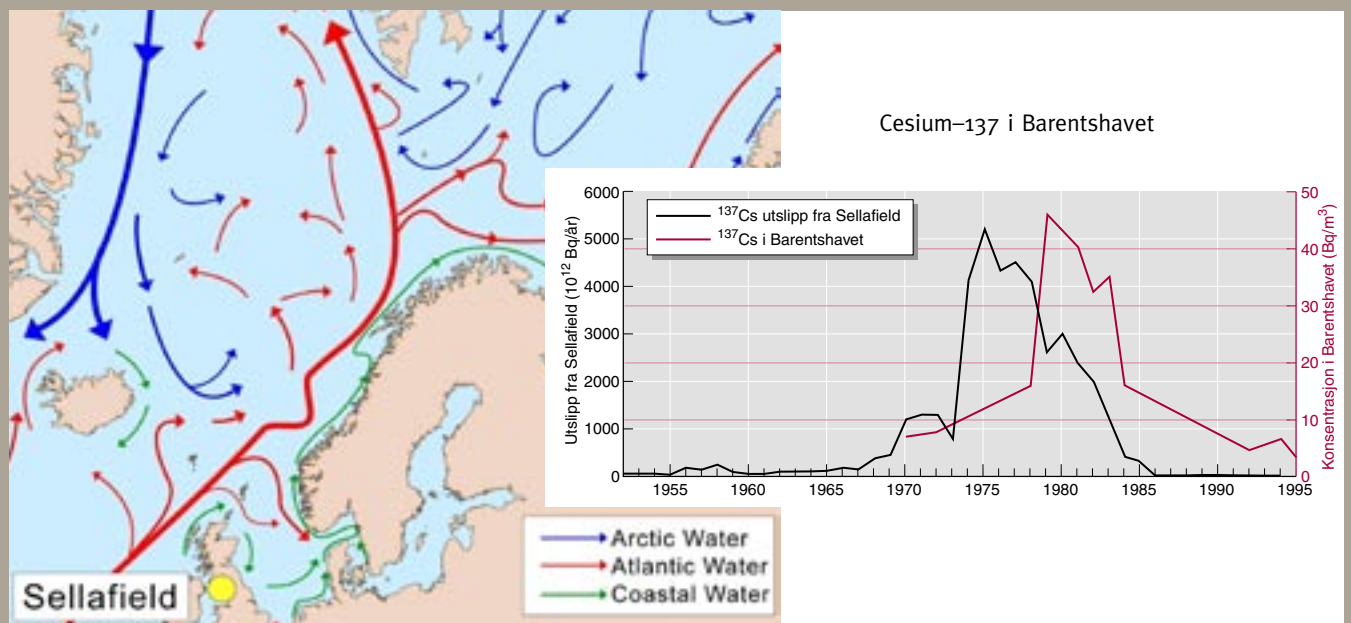
Våre nordlige havområder har blitt tilført menneskeskapt radioaktivitet i et halvt hundre-år. Noen av de viktigste kildene er nedfall fra kjernefysiske prøvesprengninger på 1950- og 60-tallet, utslipp fra gjenvinningsanleggene for brukt kjernefysisk brensel i Sellafield og La Hague, og dumping av radioaktivt avfall i Barents- og Karahavet. Dessuten har de russiske elvesystemene Ob og Jenisej utløp i Karahavet og fører med seg radioaktivt materiale fra avrenning eller utslipp fra kjernefysiske anlegg.

Nivåene av menneskeskapt radioaktivitet i sjøvann, fisk og sjømat i alle norske havområder er per i dag lave og representerer ingen risiko for befolkningen. Det er imidlertid potensiale for utslipp til arktiske havområder forbundet med uhell og ulykker, og det er en kontinuerlig tilførsel av radioaktiv forurensning fra Sellafield og La Hague. Sedimenter som opprinnelig fungerte som deponi for metaller og radioaktive stoffer i utslipp fra for eksempel Sellafield og Majak PA

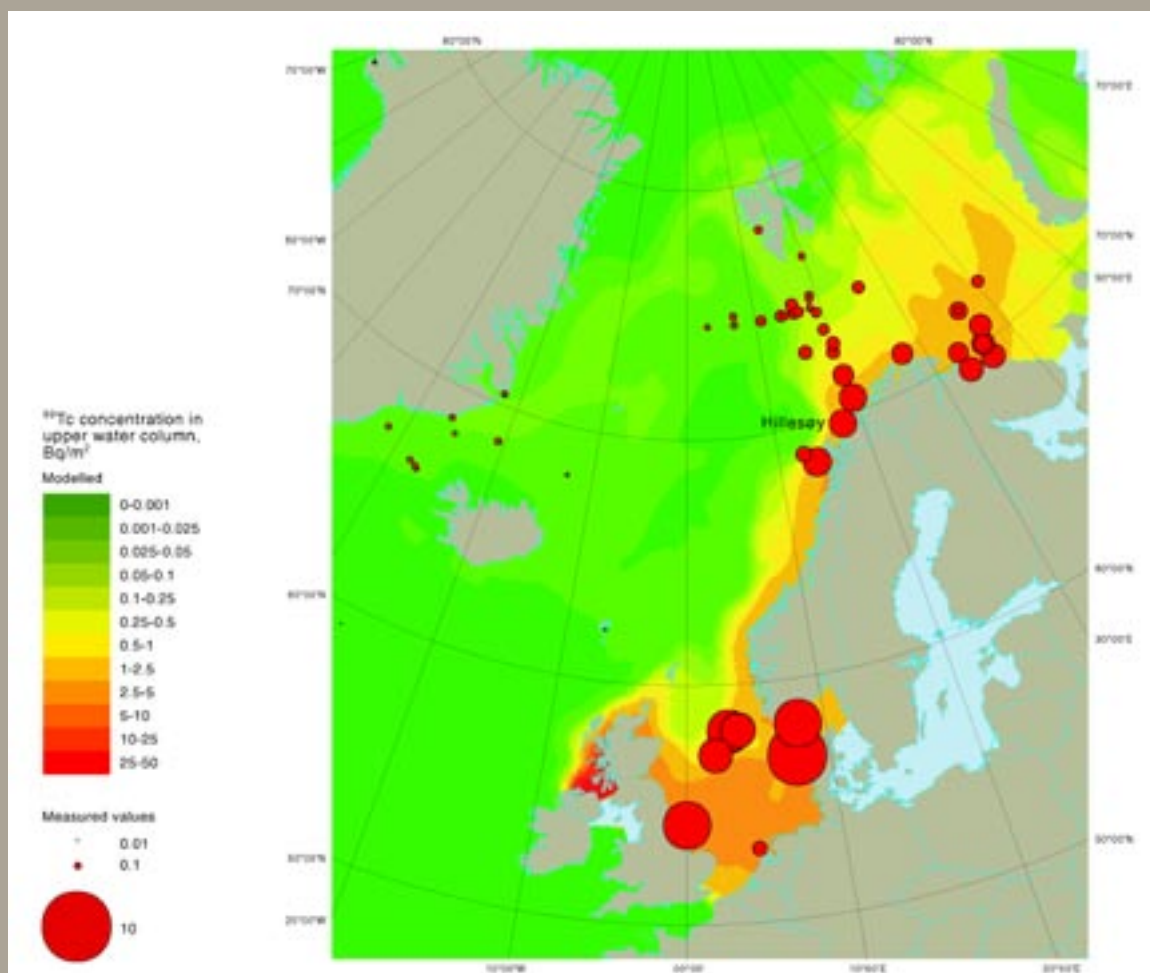
eller ved nedfall kan også være en kilde til senere forurensning. Det arbeides derfor kontinuerlig med å oppnå økt kunnskap om transportveier og prosesser for overføring av radioaktivitet fra kildene til norske havområder, om sedimentering og mobilisering fra sedimenter, og om opptak og transport i de marine næringskjedene. De forbigående økte utslippene av ^{99}Tc fra Sellafield på midten av 1990-tallet er et anvendelig sporstoff for havstrømmer i Nord-Atlanteren, og en gjennomgang av observerte konsentrasjoner av ^{99}Tc langs norskekysten de siste 20 år har bidratt til forbedring av havstrømsmodellene som brukes i konsekvensvurderinger.

Laboratorieeksperimenter med sediment fra Irskesjøen viste at forstyrrelser av sedimentene, som simulerte stormer og tråling, kan mobilisere Pu og resultere i opptak i planter og dyr lengre unna. I eksperimentene hadde disse forstyrrelsene imidlertid ikke noen effekt på mobilisering av Cs, og i tillegg var remobilisert Cs lite tilgjengelig for opptak i planter og dyr.

Utslipp fra Sellafield



Tc-99 i overflatevann (juni 1999)



*Målt og modellert Tc-99 fordeling i overflatevann, juni 1999
Data: Strålevernet og Risø Model: AWI*

Studier av ^{99}Tc i ulike marine vekster og dyr har bekreftet tidligere funn av relativt høyt opptak av ^{99}Tc i tang (spesielt i stilken), mens fisk (oppdrettslaks og sild) og strandsnegler tar opp mindre ^{99}Tc . Blant hummer har en funnet at hunner har om lag 4 ganger høyere ^{99}Tc -konsentrasjoner i muskel enn hanner. Konsentrasjonen av ^{99}Tc i alginatprodukter er opp til 500 ganger lavere enn i tangen som er råmaterialet. Et

laboratorieeksperiment som ble gjennomført for å studere fordeling av ^{99}Tc i regnbueørret viste at over 90 % av aktiviteten ble gjenfunnet i fiskens milt og nyrer 27 timer etter injisering. Et annet eksperiment viste at lakseyngel som utsettes for $^{99}\text{TcO}_4^{-2}$ har et større opptak av stoffet når de ikke lenger har eggsekken.

Studier av egenskapene til metaller og radioak-

tive stoffer i sedimenter innsamlet fra forskjellige områder viser at transuraner som Pu i reduserte miljøer i oksygenfattige marine dypvannssystemer er mobile og foreligger som lavmolekylære former i motsetning til i oksygenrike marine miljø, og fordelingskoeffisienten for Pu mellom sediment og sjøvann er også lav (dvs. større andel Pu i vannmassene). For ^{99}Tc er situasjonen motsatt, med høyere fordelingskoeffisient i oksygenfattig enn oksygenrikt sjøvann. Eksperimenter viser også at endringer i det ytre miljøet (for eksempel salinitet og pH) kan resultere i remobilisering av deponerte radionuklider. For eksempel viser eksperimenter som simulerer transport av forurensete sedimenter fra Majak til Karahavet at mer av både ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{99}Tc og ^{90}Sr vil kunne frigis fra sedimentene dersom de kommer i kontakt med sjøvann. Kontaminerte sedimenter kan derved fungere som en diffus kilde til radioaktiv forurensning i fremtiden. Imidlertid antyder simulering av mulige situasjoner med utstrømming av forurensning fra estuariene i de store sibirske elvene Ob og Jenisej at selv de verste situasjonene vil føre til forurensningsnivåene i vann og bløtdyr langt under grenseverdiene.

De fleste eksperimentelle resultatene inkorporeres i spredningsmodeller for radioaktivitet i havmassene på den nordlige halvkule. Den norske «boksmodellen» som gjennom de siste 10-15 årene har vært utviklet for å studere konsekvenser av utslipp av radioaktive stoffer til havet har blitt utvidet til å gjelde noen tungmetaller, det er gjort forbedringer i forbindelse med havstrømmer og fordelingen av forurensningen innenfor de ulike boksene i modellen, og det er utviklet moduler for transport av radioaktive stoffer og tungmetaller innfrosset i is. Det er også gjort forbedringer av doseberegningene gjennom statistiske og eksperimentelle vurderinger av fysiske og biologiske parametrene som inngår i boksmodellen. Dette har blant annet ført til at beregnede doser fra ^{99}Tc i Sellafield-utslippene blir 50 % høyere enn ved tidligere beregninger.

Akvatisk radioøkologi

På grunn av lave konsentrasjoner av ulike ioner i ferskvann, vil radioaktiv forurensning av fersk-

vann gi høyere konsentrasjoner av radioaktive stoffer i biota enn hva tilsvarende forurensning av saltvann vil gi. Spesielt gjelder dette forurensning med radioaktivt cesium, som demonstrert etter Tsjernobyl-nedfallet i 1986 da cesiumforurensning førte til omsetningsforbud for fisk fra flere ferskvann i Norge. Følgene av Tsjernobyl-nedfallet resulterte i mye forskningsinnsats rundt radioaktiv forurensning i norske ferskvannssystemer, og fortsatt følges to innsjøer rutinemessig opp med overvåkningsmålinger. Det er hovedsakelig cesium som har blitt studert, men det er også gjennomført noen studier av ^{90}Sr .

Gjennom et EU-prosjekt har PROFO støttet et prosjekt som har fokusert på bruk av nye målemetoder for å studere forekomst og oppførsel av isotoper av U, Pu og Tc i ferskvannssystemer knyttet til Majak-området, deriblant isotoper som forekommer i så lave konsentrasjoner at de tidligere ikke har kunnet bli studert. Forhold mellom isotoper ble brukt til å karakterisere kilden til forurensningene i de ulike delene av ferskvannssystemet, og overgangen fra militær til sivil aktivitet ved Majak-anlegget kan spores i for eksempel forholdet mellom Pu-isotoper eller U-isotoper i jord, vann, planter og fisk. I prosjektet inngikk også modellering av transport av Sr og Pu i elvene, samt simulering av konsekvenser av mulig ødeleggelse av reservoarer i Majak-området.

Terrestrisk radioøkologi

Tsjernobyl-nedfallet rammet særlig fjellområdene i Sør-Norge, Nord-Trøndelag og søre del av Nordland, og selv tjue år etter ulykken er det behov for tiltak mot forurensningen innenfor både melk- og småfeproduksjon og reindrift i de mest forurensete områdene. Felles for disse er at produksjonen foregår i utmarksområder, og fordi utmarksbeiter verken pløyes eller gjødsles forblir radioaktivt cesium tilgjengelig for opptak i beiteplantene over lengre tid. I tillegg vil beitedyr i gode soppår spise mye sopp som inneholder mer radioaktivt cesium enn grønne beiteplanter.

Reindrift drives på om lag 40 % av Norges landareal, og erfaringene med nedfallet både



fra de atmosfæriske prøvesprengningene av kjernevåpen på 1950- og 60-tallet og fra Tsjernobyl-ulykken viser at produksjon av reinsdyrkjøtt er spesielt utsatt for radioaktiv forurensning. Dette skyldes særlig at reinsdyra spiser mye lav. Lav har ingen røtter, vokser sakte, har stor overflate og fanger næringsstoffer og forurensning direkte fra luft og nedbør. Derfor blir lav mer forurenset enn annen beitevegetasjon ved et nedfall. Nyere feltundersøkelser viser at det de siste 5–10 årene har vært lite videre nedgang i ^{137}Cs -konsentrasjoner i reinsdyr. Dette er i samsvar med observasjoner i andre deler av økosystemet, og tyder på at tiltak mot forurensningen vil være nødvendig i mange år framover i de mest forurensete områdene. Feltundersøkelsene har også gitt nye kunnskap om ^{90}Sr , ^{210}Pb og ^{210}Po i reinsdyr, og det er også undersøkt om ^{137}Cs kan brukes som sporstoff i gaupers diett for å finne ut om de spesialiserte seg på enkelte byttedyr. Fôringforsøk med reinsdyr viste at sesongvise endringer i reinens diett og stoffskifte reduserer utskillingshastigheten av Cs i rein med 40 %. Et fôringforsøk med drektige reinsimler viste at omtrent like mye Sr og Cs blir overført fra dietten til reinfoster, mens etter kalving ble 5–6 ganger mer Cs enn Sr overført fra dietten til reinmelk. Som forventet ble overføring av Cs og Sr til reinmelk funnet å være høyere enn i mange andre drøvtyggere. De hardest rammete sørsamiske reindriftsutøvere har levd med overvåking og tiltak mot Tsjernobyl-nedfallet som del av sitt daglige kosthold i 20 år. Tilsvarende forurensningssituasjoner er neppe erfart av andre befolkningsgrupper i Norge.

PROFO har også støttet en studie av opptak av Pu i raygrass som viste at Pu binder seg forholdsvis godt til jorda og at mindre enn 0,1 % av Pu i jorda tas opp i plantene.

Beslutningstøttesystemer for nye forurensningssituasjoner

Gjennom EUs 5. rammeprogram fikk flere norske institusjoner delta i store internasjonale prosjekter som systematiserte eksisterende kunnskap i radioøkologi (inkl. tiltak mot radioaktiv forurensning), og evaluere og utvikle modeller og brukerstøttesystemer for beredskapssituasjoner. Norsk deltakelse var viktig i disse prosjektene siden Norge som et av få land i Vest-Europa har erfaring med langtidsforvaltning av forurensete områder.

Et prosjekt hadde som mål å utvikle helhetlige rammeverk for beslutninger og strategier for tiltak i tilfelle en kjernekraftulykke eller annen hendelse med forurensning av by- og landmiljø. Dette inkluderte vurdering av så vel naturvitenskapelige og tekniske aspekter som samfunnsvitenskapelige og etiske forhold, og inkluderte brukergrupper og konsultasjoner med berørte parter («stakeholders»). Tre av hovedresultatene kan oppsummeres slik:

- 1) Database over mottiltak: En rekke potensielle mottiltak ble evaluert med hensyn på anvendbarhet. Det ble lagt vekt på etiske, sosiale og legale aspekter ved tiltakene, i tillegg til den tradisjonelle vurderingen av mottiltakenes effektivitet. Til sammen 101 ulike mottiltak ble inkludert i en database

med en systematisk beskrivelse av hvert tiltak, samt viktige aspekter som gjennomførbarhet, avfallsbehandling, bi-effekter med assosierte kostnader, miljømessige begrensninger, synspunkter fra berørte parter m.m. Databasen er tilgjengelig på prosjektets Internettside (www.strategy-ec.org.uk).

- 2) Verdimatrise: Prosjektet la vekt på at sosiale og etiske betraktninger bør inngå tidlig i en beslutningsprosess, og viktigheten av å inkludere berørte parter tidlig i prosessen. Det ble utviklet en verdimatrise som hjelpemiddel for å sikre åpne og systematiske vurderinger av etiske forhold ved valg av mottiltsstrategi, og denne teknikken har også vakt interesse i andre fagmiljøer der risikovurderinger inngår. Matrisen bygger på etiske grunnprinsipper om respekt for berørte gruppers integritet og verdighet, og fordeling av velvære, risiko og rettferdighet i befolkningen. Denne verdimatrisen har i etterkant blant annet vært utprøvd i den norske atomberedskapsorganisasjonen.
- 3) Beslutningsstøttesystem, en PC-basert modell som kan benyttes til å se på konsekvenser av en forurensningssituasjon, beregne stråledoser, utforske effekter av forskjellige tiltak og optimalisere omfang av mottiltak ved en ulykke. Modellen gir også informasjon om sannsynlige konsekvenser av forskjellige strategier. Den er ment som et supplement for beslutningstakere, og er ikke laget for å gi definitive løsninger.

I en forurensningssituasjon kan disse tre hovedresultatene brukes interaktivt for å finne de beste opprydningsstrategiene for forskjellige områder.

Et annet prosjekt evaluerte eksisterende modeller og forvaltningsverktøy for radioaktiv forurensning av ferskvannøkosystemer, for å forbedre verktøyene og forutsigbarheten av de økologiske, økonomiske og sosiale virkningene av både nedfall og tiltak. Prosjektet involverte også brukergrupper og eksperter fra miljømyndigheter i evalueringene. For å forutsi tilførsel av radioaktive stoffer fra nedslagsfelt viste prosjektet at de relativt enkle, empirisk baserte modellene som er

utviklet i regi av internasjonale samarbeidsprogrammer i løpet av de siste 10-15 årene, som regel gir pålitelige prognoser. Også modellering av radioaktive stoffer i innsjøer er betydelig forbedret i løpet av de siste årene, men det kan være problemer med å modellere spesielle innsjøtyper og de biologiske komponentene. Modeller for å forutsi virkninger av radioaktivt nedfall på elver er fremdeles også beheftet med relativt store usikkerheter, og eksisterende modeller kan ikke forventes å gi bedre informasjon enn observasjoner. Forvaltningen har en del valg når det gjelder mottiltak etter et radioaktivt nedfall på ferskvannøkosystemer. Mottiltakene spenner fra konkrete kjemiske tiltak til drikkevanns- eller fiskeforbud. I noen tilfeller kan en kombinasjonsstrategi være optimal, mens i andre kan det være best å ikke gjennomføre tiltak.

Kjernekjemi og analytisk kjemi

For radioaktive stoffer som ikke kan bestemmes ved hjelp av gamma-spektrometri, og som krever kjemiske prosedyrer i laboratorium, vil det alltid være ønske om å forenkle og effektivisere analysemetodene. Spesielt gjelder dette stoffer som vanligvis bare finnes i lave konsentrasjoner, og som nødvendigvis krever store mengder prøvemateriale. Prosjektene under PROFO har derfor fokusert på effektivisering av analysemetoder, og har inkludert fraksjonering av prøvemateriale i felt, mer effektive og hurtigere metoder for oppkonsentrering og separasjon av isotoper i laboratoriet og mer sensitive deteksjonsmetoder ved bruk av massespektroskopiske metoder (som



AMS og ICP-MS). Det er utviklet mer effektive separasjonsmetoder for ^{90}Sr , ^{241}Am , ^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$ og ^{244}Cm i sjøvann og avløpsvann, jord, sediment og urin ved bruk av selektive kromatografiske «resiner» (TRU- og Sr-Resin). Felles prekonsentrering av isotopene med etterfølgende separering av Sr og transuranene i en dobbeltkolonne reduserer både tid og kostnader i analysene i forhold til tradisjonelle metoder. Effektiviseringen og besparelsene er spesielt store for bestemmelser av ^{90}Sr . Det er også arbeidet videre med optimalisering og kvalitetssikring av alfa-spektrometri, og det er utviklet forenklede metodene for beredskapsmessige formål. Nye muligheter for bestemmelse av Pu og Tc med ICP-MS og AMS gir lavere deteksjonsgrenser og mulighet for karakterisering av forurensningskilder som ikke har vært mulig med tradisjonelle målemetoder. Metodeutviklingen har fokusert bl.a. på å minimalisere molekylære interferenser og optimalisere transporteffektiviteten ved ulike prøveinnføringsmetoder på ICP-MS, bl.a. metodene pneumatisk forstøver, ultralydforstøver, ultralydforstøver med membranresolutor og elektrotermisk fordampningsinnføring. For Pu gir de nye metodene et forbedret deteksjonsnivå med en faktor 100. Dette gir nye muligheter for å måle mengdeforholdet av ulike plutoniumisotoper i miljøet. Analyse av forholdet mellom ulike plutoniumisotoper,

særlig forholdet mellom ^{239}Pu og ^{240}Pu , sammen med studier av de forskjellige former av plutonium, har gitt ny informasjon om hvilke kilder forurensningene stammer fra og hvordan disse forurensningene vandrer i miljøet.

Radioaktiv forurensning inneholder en del radioaktive stoffer bundet i partikler, og disse partiklens fysiske og kjemiske egenskaper kan være viktig for konsekvensene av forurensningen. Dette kan bl.a. være viktig for aktinider, og det er derfor utviklet avanserte analytiske teknikker for å studere former, mobilitet og biotilgjengelighet av disse stoffene i partikler fra ulike forurensete områder i Europa (bl.a. Tsjernobyl, Majak, Sellafield, Palomares og Thule). Spesielt er fordelingen av U og Pu i partikler studert. Det er også brukt massespektrometri for å studere isotopforhold i partiklene, og løseligheten av forskjellige typer partikler i biologisk interessante løsninger som simulert magesyre har blitt undersøkt. Radioaktive partikler kan identifiseres, isoleres og karakteriseres vha. digital autoradiografi, gammaspektroskopisk og skanning elektronmikroskopi med røntgenmikroanalyse, som gir bl.a. størrelsesfordeling og struktur- og element sammensetning på overflaten. Isolerte partikler kan studeres videre med avanserte synkrotronbaserte mikrorøntgenteknikker ($\mu\text{-XRF}$, $\mu\text{-XRD}$, $\mu\text{-tomografi}$, $\mu\text{-XANES}$) som gir informasjon



om elementsammensetning i hele partikkelen, oksidasjonstilstander og krystallografiske former. Resultatene viser at de radioaktive partiklenes sammensetning er relatert til utslippskilden (kildeterm), mens partiklenes egenskaper (partikkelstørrelse, krystallografiske mikrostrukturer, oksidasjonstall og løselighet) i stor grad avhenger av utslippsbetingelsene (for eksempel temperatur og trykk).

Flere av metodeutviklingene har skjedd i forbindelse med studier av sedimenter og kilder som er omtalt i de foregående avsnittene, og en del av de mest avanserte analysemetodene krever tilgang til utstyr og instrumentering i andre land.

Dosimetri, strålingsfysikk og biologi

PROFO har støttet både eksperimentelle prosjekter innen dosimetri og strålebiologi, og mer overordnede prosjekter med utvikling av strålevernprinsipper for beskyttelse av naturmiljøet. Bestemmelsen av stråledosen, målet for absorbert strålingsenergi per masseenheter, er grunnleggende for anvendelser av stråling og også forvaltning av radioaktivitet og stråling. Under PROFO ble det videreført et prosjekt fra Strålevernprogrammet for å videreutvikle EPR-dosimetri for relativt lave doser i medisinsk bruk. EPR-dosimetri tar utgangspunkt i at det dannes stabile radikaler i visse materialer når de eksponeres for ioniser-

ende stråling. Denne radikaldannelsen kan måles ved hjelp av elektron paramagnetisk resonans (EPR) – spektroskopi, og brukes til å bestemme stråledosen som materialet («dosimeteret») har absorbert. Metoden har et stort potensial innen en rekke forsknings- og anvendelsesområder, bl.a. industriell overvåking, strålevernsberedskap, geologisk- og paleontologisk datering, og for deteksjon av bestrålte matvarer. Prosjektet fant at litiumformiat er et svært lovende lavdosemateriale, med tilnærmet lineær doserespons i området 0,1 til 100 Gy, samt stabil og lett målbar radikaldannelse. Konklusjonen fra prosjektet var at EPR-dosimetri med litiumformiat syntes å kunne være godt anvendbart for lavdosemålinger i forbindelse med kvalitetssikring i stråleterapi.

Eksperimentelle studier av effekter av ioniserende stråling på forskjellige dyr viste bl.a. at meitemarkens DNA skades av ioniserende stråling omtrent slik som pattedyrcellers DNA, og at skader i form av DNA-enkeltrådbrudd blir reparert. Imidlertid ble det ikke påvist permanente effekter av stråling fra ^{137}Cs på meitemark, selv om de ble utsatt for akkumulerte stråledoser opp til ca. 4 Gy i løpet av eksperimentet. Heller ikke i reproduksjonsforsøk med sebrafisk som inneholdt opp til ca. 25 MBq ^{137}Cs /kg ble det funnet tydelige effekter av strålingen, men noen ikke-signifikante forskjeller i kondisjonsfaktoren,



totalt antall egg per gram fisk, andel befruktete egg og andel embryo som døde under utviklingen i henholdsvis eksponert og ikke-eksponert fisk kan antyde noe påvirkning av bestrålingen. Et 171 dagers eksperiment med reinsdyrkalver som ble gitt opp mot 1160 kBq ^{134}Cs /dag viste at de mest bestrålte kalvene hadde både et høyere antall kromosomaberrasjoner og høyere antall mitoser med kromosomaberrasjoner. Akkumulerte stråledoser til disse kalvene i løpet av eksperimentet var omtrent 1 Gy.

Tradisjonell strålevernfilosofi har fokusert på beskyttelse av mennesket, og antatt at naturmiljøet har vært tilstrekkelig beskyttet dersom mennesket har vært det. I løpet av det siste tiåret har det blitt stilt spørsmål ved denne antagelsen, og norske fagmiljøer har vært sterkt delaktige i arbeidet med å etablere et rammeverk for strålevern for naturmiljøet. PROFO støttet norsk deltakelse i EU-prosjektet FASSET som laget et system for vurdering av miljøeffekter av ioniserende stråling i europeiske økosystemer. For å være praktisk håndterlig er systemet basert på «referansepunkter» i form av ca. 30 referanseorganismer som lever i 7 definerte økosystem. Disse organismene er representert ved ulike modeller og parametere som brukes til å si noe om hvilken skade stråling kan ha. Fire kategorier skade er vurdert: Sykelighet, dødelighet, redusert formeringsevne, og mutasjoner. Studiene i prosjektet gir få indikasjoner på at kronisk bestråling under 100 $\mu\text{Gy}/\text{time}$ gir tydelige effekter i miljøet, men på grunn av kunnskapshull advares det mot å bruke denne informasjonen til å etablere grenseverdier for «trygge» strålenivåer. Informasjon og dokumentasjon fra prosjektet kan finnes på Internett-sidene til det etterfølgende EU-prosjektet (<http://www.ERICA-project.org/>).

Bakgrunnsstråling og radon

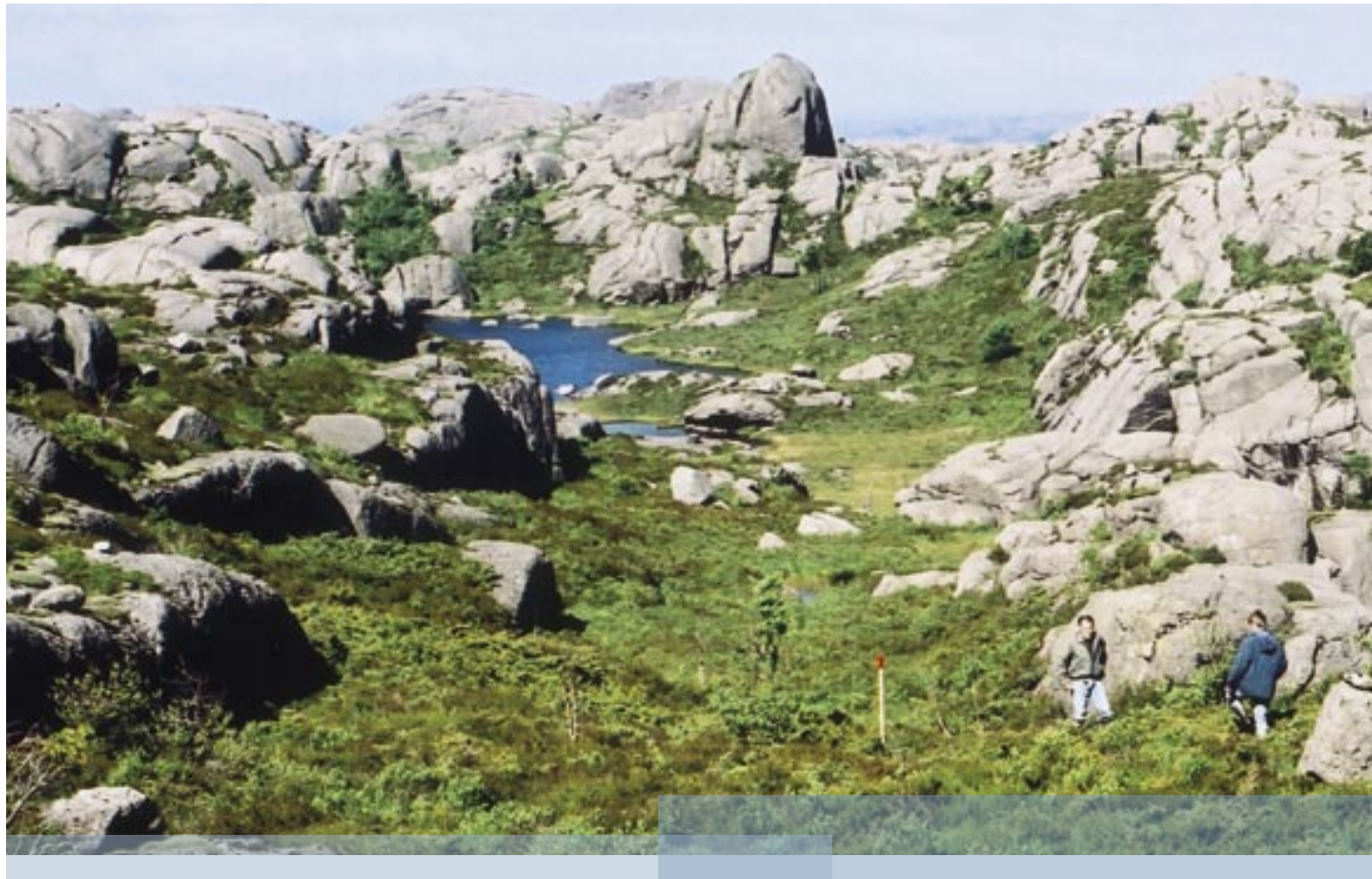
Menneskene har til alle tider vært utsatt for naturlig stråling, og har utviklet seg i henhold til dette. Den viktigste kilden for naturlig stråling er radon (og datterprodukter), spesielt i uran- eller thoriumrike områder. Selv om radon er naturlig forekommende radioaktivi-

tet, 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. PROFO videreførte et prosjekt fra Strålevernprogrammet som studerte sammenhenger mellom geologi og radonnivåer i norske boliger med tanke på å kunne gjøre radonrisiko-vurderinger på grunnlag av geologisk kunnskap. Prosjektet viste at det finnes klare sammenhenger mellom geologi og radongassnivåer i norske boliger, og radiumkonsentrasjonen og permeabiliteten i byggegrunnen er viktige faktorer for radonnivåene i boliger. Byggegrunn med høy radonrisiko inkluderer a) berggrunn med forhøyede verdier av radium og b) løsmasser med høy permeabilitet dannet fra alle typer berggrunn, samt løsmasser med middels permeabilitet dannet fra radiumrik berggrunn. Det er mulig å gi et estimat av radonrisikoen i et område basert på relativt lett tilgjengelige geologiske data. Denne kunnskapen er svært nyttig i arbeidet med å identifisere eksisterende boliger med forhøyede verdier av radongass, samt i å forhindre at radonnivåene i nye bygninger vil overskride tiltaksgrensen.



Kapittel 5.

Nitrogen, sur nedbør



Innledning

Avrenning av næringsstoffene nitrogen og fosfor representerer den største risiko for redusert vannkvalitet og eutrofiering i Norge, og de viktigste antropogene kilder er kommunalt avløpsvann, avrenning fra jordbruksareal og industri. Ved PROFOs oppstart knyttet kunnskapsbehovene omkring næringssaltbelastning og eutrofiering seg særlig til transportveier, selvrensing og omsetning av nitrogen og fosfor, samt effekter på biologisk mangfold. Nitrogen tilføres også norske økosystemer i betydelig grad med sur nedbør, og dette spiller en viktig rolle for forsurening av vann i Norge. Mens svovelutslippene i Europa har blitt kraftig redusert de siste tiårene, viser nitrogen-tilførselene bare en svakt synkende tendens. I arbeidet med reduksjon av luftforurensninger er det økosystemenes tålegrenser – dvs kritiske belastningsgrenser for nitrogen og svovel – som danner grunnlaget for krav om utslippsreduksjoner i protokoller under Konvensjonen om langtransporterte grenseoverskridende luftforurensninger. Norge har i europeisk sammenheng noen av de mest følsomme økosystemer i forhold til forurensning og nitrogeneffekter, og overvåk-

ing viser at nitrat øker i avrenningen. Fjell- og heiområder i Norge, spesielt i sørvest Norge er særlig utsatt for økning i nitrogenlekkasje. Nitrogenlekkasje fører til forurensning av ferskvann og kan også bidra til økt eutrofiering av ferskvann, fjorder og kystfarvann. Før PROFO var det relativt godt kunnskapsgrunnlag om forholdene i skog, mens det var betydelig kunnskapsmangel om hei- og fjellområder og konsekvenser av avrenning fra disse for vassdrag og kystvann.

Nitrogenlekkasje fra fjell- og heiområder

Nitrogenretensjon, nitrogenlekkasje og modellering av nitratutvasking i fjell og heiområder som mottar høy nitrogenbelastning med nedbøren, er studert i to prosjekter i PROFO. Undersøkelser på Sørvestlandet av 12 minifelt-er med ulike markslagstyper (fjell, lyng, myr) har vist at områder med mye bart fjell har den største nitrogenlekkasjen. Det ble også funnet relativt høy lekkasje i enkelte av lyng- og myrfeltene, og det var god sammenheng mellom karbon/nitrogenforholdet i humuslaget og nitratkonsentrasjonene i utløpet av feltene. Alle minifeltene viste årstidsmønster i overflatevannets nitratkon-



sentrasjon, med høye verdier om vinteren under vegetasjonens hvileperiode, og lave verdier om sommeren pga økt biologisk aktivitet (planteopptak, immobilisering). Det ble observert en fordobling i nitratkonsentrasjonen om vinteren fra 2000 til 2001, mest sannsynlig pga frysing av jorda i 2001. Biologiske prosesser i både jord og overflatevann bidrar til årstidsvariasjonen i overflatevannets nitratkonsentrasjon. Sesongvariasjonen i nitratutvasking ble gjenskapt vha den dynamiske forsuringsmodellen MAGIC for Øygardsbekken, et lyngheidominert nedbørfelt i Rogaland.

Det er fremskaffet en rekke verdifulle dataserier for statiske og dynamiske modeller som brukes i internasjonale forhandlinger om utslippsreduk-



sjoner og i prognosering av framtidig nitrogenlekkasje. Eksempler på dette er vegetasjonsundersøkelser (biomasse/produksjon), prosessmålinger i jord (mineralisering, nitrifikasjon, denitrifikasjon), forsøk med merket nitrogen (N) og måling av nitrogenretensjon i innsjøer. Basert på modellering er det beregnet ulike scenarier for framtidig nitrogenlekkasje.

Avrenning av næringsalter fra jordbruksarealer

Avrenning av nitrogen og fosfor fra jordbruksareal er sentralt i et større integrert prosjekt som skulle utvikle en integrert risikovurderingsverktøy for avrenning av næringsstoffer, partikler (erosjon) og pesticider (se kap 7). Prosjektet som har utnyttet data fra Program for jord- og vannovervåking i landbruket (JOVÅ), har laget en integrert pilotindeks for nitrogen, fosfor og jord, mens pesticider ikke ble inkludert foreløpig. Det er utviklet en fosforindeks for norske forhold, som skal definere kritiske arealer for fosfortap, og arbeidet med å utvikle en førsteutgave av en nitrogenindeks etter de samme prinsipper er startet. Innen prosjektet er det også gjennomført målrettet prøvetaking av nitrogen- og oksygenisotoper for å spore ulike kilder til nitratforurensning i vann, og resultatene tyder på at denne metoden under visse vilkår kan brukes til å spore kildene.

Et annet prosjekt har sett på muligheter for å redusere nitrogenavrenning ved å fjerne nitrogen ved hjelp av ulike filtermaterialer (lecakuler, skjellsand, sand og torv) som brukes i konstruerte våtmarker. Ved hjelp av stabile nitrogenisotoper har man undersøkt hvordan ulike miljøfaktorer påvirker ulike prosesser i nitrogenomdanningen, samtidig som utslipp av drivhusgassen N_2O (lystgass) minimaliseres. Resultatene viser blant annet at sand og skjellsand i disse laboratorieforsøkene har høy denitrifikasjon og lave utslipp av lystgass, mens betydelige mengder lystgass kan bli produsert via nitrifikasjon når oksygenkonsentrasjonene er lave i filtermaterialene.

Eutrofiering i ferskvann

Tilførsel av næringsstoffer til vann kan bidra til eutrofiering ved å påskynde vekst av alger og høyere planter. Dette kan endre plantesamfunnene, noe som igjen kan endre vannkvaliteten. Slike forhold er studert i et prosjekt som omfatter et utvalg eutrofe grunne sjøer i Norge. En analyse av data om planteplankton, makrofytter, begroingsalger og vannkjemiske data fra totalt ca 100 innsjøer viser ulike sammenhenger mellom artsgrupper i innsjøer langs en trofigradient. Resultatene fra omfattende dataanalyse, supplert med felteksperimenter viser at makrofyttene har stor innvirkning på sammensetning og biomasse av planteplankton i innsjøer. Sammensetning av planteplankton påvirkes av hvilken art som dominerer blant makrofyttene, vasspest (*Elodea canadensis*) ser ut til å ha negativ effekt på alle algegrupper, mens hornblad (*Ceratophyllum demersum*) har mindre innvirkning på grønnalger enn på blågrønnalger, og effektene skyldes dels utskillelse av allelopatiske stoffer. Sammensetningen av begroingsalger ser ut til å være påvirket av makrofytter og hvilke arter som dominerer i makrovegetasjonen. Det ble funnet overhyppighet av flytematter av begroingsalger i innsjøer dominert av vasspest og hornblad. Den nære koblingen mellom denne type makrovegetasjon og forekomst av flytematter av grønnalger har antageligvis stor innvirkning på andre samfunn i innsjøene. Disse resultatene gir oss ny kunnskap om sammenhengen mellom de ulike plantesamfunnene i innsjøer. De viser hvordan artssammensetningen i en gruppe, f.eks makrofytter, påvirker både total mengde og artssammensetning i en annen gruppe, planteplankton. Dette er viktig kunnskap når en skal fastsette den økologiske tilstand i innsjøer og vurdere restaureringstiltak der det er nødvendig.

Effekter av nitrogentilførsler på jord og skog

Med bakgrunn i overvåkingsdata fra skog er det innenfor PROFO utført en omfattende analyse for å beskrive sammenhenger mellom skogtilstand og luftforurensninger og klimatiske stressfaktorer. Denne analysen viser at klimatiske forhold har større betydning enn luftforurens-



ninger for skogens tilstand. Analyser av tilvekst-data fra 200 overvåkingsfelt i gran – og furuskog i Sør Norge viser at skogens produktivitet har økt i sør Norge som følge av langtransportert nitrogen (gjødslingseffekt), og at nitrogen har medført opp til 25% økt skogsvekst i den sørligste delen av landet. Tilveksten i granskog viser seg å være sterkt styrt av værforhold, ved at i lavlandet i sør øst Norge har sommertørke i mange år gitt redusert tilvekst, mens det i høyereliggende strøk og på Vestlandet er omvendt, dvs sommertørke gir økt tilvekst. Analyser av jordvann fra skogovervåkingsflatene i perioden fra 1986 til 2002 viser jevnt over lave nivåer av nitrat og bekrefter andre europeiske undersøkelser fra skog som viser at nitrogen vanligvis holdes tilbake i disse systemene, i motsetning til i hei- og fjellområdene nevnt over.

Det er utført en 5-årig feltstudie av fruktlege-medannende mykorrhizasopp i tre grunnlendte, heipregete furuskoger langs en gradient i nitrogenbelastning. Til tross for svært tynt og tørkesvakt jordsmonn i skogtypen ble det registrert en høy artsdiversitet av mykorrhizasopp, med nær hundre arter registrert på den mest artsrike lokaliteten. Betydelig lavere artsdiversitet og fruktlegemeproduksjon ble registrert i det mest nitrogenbelastede feltet i Risdalsheia i Grimstad, Aust-Agder (mottar ca 14 kg N/ha/år) i forhold til mindre belastede felter. I Risdalsheia var artsdiversiteten 38% lavere enn forventet for de antatt mest nitrogenfølsomme gruppene slørsopp, harde piggsopper og musseronger. Dette indikerer overskridelser av tålegrenser med tap av mangfold av mykorrhizasopp i heipreget, sterkt nitrogenbelastet furuskog på Sørlandet, der denne artsgruppen fremstår som en av de mest artsrike og nitrogenfølsomme komponenter. Disse resultatene styrker tidligere antagelser fra utenlandske studier om at mykorrhizasopp er blant de mest følsomme artsgrupper når det gjelder nitrogenbelastning og at grunnlendt kystpreget kystfuruskog er den skogtypen som har lavest tålegrenser for nitrogenbelastning. Denne studien er trolig en blant få internasjonalt som antyder at tålegrenser i skog overskrides ved lavere belastning enn 15 kg/ha/år.

Forsuring

Forsuring utover konsekvenser av nitrogen-tilførsel, har generelt ikke vært et høyt prioritert tema innen PROFO med bakgrunn i at kunnskapsgrunnlaget stort sett var ansett som tilfredsstillende i forhold til forvaltningens behov ved PROFOs oppstart. Noen forvaltningsmessig viktige problemstillinger ble likevel tatt opp i programmet. Dette gjelder bl.a. forsuringproblemer i (lakse-)vassdrag på Vestlandet til tross for reduserte tilførsler, noe som initierte et prosjekt om vannkjemiske effekter av barskogsplanting på Vestlandet, samt et prosjekt knyttet til restituering av fiskebestander (recovery) ved redusert tilførsler (se kap. 3). I tillegg har man gjennom et prosjekt utnyttet overvåkingsdata i modellering av effekter av Gøteborgprotokollen under Konvensjonen om langtransporterte grenseoverskridende luftforurensninger og i et annet prosjekt brukt sur nedbør og fiskedød som «case» for utvikling av verktøy for miljørisikoanalyse (jfr. kap. 8). Gjennom prosjektet knyttet til barskogsplanting på Vestlandet framkom avrenningsdata som viser at sjøsaltepisoder i kombinasjon med granplanting kan gi surt vann med høyt innhold av aluminium og dermed føre til forsuringperioder i vassdrag selv om nedfallet av sur nedbør i området er svært lavt.



Kapittel 6.

Plantevernmidler

Plantevernmidler tilføres miljøet ved utsprøyting og kan føre til utilsiktede miljøeffekter i både jord og vann. Landbrukskjemikalier kan ha hormonforstyrrende effekter og har blitt nevnt som en medvirkende årsak til den globale nedgangen i bl.a. amfibier. Forskning støttet av PROFO viser at metabolitten p,p'-DDE, fra den forbudte pestisiden DDT, har negative effekter på hormonstatus til vanlig frosk. Effektene av mer moderne midler som permetrin og fenitrothion på vanlig frosk synes ikke å ha de samme negative effekter slik at de fremstår som mindre skadelige. Studiene indikerer at voksen vanlig frosk synes å være relativt tolerant ovenfor miljøfremmede kjemikalier.

Ulike plantevernmidler har ulike egenskaper med hensyn til mobilitet, biotilgjengelighet og giftighet. Men tilstandsformen av plantevernmidler i jord er ikke statisk og kan endre seg over tid. For eksempel, binding av plantevernmidler til jord blir sterkere, mens deres opptak og giftighet i ulike jordlevende organismer (som meitemark og spretthaler) ble redusert over tid. At dette ble funnet ved 15°C, men ikke ved 5°C, viser at klimabetingelser er en viktig faktor i avgiftingsprosessen av plantevernmidler i jord. Det ser ut som om meitemark tar opp kjemikalier i hovedsak fra jordvæske. Derfor gjelder

for plantevernmidler, i likhet med metaller, at likevektsbaserte ekstraksjoner av jord, i stedet for uttømmende teknikker, kan brukes til å estimere «reell» eksponering av jord- og sedimentlevende organismer.

Siden også ferskvannssystemer kan bli påvirket av landbrukskjemikalier har transportprosesser i nedbørfelt vært et viktig forskningstema i PROFO. Transport fra jorda til overflatevann er ikke bare avhengig av egenskapen til plantevernmidler, men også av jorda, terrenget og nedbørmønsteret. Noe overraskende ble det funnet at avrenning av plantevernmidler, også av de som er lite mobile i jord, kan være høy i perioden med høy vannføring og mye partikkeltransport. Det viser seg at transport av plantevernmidler bundet til jordpartikler er en viktig transportvei, spesielt etter mye nedbør i jordbruksområder som er erosjonsutsatt. Etter sedimentering, vil den påfølgende desorpsjon gjøre plantevernmiddelet tilgjengelig i både sediment og overflatevann. Partiklenes innhold av organisk materiale innvirker på mengden av plantevernmidler som kan transporteres siden organisk materiale bidrar sterkt til binding av plantevernmidler. Avrenningsvannet er mer anrikt på små partikler enn selve jorda som erosjonsmaterialet stammer fra (selektiv erosjon) og disse små partikler har et høyere



innhold av organisk materiale, større spesifikk overflate og derfor større evne til å binde plantevernmidler enn den mindre mobile grov-fraksjonen. Overflateavrenning gir det største bidrag til partikkelbundne plantevernmidler i overflatevann, men også drensvann på større dyp bidrar. Intensive nedbørsepisoder i sommerperioden, spesielt rett etter sprøyting, er av stor betydning for avrenning av plantevernmidler. Vinterperioder med frost i bakken gir som oftest en større andel overflateavrenning ved korte smelteepisoder. Et omfattende snødekke derimot fører til at mye vann infiltrerer og kommer ut som drensvann, som er lavere i partikler. De predikerte endringer i klimatiske forhold vil kunne få store konsekvenser for tilførsel av plantevernmidler til ferskvann.

Mot slutten av programperioden initierte PROFO et prosjekt for utvikling av et verktøy for risikovurderinger av pesticidavrenning på nedbørfeltnivå. Prosjektet har vært nært knyttet til Program for jord- og vannovervåking (JOVA). SWAT-modellen (Surface Water ATtenuation) muliggjør prediksjon av konsentrasjoner av ulike pesticider i drensvann på skiftenivå ihht lokale klima og jordforhold. Andre modeller, som NERI (Mattilsynets modell for vurdering av miljørisiko av plantevernmidler) brukes for

vurdering av effekter på organismer opp mot risiko for eksponering som følge av en gitt pesticidbruk. SWAT benyttes til en generell risikoklassifisering for avrenning av ulike pesticider hvor det tas hensyn til sprøyteregime og de ulike jordtypene i et nedbørfelt. Risikovurderinger er knyttet opp mot en prototype av et GIS-basert sluttbrukerverktøy med kartet som brukergrensesnitt. Slike kart som gir risiko på skiftenivå er godt egnet som planleggingsverktøy for rådgivning og forvaltning.



A photograph of an industrial facility, likely a power plant or refinery, silhouetted against a sunset sky. Thick plumes of dark smoke or steam rise from several tall smokestacks, filling the upper half of the frame. The sky transitions from a pale yellow near the horizon to a deep purple at the top. In the foreground, a body of water reflects the colors of the sky. The overall mood is somber and industrial.

Kapittel 7.

Risikovurdering, beslutnings- verktøy og tiltak



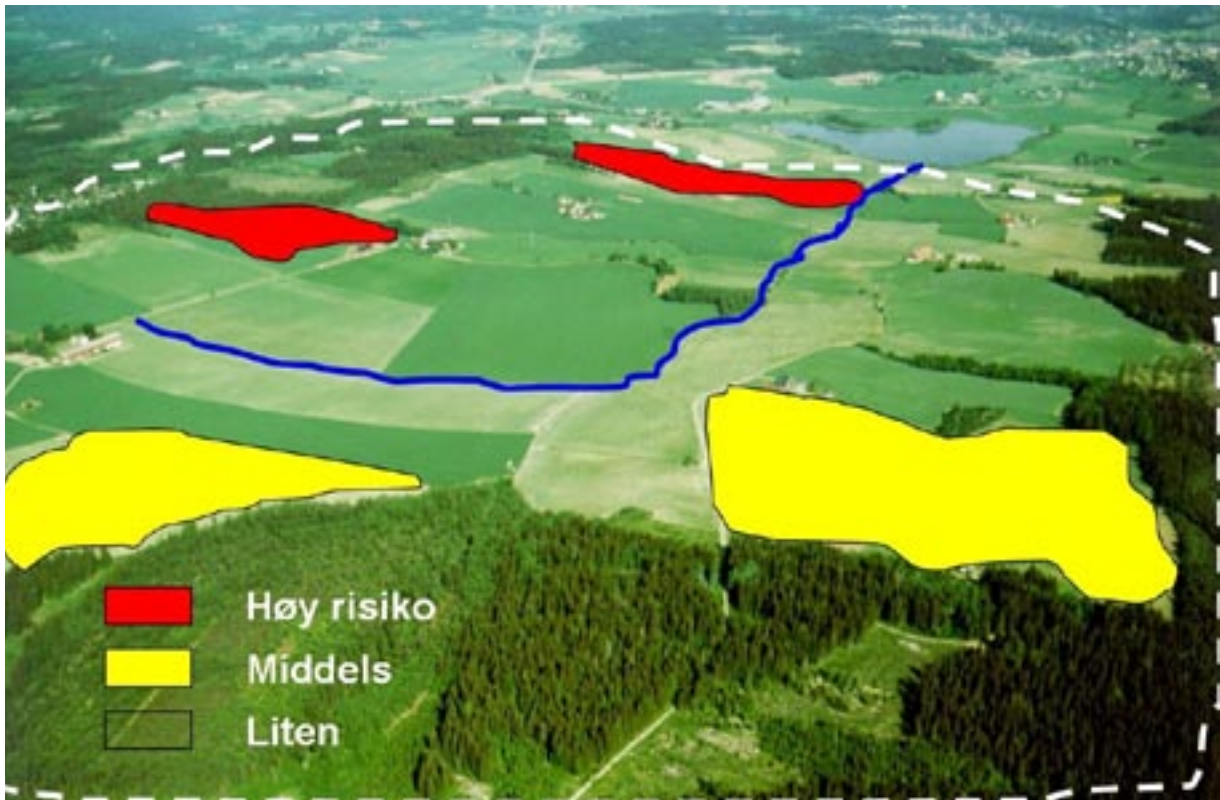
PROFO har spesielt i avslutningsfasen prioritert forskning som skal bidra til å gi verktøy for risikovurdering og prioritering av hvor tiltak bør settes inn. I tillegg er en større gruppe prosjekter som støtter opp om tiltaksvurderinger og vurderte effekter av tiltak vært støttet i programmet.

Risikovurdering og modeller – forsurings

Et overordnet mål i et av PROFOs prosjekter har vært å bidra med en metodikk som hjelper til å skille tydeligere mellom kvantifisering av sannsynlighet, og vurdering av konsekvens. I miljørisikoanalyse identifiseres stressfaktorer, deres betydning og konsekvens. Risikoen eller sannsynligheten for at en skade eller uønsket situasjon skal oppstå må kvantifiseres og knyttes opp mot en konsekvens. Når sannsynligheten for en skade og usikkerheten i analysene er presentert, vil beslutningstakere deretter kunne vurdere tiltak ut i fra hvor alvorlig konsekvensene kan være. For å illustrere dette ble sur nedbør og fiskedød valgt som eksempel. I prosjektet ble det utarbeidet en metodikk og et dataprogram for automatisk kalibrering av «MAGIC-modellen». Resultatene ble koblet med en modell for

lev villkår for fisk. Dermed kunne sannsynligheten for at fisk kommer tilbake i et vassdrag som funksjon av framtidig nivå på luftbåren forurensning beregnes. Beregningene ble gjort for Birkenes-vassdraget. Om framtidig luftforurensning blir i tråd med dagens lovgivning og planer, viste resultatene at det er omtrent 40 % sjanse for at fisken har kommet tilbake i vassdraget i år 2050. Beslutningstakere og samfunnet vil med basis i denne type beregninger kunne vurdere hvilken sannsynlighet som bør anses som akseptabel.

Lange tidsserier som er tilgjengelig i form av overvåkingsdata er blitt brukt til å kvantifisere usikkerheter i prediksjoner med forusuringsmodellen MAGIC. Man brukte overvåkingsdata i modellering av framtidige effekter av gjennomføring av Gøteborgprotokollen. Det ble vist hvordan man ved å inkludere tidsserier av slike overvåkingsdata kan forbedre modellkalibreringen betydelig og dermed få redusert usikkerhet i prediksjonene.



Skifter med ulik risiko for avrenning i et nedbørfelt.

Risikovurdering og modeller – Forurensning fra landbruk

INTRA (Integrert verktøy for miljøforvaltningen i jordbruket) hadde som mål å utvikle verktøy for integrerte risikovurderinger på nedbørfeltnivå for tap av næringsstoffer (nitrogen og fosfor), partikler (erosjon) og pesticider. I nedbørfelt er det identifisert kritiske arealer for avrenning og for målretting av tiltak. Det er forsøkt å utvikle en førsteutgave av en nitrogenindeks etter de samme prinsippene. Målrettet prøvetaking av nitrogenisotoper er foretatt for kildesporing av nitrogenkilder i nedbørfelt. Ved risikovurderinger for erosjon er det gjennomført kartlegging av erosjonsformer etter snøsmeltingen. Metodikk for å inkludere disse i erosjonsrisikovurderinger er utarbeidet. Erosjonsrisikokart danner grunnlag for flere av indeksene med kunnskap om jord på skiftenivå. I samarbeid med internasjonale forskningsmiljøer knyttet til pesticidavrenning er det gjort risikovurderinger og tilpasninger av modeller for norske forhold.

Det ble utviklet en pilotindeks for integrert vurdering av risikoen for tap av nitrogen, fosfor og jord, mens pesticider ikke ble inkludert på dette stadium i utviklingen. Det ble utarbeidet ulike scenarier for landbrukspraksis og tiltak og utarbeidet indekser for nitrogen, fosfor og jordtap samt integrert indeks på skiftenivå. Dette illustrerer planleggingsverktøy til bruk for forvaltning og rådgivere. For pesticider ble det testet ulike risikomodeller og også her brukt GIS baserte planleggingsverktøy.

Styrker og svakheter ved 3 ulike pesticidrisikoindeksmodeller er testet for norske forhold. Det er et stort potensial for modellutvikling å utnytte all informasjonen om pesticidbruk som kan hentes inn mhp. å vurdere miljørisikoen og tilstanden innenfor overvåkingsområdene. Modellene som er vurdert kan klassifiseres i 2 grupper; Mattilsynets modell for vurdering av miljørisiko ved avgiftsklassifisering av plantevernmidler

(NERI) og en tilpasset versjon av den amerikanske Environmental impact quotient-modellen (EIQ) representerer integrerte modeller som vurderer effekt på organismer opp mot risikoen for eksponering ved beregning av miljørisiko ved en gitt pesticidbruk. SWAT-modellen (Surface Water ATtenuation) muliggjør prediksjon av pesticidkonsentrasjoner i dreinsvann på skiftenivå og klassifiserer pesticider i ulike risikoklasser ihht. lokale klima- og jordforhold, men vurderer ikke risikoen for effekter på økosystemet. SWAT modellen ble vurdert som mest aktuell for å utarbeide stedsspesifikke indikatorer for risiko for avrenning av næringsstoffer og pesticider på skiftenivå. Den kan benyttes til en generell risikoklassifisering for bruk av ulike pesticider på de ulike jordtypene i et nedbørfelt, ved å ta gjennomsnittet av simuleringene for en lang tidsserie med klimadata og sprøytereimer av den typen som er undersøkt i dette prosjektet. Risiko-klassifiseringene er knyttet opp mot en prototyp av et GIS-basert sluttbrukerverktøy med kartet som brukergrensesnitt. Det er utarbeidet flere eksempler på slike kart som gir risiko på skiftenivå og som er godt egnet som planleggingsverktøy for rådgivning og forvaltning.

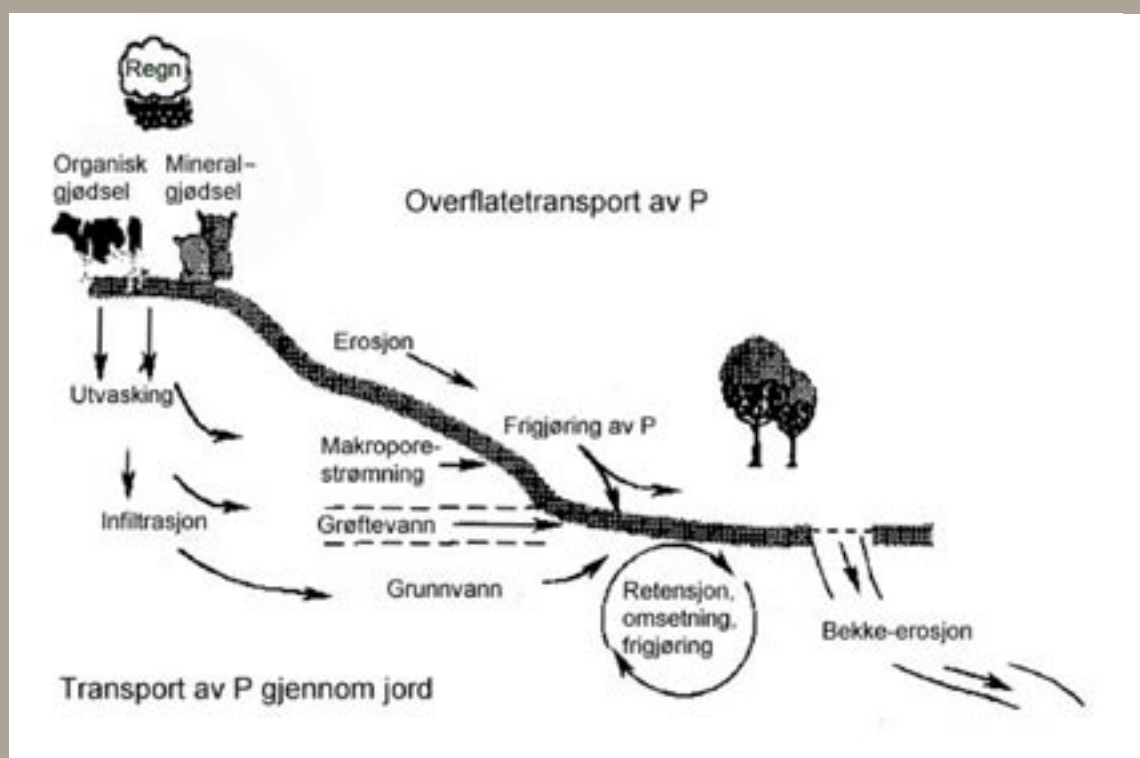
Modellen «Partial order correlation» er brukt til å analysere på eksisterende data for å få fram viktigste faktorer for avrenningstap av pesticider

i jordbruket. Dette vil kunne muliggjøre framtidige risikoanalyser på områder uten måledata. Prosjektet har fokusert på bruken av data fra overvåkingsprogrammet JOVA for å utarbeide regionale belastningskart for pesticidbruk. Det er utviklet et GIS-verktøy for risikoevaluering av pesticidbelastning på regionalt nivå. For praktisk bruk i forvaltningen gjenstår en et behov for videreutvikling av modellen på en del områder.

I nedbørfeltforvaltningen er det behov for et verktøy som kan definere kritiske arealer for fosfortap. Fosforindeksen kan bli et verktøy som kan være med på å redusere fosfortapene fra jordbruket ved å definere kritiske arealer for fosforavrenning. Det gjelder arealer med stor erosjonsrisiko, arealer som ligger nær inntil en resipient, eller arealer som får eller har fått tilført store mengder fosfor i form av mineral eller husdyrgjødsel. En utviklet fosforindeks lister opp faktorer som har betydning for fosforavrenningen og beregner en samlet indeks for hvert skifte. Fosforindeksen kan brukes av bøndene eller forvaltningen i et nedbørfelt til å prioritere tiltak mot fosforavrenning på arealer med høyest risiko. Det er også utarbeidet en førsteutgave av en nitrogenindeks (etter samme prinsipper som fosforindekse) som et enkelt verktøy for å peke ut arealer med stor risiko for nitrogentap med nåværende drift, og for å velge ut optimale tiltak



Fosfor- avrenning i landskapet



for å redusere tilførslene. Indeksen er basert på nitrogenbalansen: tilført nitrogen = bortført nitrogen, et eventuelt nitrogenoverskudd kan tapes til vann. Beregningene gjøres på skiftenivå, og nødvendig data er opplysninger om jord: leirinnhold og moldinnhold og bondens opplysninger om en rekke driftsforhold på skiftet bl.a. gjødsling, vekster, jordarbeiding. Det tas hensyn til opptak i vekster, nitrogen i nedbør, gasstap fra husdyrgjødsel og jord, tap av nitrogen ved erosjon og tilbakeholdelse i grøfter, grunnvann og bekker. Risiko for nitrogentap var høyest på skifter med ensidig korndyrking i kombinasjon med lette jordarter (sand) og bruk av husdyrgjødsel. Minst risiko fant man på skifter med tyngre jord (leir) og ved engdyrking. Det er ønskelig å integrere nitrogenindeksen og fosforindeksen med gjødselplan til et planleggingsverktøy for forvaltningen.

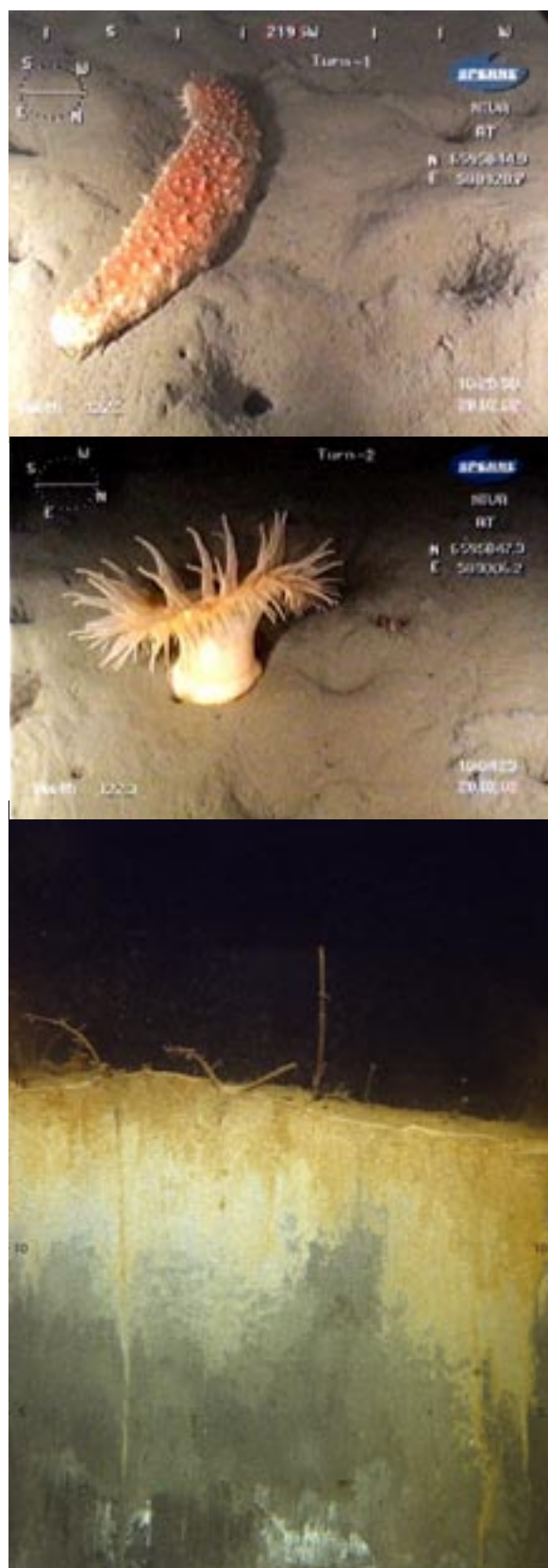
Risikovurdering og modeller – Forurensede sedimenter i fjorder og havner

Det er i dag stor fokus på opprydning i forurensede sedimenter i fjord- og havneområder. PROFO har finansiert flere prosjekter med mål om å gi bedre kunnskap om sammenheng mellom forurensning i sedimenter og påvirkning på opptak i marine organismer, samt utvikling av modeller som kan brukes til å belyse transport og omsetning av miljøgifter i ulike fjordområder.

Grenlandsfjordene har mottatt store tilførsler av dioksiner fra Norsk Hydros magnesiumfabrikk på Herøya (1951-2002). Forurensningen har ført til restriksjoner og råd knyttet til omsetning og inntak av sjømat fra området. Forskningsprosjektet «Dioksiner i Grenlandsfjordene – DIG» hadde som hovedmål å gi en helhetlig

forståelse av kjemisk og biologisk flyt og effekter av dioksiner i Grenlandsfjordene. Prosjektet hadde tre hovedelementer: abiotisk massebalanse (forståelse og modellering av abiotiske prosesser og transporter), biologiske prosesser (identifisering av næringsnett, kvantifisering og modellering av akkumulering, kvantifisering av effekter) og økologisk risikoanalyse (utvikling av rammeverk). Disse tre elementene er koplet i en modell omtalt som *DIG*-modellen. Hovedkonklusjonene fra prosjektet var blant annet:

- *DIG*-modellen beskriver godt konsentrasjonene i sedimenter og partikler i vannmassene fra magnesiumfabrikkens oppstart i 1951 til nedleggelsen i 2002 og gir prediksjon om utviklingen videre, eksempelvis frem til 2050. Modellen forutsier at sedimentene i dypbassenget i Frierfjorden nettoakkumulerer forurensning under hele denne tidsperioden, mens sedimentene i de grunne områdene av fjorden begynte å fungere som «nettokilder» på slutten av 1970-tallet. Dette er tidspunktet da utslippsmengdene fra magnesiumfabrikken ble kraftig redusert for første gang.
- modellsimuleringene antyder at fluksen av dioksiner til vannmassene utenfor Breviksterskelen domineres av transporten fra Frierfjorden. Denne fluksen genereres i sin tur av dagens nettotilførsel fra de forurensede sedimentene som ligger på grunt vann (0–24 m vanddyb) i Frierfjorden.
- den biologiske modellen beskriver godt akkumuleringen av dioksin i organismer i Grenlandsfjordene og kan anvendes til å forutsi fremtidig utvikling.
- modellsimuleringene viser at i en likevekt-situasjon er føden den viktigste dioksin-kilden for alle organismer som ernærer seg ved å spise andre dyr.
- modellresultatene viser at responstiden, dvs. organismens treghet med hensyn til respons på endringer i det ytre, kjemiske miljø, varierer noe fra art til art (og fra dioksinforbindelse til dioksinforbindelse), men ligger i størrelsesorden 1–5 år for alle kombinasjoner.
- *DIG*-modellen er brukt til å anskueliggjøre den naturlige tidsutviklingen av dioksin-



Bløtbunn sett ovenfra og i profil.

konsentrasjonene i organismene i Grenlandsfjordene uten noen form for tiltak samt utviklingen hvis man fjerner de forurensete sedimentene i nedre del av Skienselva og i nærområdene til Herøya i 2010. Resultatene fra modellen tyder på at et slikt tiltak gir liten effekt på innhold av dioksin (målt som toksisitetsekvivalenter) i fisk både i Frierfjorden og i området utenfor.

- dioksinforurensingen i Grenlandsfjordene fører til biologiske effekter. Dette viser seg gjennom forhøyede biomarkør-responser i organismer spesielt i Frierfjorden, men også i Langesundsfjorden. Imidlertid er det usikkert hva en slik påvirkning har å si for organismenes reproduksjon og helse.

Modeller og prognoser

Et annet prosjekt fokuserte på PCB i indre Oslofjord. Hovedmålet var å forstå og forutsi den historiske og nåværende oppførsel av PCB i indre Oslofjord. Resultatene indikerte at sedimentene i indre Oslofjord i den senere tid har utgjort en netto kilde av enkelte PCB-forbindelser til vannmassene. Videre viste modellberegninger at indre Oslofjord på sommerstid utgjør en netto kilde av enkelte PCB-forbindelser til luft. Resultatene viste videre at landbaserte kilder av PCB via atmosfæren fremdeles har en betydelig innvirkning på konsentrasjoner i det marine miljø i indre Oslofjord, sammenlignet med data vedrørende utlekking og oppvirvling av PCB fra de mest forurensete sedimentene i indre Oslo havn.

Skagerrak er et rikt ressurs- og rekreasjonsområde, men det tilføres store mengder forurensninger fra landbruk og industri. Mange typer forurensninger er funnet å feste seg til partikler i vannmassene og synker mot bunnen. Skagerrak er et område der finere partikler sedimenteres, men det er også et område der perioder med økt strømkraft virvler opp sedimentet og transporterer dette over kortere eller lengre avstander. Bunntråling vil medvirke til at forurenset sediment blir lettere tilgjengelig for slik forflytning. Disse resultatene inngår i en modell som bl a skal kunne forutsi alvorlige forflytninger

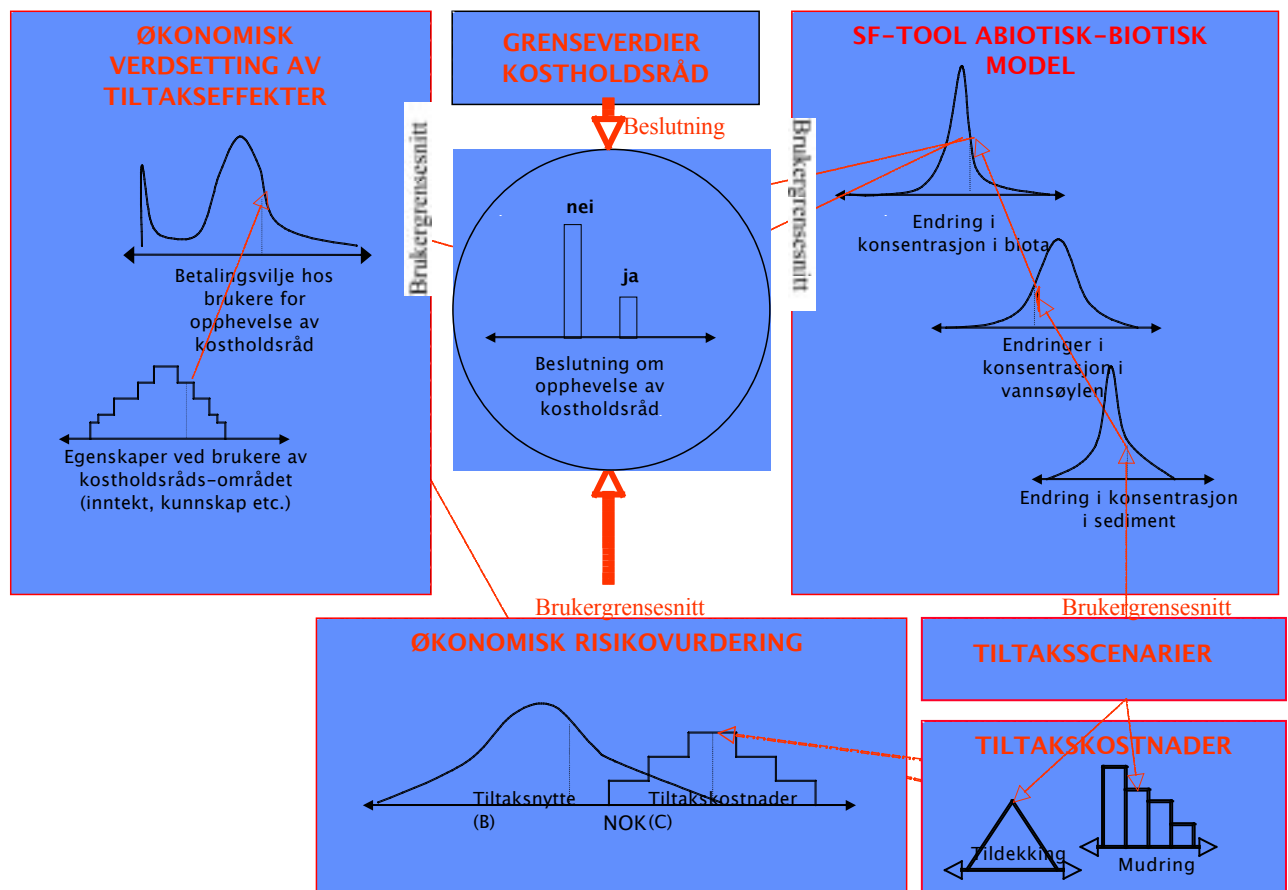
av forurenset materiale som har ligget latent i bunnsedimentene.

Et ny studie har relatert bløtbunnsfaunaens funksjon til forurensingsbelastningen i sediment. Arbeidet baserer seg på at det er foretatt en sammenstilling av NIVAs database for bløtbunnsfauna med NIVAs database for miljøgifter i sediment, og hvori er inkludert en nyutviklet, biologisk basert funksjonsklassifisering av bløtbunnsartene. Funksjonsklassifiseringen er basert på data fra over 400 arter fra flere enn 440 sedimentstasjoner langs kyst-Norge, hvor måling av artsmangfold ved bruk av slik funksjonsklassifisering, samt konsentrasjonsmåling av miljøgiftene i de samme sedimentene, er foretatt. Den nyutviklede funksjonsklassifiseringen er basert på 13 ulike biologiske egenskaper (funksjoner) som igjen kan inndeles i underkategorier innen hver art, og som gjør ytterligere vektning mulig. Dette gir muligheter for å vurdere grad av likhet mellom stasjoner i forhold til artenes funksjon og vurdere om inndeling av stasjoner ved bruk av dette funksjonsverktøyet gir et annet bilde enn en inndeling som bare er basert på forekomst av de ulike arter. Ved å anvende denne metodikken på å studere rekolonisering av fauna i sedimentene i Kristiansandsfjorden etter tildekking av miljøgifter med kunstige tilførte (rene) sediment, viste det seg at det er de samme artene som dominerer i de forurensete sedimentene før fjerning, som etter fjerning eller overdekking. Dette gjelder i den første fasen etter tiltak, og vedvarer gjerne et halvt eller ett år. Endringene fortsetter så inn i en ny fase hvor større, mer lengelevende arter kommer inn og artsantall og diversitet øker. Rekoloniseringen starter raskt (ofte innen få dager) og i den første perioden av utvikling av nye samfunn dominerer små, mobile, kortlevende arter, mens det tar ofte mer enn 5 år før en mer normal fauna som ivaretar alle funksjoner er etablert.

Beslutningsverktøy og tiltak

Prosjektet SEDFLEX hadde som mål å gi offentlig forvaltning og private aktører et sett med modellverktøy til bruk ved beslutninger om prioritering av tiltak mot forurensete sedi-

«SedFlex verktøykasse for økonomisk risiko-analyse av tiltak i forurensede marine sedimenter»



menter. Modellen er utviklet med bakgrunn i DIG-modellen. Verktøyet skal kunne brukes både til prioritering mellom lokaliteter og mellom alternative tiltak på hver enkelt lokalitet. Videre skal modellen gi mulighet for økonomisk risikovurdering som innebærer flere ulike typer økonomiske analyser under usikkerhet, inkludert kostnadseffektivitets- og nyttekostnadsanalyse. Modellresultatene er framstilt i en form som skal være egnet for forvaltningen, og det er lagt vekt på å kommunisere usikkerhet på mange nivåer. Modellverktøykassen (SedFlex-tool) består av generiske modeller for simulering av flyt, flukser og skjebne av organiske miljøgifter i akvatisk

miljø over tid. SF-tool inkluderer også sofistikerte verktøy for sensitivitetsanalyser og usikkerhetsberegninger for modellresultater. Modellen er tilgjengelig hos NIVA.

Forskning på effekter av tiltak er nødvendig for å forbedre beslutningsgrunnlag for tiltak. I PROFO er det gjennomført forskning for å kunne forutsi effekter av deponering av forurensede mudringsmasser i dypvannsdeponi og overdekking med rene masser. Det ble undersøkt hvor fort miljøgiftene ble overført til vannmassen og i hvilken grad tildekkingen bidro til å forhindre utlekking, samt effekt av bioturbasjon.

Tre typer sandige materialer viste ingen vesentlige forskjeller i forhold til lekkasje gjennom dekklagene. To og et halvt år etter tildekking var utlekking fra tildekkede sedimenter redusert med 82-99% for tungmetaller og 92-100 % for organiske miljøgifter. Knust stein (subbus) ga noe høyere flukser av PAH enn ubehandlede masser fra sandtak, trolig som følge av forurensning under maskinell behandling.

Fra utildekkede sedimenter, viste de fleste forbindelsene små forskjeller mellom utlekking i anoksiske og oksiske vannmasser selv om enkelte tungmetaller ble holdt mest effektivt tilbake under anoksiske forhold. Etter introduksjon av bunndyr, økte utlekkingen av både metaller, PCB og DDT betydelig fra utildekket sediment, men ikke fra tildekket sediment.

Minste lagtykkelse benyttet i prosjektet var 10 cm. Tykke dekklag opp til 30-50 cm må trolig benyttes dersom en vil være sikker på å unngå lekkasjer pga store bioturberende organismer. For effektiv reduksjon av abiotisk transport gjennom dekklagene var 10 cm sandig materiale tilstrekkelig.

Borekaks er et avfallsprodukt fra offshore olje- og gassvirksomhet. Det er en blanding av knust stein og slam tilsatt for å optimalisere boreprosessen og hindre utblåsing. Under spesielt krevende operasjoner benyttes slam som inneholder 30-40% av en organisk væske. Noe av denne væsken følger med kaksen som sedimenterer på havbunnen ved boreriggene. Diesel, mineralolje, parafiner, olefiner, etere og estere er eksempler på kjemikalier som har vært eller er i bruk på felter i Nordsjøen. I forbindelse med opprydning på gamle felter er spørsmålet om eventuelle tiltak i forhold til kakshauger aktualisert. Lite tilgang på oksygen og næringssalter gjør det sannsynlig at nedbrytningen inne i disse haugene er langsommere enn nedbrytningen ved sediment-overflaten. I forhold til eventuelle tiltak mot forurensede sedimenter nær utslippspunktene i Nordsjøen, viste resultatene i et PROFO-prosjekt at en i områder forurenset med tykke lag ester- eller olefin-holdige sedimenter må forvente restkon-

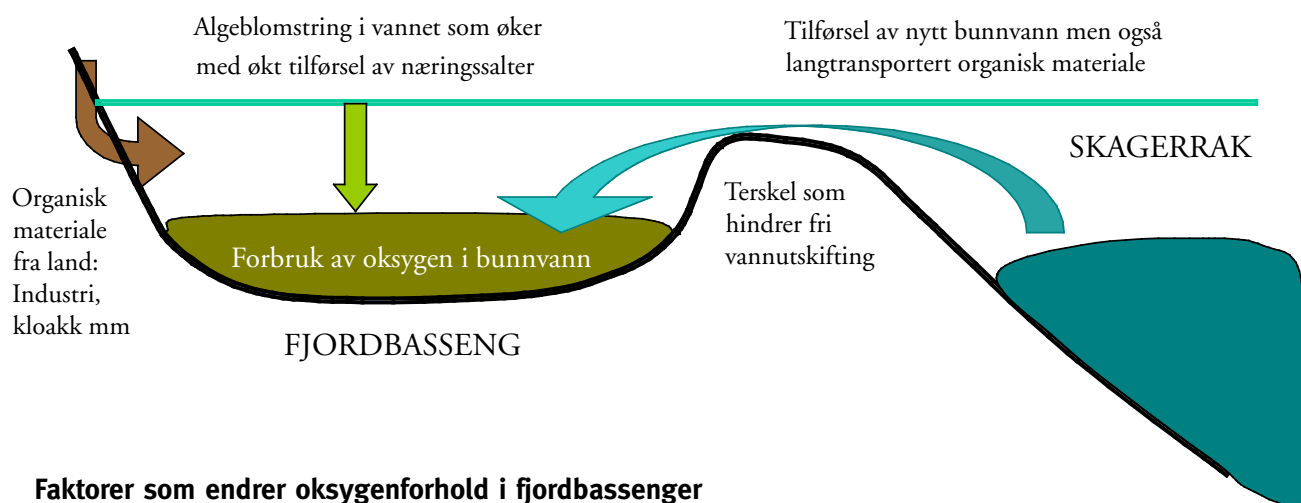
sentrasjoner av henholdsvis alkoholer og olefiner i mange år etter at utslippene er stanset. En må også forvente at disse massene vil inneholde H₂S. H₂S vil lett kunne fjernes ved tilførsel av oksygen eller andre oksyderende kjemikalier. Naturlig nedbrytning av olefinene vil kunne økes betydelig ved tilførsel av oksygen for eksempel ved pløying av bunnen eller nedblanding av sjøvann, men med halveringstider i størrelsesorden 1-2 måneder eller mer må eventuelle tiltak utføres slik at oksygentilgangen opprettholdes over et forholdsvis langt tidsrom.

Rensing av kreosotforurenset grunn ved hjelp av naturlige prosesser har vært studert gjennom samarbeid mellom flere forskningsmiljøer. Kreosot er i utgangspunktet persistent, men resultatene fra forskningen innen disse prosjektene har sammen vist ulike rense-metoder som må betegnes som vellykkete og utnyttbare. Innblåsing av luft i grunnvannssonen og tilsetning av næringsstoffer har stimulert biologisk nedbryting. Barrierer av torv/sand sammen med biologisk nedbrytning hindrer spredning av forurensningene. Økt nedbryting av kreosot er også oppnådd ved flere metoder: bruk av hvitråtesopp, kompostering der en oppnår høy temperatur, bruk av stoffer som bryter ned overflaten og øker tilgjengelighet for nedbryt-ende mikroorganismer

Overvåkingsmetodikk

I PROFO ble det også gjennomført en workshop med deltakere fra 12 land for å utvikle og prøve ut metoder til å identifisere effekter av miljøgifter i pelagiske økosystem. Gjennom prosjektet ble ulike eksponeringsmetoder (bur, passive prøvetakere) og effektmetoder utviklet og utprøvd. Resultatene viste at miljøgifter gir effekter også på organismer i pelagiske økosystem. Det viste seg at bruk av organismer i bur ga åpenbare fordeler fordi de har en kjent eksponeringshistorie. Noen av metodene kunne imidlertid også vise at det var effekter av miljøgifter på viltfanget fisk og zooplankton. Resultatene fra prosjektet har blitt brukt til å utvikle metoder til vannsøyleovervåking for norsk offshoreindustri. Det er også gjort arbeid for å utvikle metodikk

Faktorer som endrer oksygenforhold i fjordbassenger



Faktorer som endrer oksygenforhold i fjordbassenger

Tilførsel av næringsstoffer

Lokalt fra kilder på land, oppdrett mm
Regionalt via langtransport med havstrømmer

Endret oksygenkonsentrasjon i tilført bunnvann

Oksygenmengden i Skagerrakvann har minket de senere år

Klima

Endrede vindforhold kan føre til endringer i bunnvannsutskiftingen
Endret vanntemperatur gir endringer i oksygenforbruk

for overvåking og risikovurdering av effekter av ulike persistente miljøgifter i marine økosystem. Polybromerte difenyletere (PBDEer) har i flere eksperimentelle studier vist tilsvarende toksiske effekter som PCB'er. Mulige effekter av PBDE'er kan være forstyrrelser av vitamin A- og E-status, da slike effekter har blitt påvist for PCB'er. For å studere effekten av både PCB'er og PBDE'er på vitaminstatus hos fugl, ble det tatt prøver av nyklekte fugleunger fra norskekysten og Svalbard, og resultatene viste at vitamin E ble påvirket av organiske miljøgifter.

Marin Eutrofiering

Forskning er også gjennomført for å øke forståelsen av effekten eutrofiering har på bunndyr i fjorder og avdekke hvilke miljøfaktorer som har størst innflytelse. Marin eutrofiering fører til algevekst som synker ned og medfører økt oksygenforbruk i dypere vannlag. Lave oksygenverdier har vært målt i flere fjorder på Skagerrakkysten. Et prosjekt har studert bunndyr og miljø i 11 fjorder på Skagerrakkysten. Et viktig mål

for prosjektet var å finne følsomme indikatororganismer med hensyn på oksygenvinn og å dokumentere biologisk mangfold i fjordene. Prosjektet fant bla et meget godt samsvar mellom oksygenforhold ved bunnen og antall arter bunndyr. Den høye korrelasjonen mellom oksygenforhold og antall arter gjør det mulig å omregne nedgangen i bunnært oksygen, fra før 1980 til etter 1980, til tap av biologisk mangfold knyttet til eutrofiering. Fjordene med dårligst oksygenforhold har mistet 53-92% av artene mens middels påvirkede fjorder har tapt 35-48%. I fem fjorder med gode oksygenforhold var det ingen endring i artsmanfold.

Historisk analyse av foraminiferfauna i bunnslamminger kan datere effekter av dårlige oksygenforhold, og viser at noen fjorder har vært preget av naturlig lave oksygenforhold over lang tid, mens andre har blitt påvirket av lave oksygenverdier i bunnvannet først i nyere tid.



Kapittel 8.

Trafikkstøy som forurensning

Støyforurensning ble aktualisert som en følge av Stortingsmelding, nr 8, 1999 – 2000. Stortinget besluttet at støyplagen i Norge skulle reduseres med 25 % fram till år 2010, selv om dette målet er meget vanskelig å nå. For å nå målet kreves både forskning, utvikling og utdanning/rekruttering innenfor støyområdet. I Forskningsrådet ble støyforskningen lagt som en del av PROFO-programmet og kom in noen år etter starten av programmet.

Hovedmålet med støyforskningen har vært å skaffe et kunnskapsgrunnlag for å gjøre det mulig å arbeide mot det målet myndighetene har satt seg for å redusere støyplagen. Arbeidet har dels pågått med å teste ut støysvake teknologi og vurdere effektene av støyreducerende tiltak. Det har videre vært viktig å beskrive sammenhenger mellom støyeksponering og støyplage, og så gjennom beregningsmodeller forutsi effekten av planlagte tiltak.

Den viktigste kilden til støyplager er trafikk, og da først og fremst veitrafikk. I PROFO har de miljøene som arbeider med støyforskning slått seg sammen i et stort prosjekt «Environmental noise», og dette prosjektet har konsentrert seg om veitrafikkstøy. Resultater fra dette prosjektet viser at med eksisterende bebyggelsesstruktur og trafikkpolitikk er det helt nødvendig å redusere støyen ved kilden, mens tiltak kun basert på støyskjerming av mottakerleddet ikke er tilstrekkelig. Det er funnet at et viktig tiltak for å redusere støyen er å utnytte kombinasjoner av støysvake bildekk og veidekker (asfalttyper). Den dominerende kilden til veitrafikkstøy er fra bildekk på veibaner, og bidrar sterkt til totalnivået av støy allerede ved lave hastigheter. Grensen for 50% bidrag til det totale støynivået ligger omkring 25 km/time for privatbiler og på 50 km/timen for tunge kjøretøy. Støynivået avhenger av både dekkenes og veibanens egenskaper, og resultater fra PROFO viser at norske veidekker medfører merkbart mer støy enn asfaltdekker i utlandet. Dette forholdet er undersøkt nærmere, og en årsak er at vinterslitasje av veibanen (piggdekk, strøing) fører til mindre støysvak asfalt. Bruk av piggdekk har hemmet



utviklingen av støysvake veibelegg i Norden, særlig fordi viktige åpne strukturer i stille veidekker raskt blir ødelagt. Fra utlandet har man gode erfaringer med spesielle veidekker som gir klart mindre støy enn tradisjonelle asfaltdekker. Beregninger viser at det er mer lønnsomt å redusere støyen gjennom å benytte støysvake veidekker enn ved å bygge støyskjermer og fasadeisoleringer. Det pågår nå arbeid for å finne ut hvordan slike veidekker skal kunne benyttes under norske forhold.

Praktiske forsøk har vist at det er stor variasjon i støyegenskapene til ulike typer bildekk. Om man kunne styre en overgang til de mest stillegående dekktypene vil dette kunne gi en viss reduksjon i støyplagen. Imidlertid er dette vanskelig å få til med den rådende internasjonale markedssituasjonen, slik at de mest aktuelle tiltakene på støykilde-siden ligger i forbedringer av veidekkene. Oppbygging av kunnskap om egenskaper til trafikkstøykilder i PROFOs prosjekter er blitt nyttiggjort i det internasjonale arbeidet med nye målemetoder og nye grenseverdier for støyemmisjon fra veitrafikk (UNECE, WP 29, GRB)

PROFO har bidratt med kildedata til en fortløpende beregning av den samlede støyplagen i Norge. Inngangsdata for beregning av veitrafikkstøy har tidligere blitt basert på en forenklet utgave av beregningsprogrammet «VSTØY» som inneholder en forenklet kildemodell. Man har nå utnyttet en tysk modell (Stevens) og tilpasset den til den norske bilparken og norske veidekker. Denne modellen utnyttes nå for å øke presisjonen i støyplageberegningene. Modellen kan også nyttes til å forutsi endringer i støybelastningen som en følge av naturlige eller framprovoserte endringer i bilparken, endringer av bildekk og veidekke, eller endringer i kjøremønstre.

Tidligere har det vært vanlig å basere støyplageberegninger på nivå med de mest eksponerte fasadene til boliger. Disse beregningene er nå forbedret, og det er tatt hensyn til støyforhold i nærheten av boligen. En modell for «naboblagstøy» viser at for et gitt støynivå kan støyplagen reduseres i bostedsnære områder. Slike kunnskaper kan nyttes til å minske støyplager ved å endre på trafikkfordeling mellom alternative veistrekninger, eller å kunne si hvor det blir størst virkning av å legge støysvake veidekker. (se figur s. 67)

De fleste modeller for støyplage som anvendes baserer seg på en sammenheng mellom plage og støynivå for en slags støykilde, f.eks. veitrafikk og togtrafikk hver for seg. I praksis er situasjonen ofte at man utsettes for flere ulike slag støy, f.eks. en kombinasjon fra vei, tog og/eller fly. I PROFO prosjektene er det utviklet et forslag til en metode for beregning av samlet plage fra ulike slags kilder. Metoden er inkludert i en ny internasjonal standard for vurdering av støyplage, ISO 1996, part 1, technical addendum. Prosjektet «Environmental noise» har også gjort det mulig å delta i arbeid innen WHO. Her har man konsentrert seg om negative virkninger av trafikkstøy utover generell støyplage. Analyser av nyere europeiske studier viser at det ikke kan utelukkes at trafikkstøy medfører økning av hjerte-karsykdommer og en økning av hjerteinfarkt med dødelig utgang. Også forekomst av

ulykker i hjemmet viser en sammenheng med høyt støynivå. Om disse resultatene er overførbare til norske forhold, er det sannsynlig at støy fra veitrafikk er en indirekte årsak til omtrent like mange dødsfall som antall trafikkdøde på norske veier.

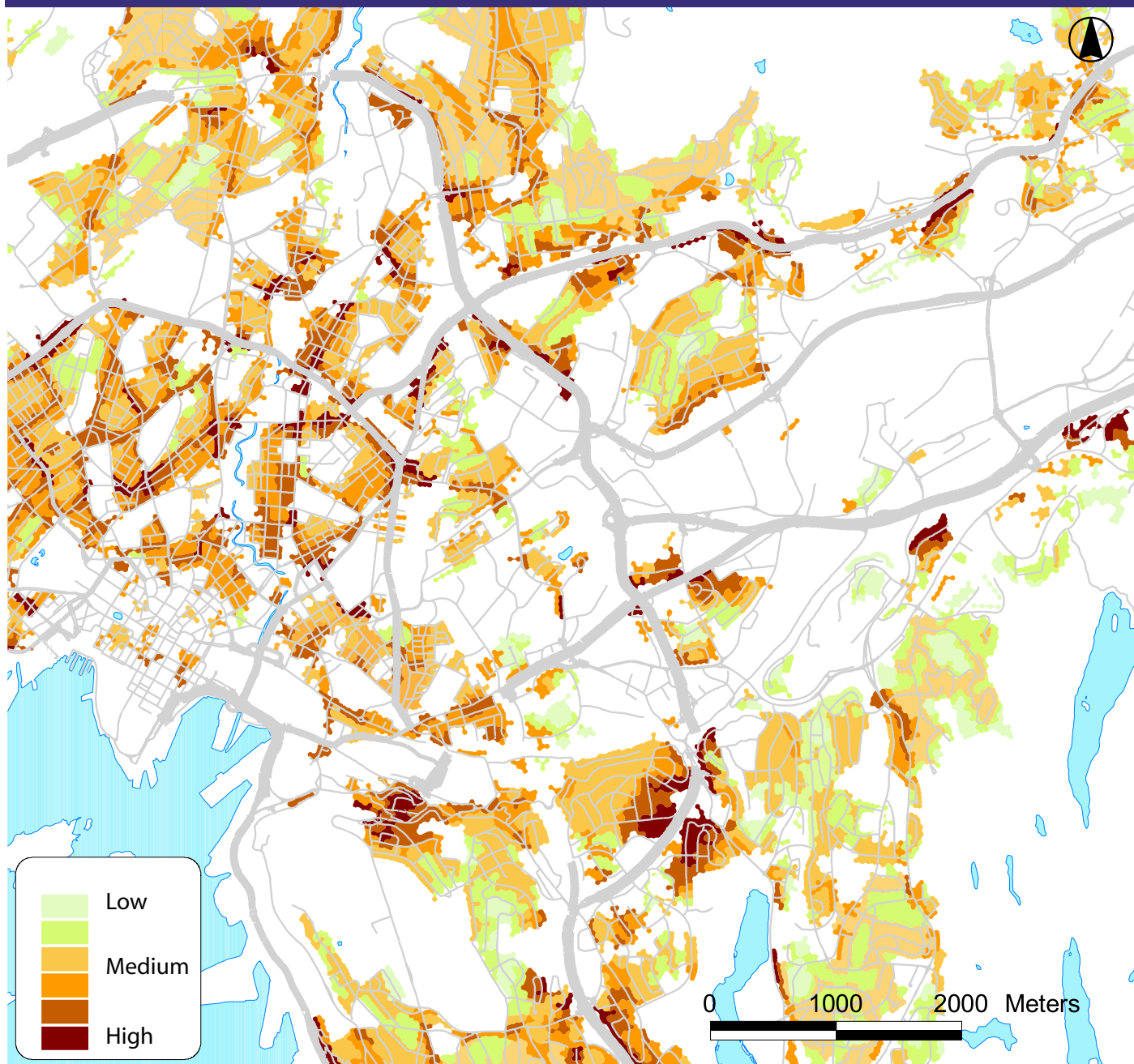
Etter at Oslo lufthavn er flyttet til Gardermoen er det gjort en etterkantundersøkelse om støyplage i rekreasjonsområder. Undersøkelsen viser at folk som er plaget av støy hjemme er mer plaget av støy når de er ute i rekreasjonsområder enn folk som bor i mer stille miljøer, men den synlige effekten er liten.

Innen PROFO er det utført en litteraturstudie på betydning av støy for barns oppvekstmiljø. Internasjonale undersøkelser viser at barn som utsettes for et dårlig lydmiljø hemmes i sin læring og utvikling. I et kunnskapsbasert samfunn som vårt er dette alvorlig, og barn bør gies gode lydforhold for å fremme deres utvikling. Det kan antas at dette er overførbart til norske forhold og til barn som vokser opp i områder med dårlig lydmiljø.

Det er videre utviklet en modell for å beregne vibrasjoner i bygninger forårsaket av vei og togtrafikk. Denne vibrasjonsmodellen kunne fastslå et mer komplisert problem enn forutsett. Modellen er utnyttet til å utvikle en ny norsk standard, NS 8176, hvor man kan vurdere hvor plagsomme slike vibrasjoner er.

Studier av effekten av ulike støyreducerende tiltak er påbegynt. Den skilte grenseverdiforskriften som krever tiltak for at støynivået i boligområder skal holdes under et døgnkvalivalent nivå på 42 dBA, har medført at det har blitt utført fasadeisoleringsforbedringer og avskjerminger av en rekke bostedsområder i landet. En før/etterundersøkelse som startet i 2003 skal vurdere hvordan disse tiltakene ble opplevd av innbyggerne, med særlig vekt på problemer omkring søvnforstyrrelser. Forstudiene er avsluttete, mens etterstudiene er påbegynt, men ikke avsluttet.

Lydlandskap; eksempel på modell for støyplage i nabolag.



An offshore oil rig is shown at night, illuminated by its own lights. A large flare is active, emitting a bright orange flame and a thick plume of black smoke that rises into the dark blue sky. The rig's complex structure of pipes, cranes, and towers is silhouetted against the twilight sky. The ocean is visible in the background.

Kapittel 9.

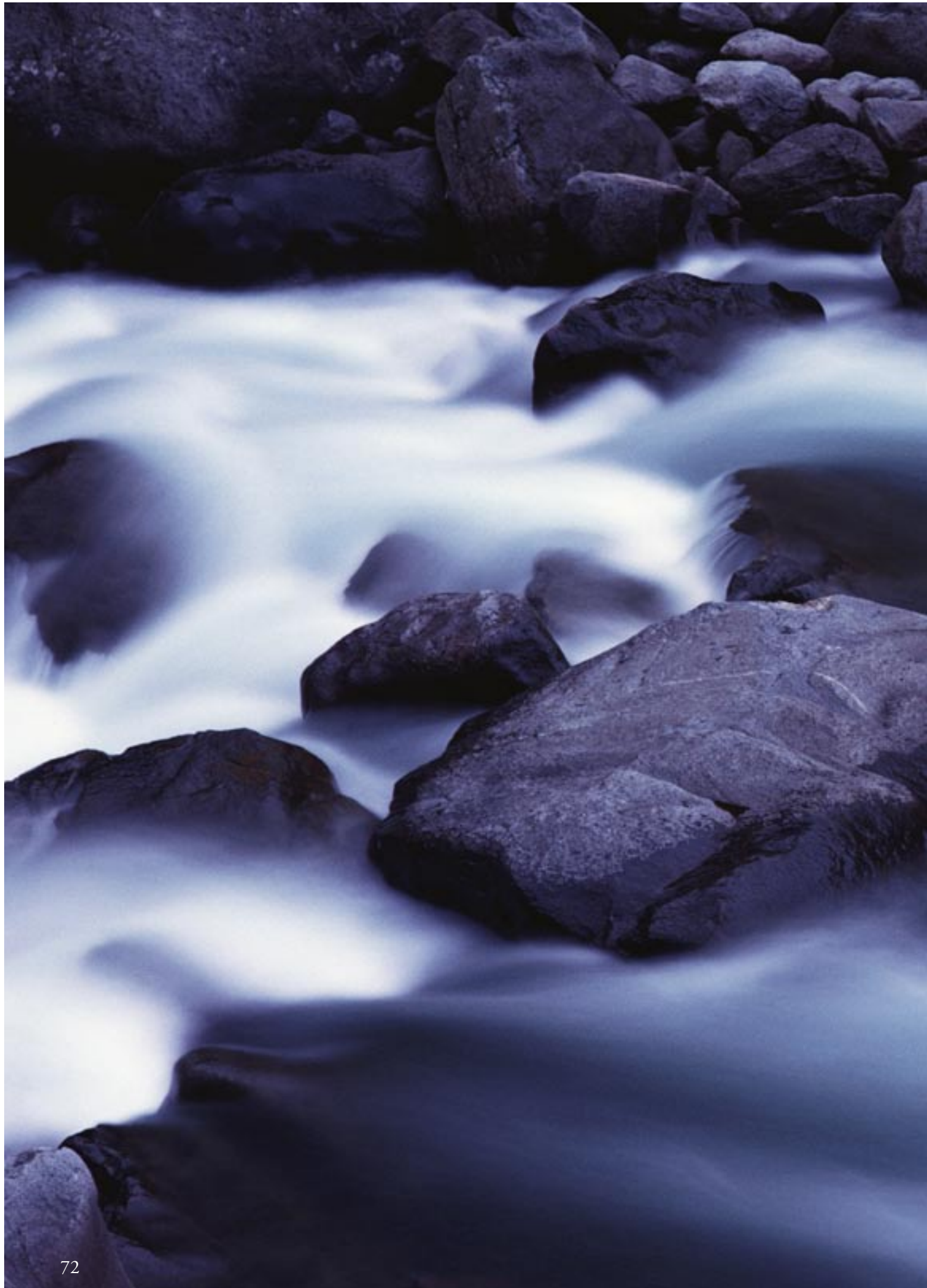
Olje

Under de første årene av PROFO ble det finansiert noen oljeforurensningsprosjekter, men etter at fokus og bevilgning til problematikk rundt utslipp av kjemikalier fra offshore oljevirkksomhet økte ble dette overført til et eget program. De første oljeprosjektene blir kort referert her. Oljeindustrien på norsk sokkel slipper ut økende mengder produsert vann som kommer opp med olje og gass fra reservoarene. Produsert vann inneholder blant annet små mengder naturlig forekommende alkylfenoler. Effekter av alkylfenoler i produsert vann er testet på torsk i kontrollerte laboratorieforsøk. Selv ganske lav eksponering under modningen av førstegangsgytende torsk, nominelt gitt i dose på 5 µg alkylfenoler pr. kg fisk (tilsvarende ≈ 40 ng/l sjøvann), viste seg å gi nedregulering av østrogen i hunnfisken, noe som igjen medførte forsinket gyting. Dette viser at «hormonforstyrrende stoffer» som alkylfenoler, kan gi biologisk virkninger selv i lave doser. Gytingen ble beregnet å være forsinket med ca. 1 måned. Også modningen av testis i hannfisk ble forsinket. Gytetidspunktet for torskbestandene er tett koblet til planktonoppblomstringen, det er viktig at eggene gyttes på et tidspunkt som sikrer at torskelarvene overlapper i tid med planktonoppblomstringen for sikker tilgang til føde. En forsinkelse i gytetidspunkt kan derfor være forbundet med en risiko for dårligere rekruttering. Nyere data på lave totale mengder av alkylfenoler i produsert vann

som slippes ut på norsk sokkel og en risikoanalyse som er gjennomført, viser at sannsynligheten er svært lav for at noe slikt i praksis vil inntreffe.

I undersøkelser gjennomført på jord tatt fra ulike steder på Svalbard, så viser det seg at oljekomponenter forekommer over forholdsvis store områder. Disse kan ha naturlig opphav eller skyldes forurensninger fra ulike aktiviteter. Ved studier av forekomsten og utbredelsen av oljenedbrytende bakterier i jord tilpasset kalt klima så det ikke ut til at de biologiske prosessene var hemmet av lav temperatur. Det ble påvist en generell høy aktivitet av oljenedbrytende bakterier ved 4 °C. Sammensetningen av olje var tydelig endret etter påvirkning av mikrobiell aktivitet. Mikrobiologien kan brukes både til å påvise oljeforurensning, og også mer aktivt taes i bruk i forbindelse med bioremediering.

Satellit-telemetri har vært benyttet for å studere sjøfuglers arealutnyttelse i relasjon til sårbarhet for oljeforurensninger. Små sendere som er satt på et fåtall lunde som hekket på Røst har vist at fuglene i sin søken etter mat kan fly over svært store områder. Denne kunnskapen vil kunne benyttes i forbindelse med risikoanalyser som gjennomføres for skader på sjøfugl som følge av oljeutslipp på havet.





Del III

Registerdel (Nøkkeltall)

Finansieringsplan i detalj fra hvert departement:

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	
MD		15,15	16,4	18,3	18,3	17,0	17,0	102,15
LMD		3,6	3,7	3,6	3,0	3,7	3,7	21,3
FKD		2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	15,0
NHD		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	3,0
OED	1,13	2,0	2,0					5,13
SD					0,6	1,0	1,0	2,6
Sum	1,13	23,75	25,1	24,9	24,9	24,7	24,7	149,18

Beløpene fra Olje og energidepartementet er fra og med 2002 flyttet over til programmet PROOF.

Søknader

Antall søknader (år angir prosjektets søkte oppstartsår) og antall prosjekter som fikk innvilgning:

År	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Søknader	105	119	52	83	45	0
Innvilget	27	27	11	27	9	0

Prosjekter

I prosjektperioden har PROFO innvilget og administrert 101 prosjekter (118 hvis EU strålevernprosjektene inkluderes) der antall prosjekter og fagfelt er som følger:

Organiske miljøgifter Norge, 14 prosjekter.

Organiske miljøgifter Arktis, 10.

Metaller, 17.

Deponier, 2.

Sedimenter, 5.

Nitrogen/sur nedbør, 7.

Eutrofiering, 2.

Plantevernmidler/landbruksforurensninger, 5.

Strålevern, 24 (7 i PROFO og 17 prosjekter i EU strålevern).

Forvaltningsmodeller/risiko/tiltak, 9.

Støyforurensning, 12.

Oljeforurensning (før oljeprogrammet PROOF startet i 2003),

11 prosjekter.

Programmet har i tillegg administrert 39 prosjekter fra de forutgående programmene.

Disse prosjektene ble stort sett avsluttet i løpet av de første to årene av programmet.

Prosjektportefølje for de 101 PROFO-finansierte prosjektene samt EU strålevern prosjektene er listet fra side 76 og utover.

Stipendiater

PROFO har gitt støtte til 13 nye Dr. stipendiater, men har totalt administrert 30 Dr. scient. stipendiater og 10 post doc. stipendiater i programperioden (se tabellen). Av disse er 17 dr. stipendiater og to post doc. stipendiater «arvet» fra forutgående programmer. Av disse 17 stipendiater har 14 disputert i tidsrommet 2000-2005,

en planlegger disputas i 2007, mens to ikke har fullført. Av de 13 stipendiatene som har fått tildeling i PROFO-perioden var 9 kvinner, og totalt fra disse har 10 disputert ved utgangen av 2006, mens de 3 resterende ligger som planlagt an til å disputere i 2007.

	Ant dr stip. i hele perioden	Ant disputerte	Planlagte disputaser i 2007	Ant post. doc. i hele i hele perioden
Kvinner	17	14	3	6
Menn	13	10	1	4
Total	30	24	4	10

Oversikt over doktorgrader

(Navn, År, Tittel, Institusjon, Prosjektansvarlig)

Stipendiater fra tidligere Programmer, avsluttet i PROFO:

Marc Berntsen. 2000. Vurdering av biokjemiske og fysiologiske effekter av kadmium, kobber og mangan eksponert via føde til fisk. Nasjonalt institutt for ernærings- og sjømatforsk. NIFES. AKL Haldorsen.

Jostein Dale. 2000. Mekanismer for biologisk skade av fotodynamisk behandling og UVA stråling. Rikshospitalet – Radiumhospital HF. Johan Moan.

Pål Olsvik. 2000. Natural variations of toxic trace metals in freshwater and the adaptations of animals to such variations. NTNU. KE Zachariassen.

Helen A. deWit. 2000. Solubility controls and phyto-toxicity of aluminium in a mature Norway spruce forest. UMB. Jan Mulder.

Hilde Elise Heldal. 2001. Radioactivity in Norwegian waters: Distribution in seawater and sediments, and uptake in marine organisms. UiB/Havforskningsinstituttet. Lars Føyn.

Line Sverdrup. 2001. Påvirkning av mobilitet, nedbrytning av biologiske effekter av PCB ved tilstedeværelse av olje/hydrokarboner i forurenset grunn. Aquateam – Norsk vannteknologisk senter A/S. Eilen A Vik.

Jannicke Moe. 2001. A theoretical and experimental approach to the understanding of population dynamics of blowflies exposed to a toxin. Universitetet i Oslo, Biologisk institutt. NC Stenseth..

Grete Rasmussen. 2002. Binding og nedbrytning av miljøgifter i grunnen ved hjelp av aktive barrierer. Jordforsk. Roald Sørheim.

Katrine Borgå. 2002. Forekomst av organiske miljøgifter i marine organismer i dravis i Barentshavet, biokonsentrasjon og biomagnifikasjon. Norsk Polarinstitut. G Gabrielsen.

Gjørn Frode Nordbakken. 2003. Nitrogentillgangens betydelse for struktur och funktion i myrekosystem. Universitetets naturhistoriske museer, og botanisk. Rune Økland.

Rajdeep Singh Sidhu. 2004. Extraction Chromatographic separation of Sr, Pu and Am. Kjemisk institutt, Universitetet i Oslo. Per Hoff.

Vahid Bemanian. 2004. Miljøgifter som hormonhermere, mekanismer for aktivering av aryl hydrokarbon reseptor og østrogen reseptor. Molekylærbiologisk institutt, Universitetet i Bergen, UiB. Rune Male.

Eugen Gravingen Sørmo. 2005. Biological effects of chronic low-level exposure to organochlorine contaminants on populations of grey seals, Institutt for Biologi, NTNU, B Munro Jensen,

Tor Arne Vestad. 2005. Industriell-, cellebiologisk- og retrospektiv dosimetri ved EPR-spektroskopi. Fysisk institutt, Universitetet i Oslo. UiO. Eli O Hole.

Stipendiater i PROFO

Elisabeth Lie. 2004. Klorerte organiske miljøgifter i isbjørn – nivåer og mulig effekter. Veterinærinstituttet Oslo. Jannecke Utne Skaare.

Aud Wencke Sundal. 2003. Geologic influence on indoor radon concentrations and gamma radiation levels in Norwegian dwellings. UiB. Stei E Lauritzen.

Lindis Skipperud. 2005. Plutonium in the environment, sources and mobility. UMB. Deborah Oughton.

Lavrans Skuterud. 2005. Investigation on selected natural and anthropogenic radionuclides in reindeer and lynx. NTNU/Statens strålevern. Per Strand.

Marianne Bechmann. 2005. The phosphorus index tool for assessing phosphorus transfer from agricultural areas in Norway. UMB/ Jordforsk. Prof. Olav Grøterud.

Kari Mette Murvoll. 2006. Metodikk for overvåking og risikovurdering av effekter av ulike persistente miljøgifter i marine økosystem. Biologi, Institutt for, Norges teknisk-naturvitens. NTNU. B Munro Jensen. 20.01.2006

Ole Chr Lind. 2006. Characterisation of radioactive particles in the environment by Electron Microscopy and Synchrotron Radiation based microtechniques. Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB), Brit Salbu.

Bjørn Henrik Hansen. 2006. Stressproteiner og genekspressjon. Intracellulære mekanismer, med hovedvekt på studier av dyr fra tungmetallforurensede områder. Biologi, Institutt for, Norges teknisk-naturvitens, NTNU. Rolf A Andersen.

Katrine Aspmo. 2006. Atmosphere speciation of mercury. Norsk institutt for luftforskning, NILU. Torunn Berg. 03.02.2006.

Anita Evenset. 2006. Seabirds as transport vectors for persistent organic pollutants. Akvaplan Niva AS, Salve Dale/ UiTø, Inger Britt Falk-Pettersen.

Under avslutning (planlagt tid)

Jorun Hokstad. Kjemisk og toksikologisk karakterisering av olje-vann- systemer relatert til utslipp av olje i marint miljø SINTEF Materialer og kjemi. Per Daling. (2007).

Anne Merete Sjøeng. Nitrogenets rolle i forsuring i fremtiden Modellerte, empiriske og eksperimentelle studier av endret nitrogenavrenning. Norsk institutt for vannforskning. BL Skjelkvåle. (2007).

Hilary Mobbs. Speciation, transport and bioavailability of Cd and Zn in contaminated terrestrial ecosystems. BIOMOD. UMB. Jan Mulder. (2007).

Thomas Hartnik. Time-dependent bioavailability and toxicity of pesticides to soil living organisms. Jordforsk. Line Sverdrup. (2007).

Formidling/publikasjoner

Forskningsrådet har fått tilbakemelding om en rekke publikasjoner i internasjonale tidsskrifter, populærvitenskapelige publikasjoner, rapporter, konferansebidrag og innslag i media (aviser, radio, TV). Det viser seg imidlertid at når prosjektene sluttrapporterer, foreligger de fleste publikasjonene i manuskriptform, og de fleste publikasjonene blir akseptert og publisert etter at prosjektene er avsluttet og kontakten med Forskningsrådet er avsluttet. En publikasjonsliste fra PROFO vil derfor bli svært ufullstendig på det nåværende tidspunkt, og programstyret har derfor valgt å utelate dette. Nedenforstående prosjektpor- tefølje vil gi informasjon om personer som kan kontaktes for nærmere informasjon om resultater fra prosjektene.

Programstyrets sammensetning

- **Forskningsjef Merete Johannessen Ulstein** (leder), NIVA
- **Professor Frode Fonnum**, FFI/UiO
- **Forsker Jarle Klungsoyr**, HI
- **Seniorrådgiver Else Marie Løbersli**, DN
- **Professor Jan Mulder**, UMB
- **Konsernspecialist Erle Grieg Astrup**, Elkem ASA
- **Seksjonssjef Tone Bergan**, Statens strålevern
- **Professor Tor Kihlman**, Chalmers University, Göteborg
- **Seniorgeolog Tor Løken**, NGI (til og med 2002)
- **Professor Einar Sagstuen**, Fysisk institutt, UiO (til og med 2002)
- **Forskningsdirektør Agnes Skarholt**, SINTEF (til og med 2003)
- **Seksjonssjef Marit Kjeldby**, SFT (til og med 2003)
- **Rådgiver Anne Kathrine Arnesen**, SFT/MD (fra og med 2004)

Programmets kontaktpersoner i Forskningsrådet har vært:
Konsulent Torhild Liseter
Rådgiver Tom Skyrud, 2000-2001
Rådgiver Ian Gjetz, 2002-2004
Rådgiver Helene Stensrud, 2005
Forsker Hartvig Christie, NINA, fra 2004 NIVA, har vært programkoordinator og sekretær for programstyret i hele perioden.

Prosjektportefølje

Prosjektnr, Prosjektleder, Prosjektansvarlig, Prosjekttittel, Fradato – til dato, totalt bevilget.

PROFO

134107. Førsteamanuensis Gijsbert Breedveld, Norges Geotekniske Institutt (NGI). In situ biologisk rensing av kreosotforurenset grunn, utvidelse av pilotskala feltforsøk. 01.01.2000-31.12.2000. 300 000.

134109. Forsker Asbjørn Svardal, Havforskningsinstituttet (HI). Alkylerte fenolers hormonelle innvirkning på torsk. 01.01.2000 - 31.12.2000. 500 000.

134112. Forsker Arne Hassel, Havforskningsinstituttet (HI). Contaminant Transport And Biological-Effects Monitoring in The Skagerrak (CONTAMS). 01.01.2000 - 31.12.2001. 1 000 000.

134118. Avdelingsdirektør Per Strand, Statens strålevern. Opptak og omsetning av radioaktive stoffer og tungmetall i reinsdyr. 01.01.2000 - 01.06.2004. 1 921 089.

134141. Professor Eiliv Steinnes, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Sources and source regions of airborne lead in Norway: Temporal and spatial trends. 01.01.2000 - 14.04.2002. 440 000.

134167. Seniorforsker Richard F. Wright, Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Nitrogenrensing i fjell og hei. 01.01.2000 - 01.07.2003. 2 430 000.

134208. Forskningsleder Anne Lyche Solheim, Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Samspill mellom makrovegetasjon, planteplankton og epifytter i innsjøer - endringer langs trofogradienten. 01.01.2000 - 31.12.2003. 1 200 000.

134210. Førsteamanuensis Tom Andersen, Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Kvikk-sølvakkumulering i ferskvannsfisk - normalisering i forhold til stabile N-isotoper. 01.02.2000 - 31.12.2003. 300 000.

134302. Professor Kjell Einar Erikstad, NINA, Avd. for arktisk økologi. Miljøgiftbelastning, immunstatus og populasjonsøkologi hos polarmåke: et eksperimentelt studie. 01.01.2000 - 31.12.2002. 1 026 000.

134307. Forsker Asbjørn Svardal, Havforskningsinstituttet (HI). Opptak, vevsfordeling og metabolisme av heptylfenol hos torsk (Gadus morhua) etter oral eksponering. 01.01.2000 - 31.12.2000. 495 000.

134410. Forskningsleder Brit Lisa Skjelkvåle Monsen, Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Betydningen av langtransporterte forurensninger for nivået av tungmetaller i jord, vann og sedimenter. 01.01.2000 - 01.06.2003. 899 963.

134417. Professor Ketil Hylland, Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Biological effects in pelagic ecosystems - a practical workshop. 01.01.2000 - 31.12.2001. 100 000.

134419. Forsker Morten T Schaanning, Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Undersjøisk deponering av forurensete

muddermasser i marine, anoksiske bassenger - effekter av tildekking. 01.01.2000 - 31.03.2005. 1 710 000.

134455. Seniorforsker Roland Kallenborn, NILU – Tromsø. Determination and quantification of new organic pollutants in eggs from selected Norwegian predatory bird species. 01.01.2000 - 31.12.2000. 299 274.

134457. Forsker Thorjørn Larssen, Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Vannkjemiske effekter av barskogplanting på Vestlandet. 01.01.2000 - 31.03.2005. 1 400 000.

135194. Professor Johan E. Moan, Rikshospitalet - Radiumhospitalet HF, Inst. For kreftforskning. Mekanismer for biologisk skade av fotodynamisk behandling og UVA stråling. 17.04.2000 - 31.12.2000. 270 000.

135288. Forsker Svein Ramstad, SINTEF Materialer og kjemi. Operasjonelt verktøy for tiltaks vurdering av forurensete marine sedimenter. 01.01.2000 - 31.12.2000. 100 000.

135306. Seniorforsker Per S. Dalving, SINTEF Materialer og kjemi. Kjemisk og toksikologisk karakterisering av olje-vann-systemer relatert til utslipp av olje i marint miljø. 01.01.2000 - 31.12.2004. 391 000.

135370. Professor Stein-Erik Lauritzen, Institutt for geovitenskap, Universitetet i Bergen. Radonemanasjon og geokjemiske prosesser - en prediktiv modell for potensiell anrikning av Ra og U. 25.04.2000 - 24.07.2003. 1 602 134.

- 135440.** Forsker Morten T. Schaanning, Norsk institutt for vannforskning (NIVA). The Fate of Drilling Chemicals in Off-shore Pile Deposits. Simulated Seabed Study on 14 C-Labelled Esters and Olefins. 01.01.2000 - 30.03.2002. 1 140 000.
- 135509.** Forsker Gro Hege Ludvigsen, Bioforsk, Jord og miljø. Plantevernmidler i norsk jordbrukslandsskap: Kilder, Oppholdstid, Nedbrytning, Transport og Miljøeffekter i vann KONTAM. 01.01.2000 - 31.12.2000. 399 735.
- 135604.** Direktør Salve Dahle, Akvaplan Niva AS. Ecotoxicological studies on the fate of new hazardous compounds in freshwater and marine food chains at Bear Island. 01.01.2000 - 01.05.2002. 1 290 000.
- 135632.** Forsker Guttorm Normann Christensen, Akvaplan Niva AS. Ellasjøen, Bear Island - a mass balance study of a highly contaminated arctic area. 01.01.2000 - 31.03.2006. 3 100 000.
- 136378.** Seniorforsker Tycho Anker-Nilssen, NINA Hovedadm. Satellittelemetri sjøfugl: sjøfuglers arealutnyttelse i relasjon til sårbarhet for oljeforurensninger. 01.01.1999 - 31.12.2000. 304 000.
- 136380.** Daglig leder Bjørn Serigstad, Havforskningsinstituttet (HI). Påvirkning av løst og dispergert olje fra regulære utslipp og uhellsutslipp på fisk. 01.01.1999 - 31.12.1999. 200 000.
- 136382.** Forsker Asbjørn Svardal, Havforskningsinstituttet (HI). Alkylerte fenolers hormonelle innvirkning på torsk. 01.01.1999 - 31.12.2000. 500 000.
- 136384.** Daglig leder Bjørn Serigstad, Havforskningsinstituttet (HI). Bioteststudier av ulike typer råolje og oljerelaterte kjemikalier på fiskeegg og larver under realistiske eksponeringsbetingelser. 01.01.1999 - 31.12.1999. 300 000.
- 136386.** Forsker Asbjørn Svardal, Havforskningsinstituttet (HI). Alkylerte fenolers hormonelle innvirkning på torsk: Del 2B –Generasjonseffekter. 01.01.1999 - 31.12.2000. 190 000.
- 136390.** Forsker Odd Gunnar Brakstad, SINTEF Materialer og kjemi. Akkumulerbarhet, langtidseffekter og persistens av løst og dispergert olje i sjøvann. Workshop for tilrettelegging av forskningsaktiviteter. 01.08.1999 - 31.12.2000. 100 000.
- 139032.** Forskningsleder Kristoffer Næs, Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Dioksiner i Grenlandsfjordene. 20.03.2000 - 01.04.2004. 5 400 000.
- 139441.** Forskningsleder Ronny Klæboe, Transportøkonomisk institutt (TØI). The effect of the noise environment at schools and kindergartens for children's development. 01.07.2000 - 31.12.2000. 200 000.
- 139443.** Seniorforsker Truls-Gjestland, SINTEF IKT, Systemutvikling. Environmental noise. 01.07.2000 - 31.12.2000. 1 000 000.
- 139444.** Forsker Kristin Rypdal, Statistisk sentralbyrå. Indicators linking transport activities to transport noise annoyance in Norway - A study into a noise policy result control system. 01.05.2000 - 31.12.2000. 300 000.
- 140375.** Seniorforsker Oddvar Røyset, Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Passive sampling of metals ions in water using DGTs. 01.01.2001 - 31.12.2002. 1 200 000.
- 140379.** Professor Bjørn Olav Rosseland, Norsk institutt for vannforskning (NIVA). ANC-RECOVERY. Hva er den kjemiske grenseverdien for naturlig reproduksjon hos ørret under redusert forurensning. 01.01.2001 - 31.12.2004. 2 100 000.
- 140391.** Forsker Tor Erik Brandrud, NINA – Oslo. Mykorrhizasoppfloraen i heipreget skog med høy nitrogen-belastning, effekter på produksjon og biodiversitet. 01.01.2001 - 31.12.2006. 580 000.
- 140393.** Professor Ketil Hylland, Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Biological effects of contaminants in pelagic ecosystems - a practical workshop. 01.01.2001 - 31.12.2002. 1 180 000.
- 140401.** Forsker Thorjørn Larssen, Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Bruk av overvåkningsdata i modellering av effekter av Göteborgprotokollen. 01.01.2001 - 31.12.2002. 500 000.
- 140405.** Forskningsleder Torgeir Heggelund Bakke, Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Utlekking, transport, omdanning og akkumulering av miljøgifter fra deponi til marint miljø. 01.01.2001 - 31.03.2006. 2 200 000.
- 140408.** Seniorforsker Hans Wolkers, Norsk Polarinstitutt. Endocrine disruption in Arctic top predators. Synergistic effects of contaminant mixtures on steroid hormone physiology. 01.04.2001 - 01.04.2004. 890 000.

- 140530.** Professor Jozef M. Pacyna, Norsk institutt for luftforskning (NILU). Development and evaluation of a model strategy for POPs in contaminated fjord areas - a case study for PCBs in the Oslofjord. 01.01.2001 - 31.12.2002. 749 969.
- 140585.** Seniorforsker Justin Brown, Statens strålevern. Dose-effects relationships in biota from exposure to ionising radiation. 01.01.2001 - 31.12.2004. 2 400 000.
- 140636.** Postdoktorstipendiat Pål Olsvik, Institutt for biologi, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Molekylærbiologiske studier av ørrets tilpasninger til spormetaller i gruveforurensede områder. 01.01.2001 - 31.12.2002. 1 214 000.
- 140658.** Forsker Lise Øverås, Institutt for biologi, Universitetet i Bergen. Oil pollution in the Arctic and its effects on microbial diversity and ecology. 01.03.2001 - 28.02.2003. 1 297 834.
- 140666.** Seniorforsker Dorte Herzke, NILU – Tromsø. Investigation of persistent bioaccumulative and toxic compounds (PBTs) and their transformation products in eggs of Norwegian birds of prey. 01.01.2001 - 31.12.2002. 598 824.
- 140730.** Avdelingsdirektør Janneche Utne Skåre, Veterinærinstituttet Oslo. Klorerte organiske miljøgifter i isbjørn - nivåer og mulig effekter. 01.01.2001 - 31.03.2003. 809 000.
- 140779.** Forsker Guttorm Normann Christensen, Akvaplan Niva AS. Kvikksølv i Arktis. Betydningen av atmosfæriske avsetninger og effekten av biomagnifisering i næringskjeder. 01.01.2001 - 31.12.2002. 800 000.
- 141202.** Seniorforsker Martin Schlabach, Norsk institutt for luftforskning (NILU). Brominated flame retardants and polychlorinated alkanes in terrestrial and fresh water environments of Norway. 01.01.2001 - 01.04.2004. 2 849 999.
- 141207.** Førsteamanuensis Gunnhild Riise, Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB) Institutt for plante- og miljøvitenskap. The role of natural organic matter (NOM) for the transport of pesticides. 01.01.2001 - 30.04.2004. 1 750 000.
- 141213.** Forsker Asbjørn Svardal, Havforskningsinstituttet (HI). Effekter av produksjonssvann på egg og larveutvikling samt kjønnsdifferensiering hos torsk. 01.01.2001 - 01.04.2004. 3 000 000.
- 141369.** Professor Bjørn Munro Jenssen, Institutt for biologi, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Metodikk for overvåkning og risikovurdering av effekter av ulike persistente miljøgifter i marine økosystem. 15.08.2001 - 01.02.2006. 1 699 000.
- 141443.** Seniorforsker Jan Ove Bustnes, NINA, Avd. for arktisk økologi. Spredning av effekter av persistente organiske miljøgifter i en toppredator i det marine økosystemet i Barentshavregionen. 01.01.2001 - 31.12.2004. 2 000 000.
- 141446.** Seksjonsleder Gøran Åberg, Institutt for energiteknikk – Kjeller. Utilization of bark pockets as pollution time capsules. 01.01.2001 - 31.12.2001. 300 000.
- 141450.** Seniorforsker Svein Solberg, Norsk institutt for skog og landskap. Effects of air pollution and climatic stress in Norwegian forests. 01.01.2001 - 01.04.2004. 1 800 000.
- 141465.** Seniorforsker Roland Kallenborn, NILU – Tromsø. Pharmaceutical residues as pollutants in North Norwegian contaminated and pristine aquatic ecosystems. 01.01.2001 - 31.12.2003. 899 999.
- 141479.** Professor Brit Salbu, Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB) Institutt for plante- og miljøvitenskap. Characterisation of radioactive particles in the environment by Electron Microscopy and Synchrotron Radiation based microtechniques. 01.03.2001 - 31.12.2004. 1 557 763.
- 141498.** Forskningsleder Brit Lisa Skjelkvåle Monsen, Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Nitrogenets rolle i forsuring i fremtiden. Modellerte, empiriske og eksperimentelle studier av endret nitrogenavrenning. 13.08.2001 - 31.12.2006. 1 423 405.
- 141607.** Torunn Berg, Norsk institutt for luftforskning (NILU). Enhanced atmospheric deposition of mercury in northern latitudes - a source of mercury exposure in Arctic ecosystems? 01.01.2001 - 01.04.2004. 849 996.
- 141609.** Professor Jan Mulder, Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB) Institutt for plante- og miljøvitenskap. Models as a tool in evaluating mobility and bioavailability of heavy metals - Cd, Cr, Cu - in contaminated soils. 01.01.2001 - 31.12.2002. 1 881 000.
- 144536.** Seniorforsker Truls Gjestland, SINTEF IKT. Environmental

- noise. 01.01.2001 - 31.12.2001. 1 720 000.
- 144538.** Fagansvarlig Christian Madshus, Norges Geotekniske Institutt (NGI). Emission and propagation of vibration from road and rail traffic. Model development. 01.01.2001 - 31.12.2001. 340 000.
- 144539.** Forsker Bo Engdahl, Nasjonalt folkehelseinstitutt. Noise annoyance in outdoor recreational areas: An empirical basis for annoyance reducing measures. 01.04.2001 - 31.08.2001. 230 000.
- 144542.** Forskningsleder Ronny Klæboe, Transportøkonomisk institutt (TØI). Feasibility of utilising existing noise and vibration calculations for exposed dwellings to assess the effect of noise reduction measures. 01.01.2001 - 31.12.2001. 300 000.
- 145675.** Seniorforsker Truls Gjestland, SINTEF IKT. Kildemodeller for vegtrafikkstøy. 01.04.2001 - 30.09.2002. 999 163.
- 147437.** Seniorforsker Mikhail Iosjpe, Statens strålevern. Consequences of contaminant releases into the arctic marine environment from Siberian Rivers (Comer). 01.01.2002 - 31.03.2005. 1 270 000.
- 147474.** Professor Rolf Arvid Andersen, Institutt for biologi, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Stressproteiner og genekspressjon. Intracellulære mekanismer, med hovedvekt på studier av dyr fra tungmetallforurensede områder. 01.04.2003 - 31.03.2006. 1 796 250.
- 147736.** Professor Kjell Einar Erikstad, NINA, Avd. for arktisk økologi. Sex allocation effects from exposure to organochlorine contamination. A study of Arctic breeding glaucous gulls - *Larus hyperboreus*. 01.01.2002 - 31.12.2002. 200 000.
- 147752.** Forsker Geir Wing Gabrielsen, Norsk Polarinstittutt. AMAP konferanse og workshop: Impacts of POPs and Mercury on Arctic Environments and Humans. 01.01.2002 - 31.12.2002. 100 000.
- 147954.** Forsker Lillian Øygarden, Bioforsk, Jord og miljø. Strømningsveier i nedbørfelt - vannpartikler-pesticider. 01.01.2002 - 01.04.2006. 2 480 000.
- 148096.** Seniorforsker Truls Gjestland, SINTEF IKT. Environmental Noise. 01.01.2002 - 01.04.2004. 5 399 401.
- 148307.** Forsker Magne Tommy Aldrin, Norsk Regnesentral. Statistical techniques for risk assessment of environmental effects of pollutants from diffuse sources. 01.01.2002 - 31.03.2005. 900 000.
- 148394.** Seniorforsker Roland Kaltenborn, NILU – Tromsø. Perfluorinated organic compounds -FOC - in the Norwegian Environment. 01.01.2002 - 31.12.2002. 165 477.
- 148404.** Torunn Berg, Norsk institutt for luftforskning. Atmosphere speciation of mercury. 01.07.2002 - 30.07.2005. 1 655 000.
- 150973.** Førstekonsulent Liva Vågane, Statistisk sentralbyrå. Tilleggsspørsmål i Samordnet levekårsundersøkelse 2001. 01.01.2001 - 01.04.2002. 140 000.
- 152745.** James Michael Strout, Norges Geotekniske Institutt (NGI). Continuous monitoring of trace metals in seawater. 01.01.2003 - 01.04.2004. 700 000.
- 153370.** Professor Jan Mulder, Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB) Institutt for plante- og miljøvitenskap. Speciation, transport and bioavailability of Cd and Zn in contaminated terrestrial ecosystems. BIOMOD. 01.01.2003 - 01.07.2006. 3 000 000.
- 153373.** Kjetil Tørseth, Norsk institutt for luftforskning (NILU). Study of the physical properties and the chemical characterisation of particulate matter at Birkenes. 01.01.2003 - 31.12.2005. 1 080 000.
- 153383.** Forsker Lene Buhl Mortensen, Havforskningsinstituttet, Senter for marint miljø. The response of hyperbenthos, infauna and foraminifera to hypoxia in fjord-basins. 01.01.2003 - 31.12.2005. 3 100 000.
- 153411.** Direktør Salve Dahle, Akvaplan Niva AS. Guano: a carrier medium for persistent organic pollutants (POPs)? 01.01.2003 - 30.06.2006. 1 200 000.
- 153437.** Forsker Knut Breivik, Norsk institutt for luftforskning (NILU). Application for an overseas fellowship to support postdoctoral research at the University of Toronto. 01.01.2003 - 15.07.2003. 124 000.
- 153444.** Postdoktorstipendiat Line Emilie Sverdrup, Bioforsk, Jord og miljø. Time-dependent bioavailability and toxicity of pesticides to soil living organisms. 01.01.2003 - 31.12.2006. 2 080 000.
- 153448.** Forsker Anne Kristine Søvik, Bioforsk, Jord og miljø. Increased N removal in constructed

wetland filters - use of stable nitrogen isotopes to determine factors controlling denitrification /DNRA. 01.01.2003 - 03.12.2005. 1 650 000.

153484. Professor Even Jørgensen, NINA, Avd. for arktisk økologi. Bioavailability and effects of organochlorine contaminants in relation to seasonal lipid cycles in arctic fox. 01.01.2003 - 31.12.2006. 1 716 000.

153515. Brit Lisa Skjelkvåle, Forsker. Norsk institutt for vannforskning. Mercury in lake sediments trends in fluxes, geographical pattern and sources. 01.04.2003 - 30.11.2006. 1 575 000.

153560. Forsker Torgeir Nygård, NINA, Avd. for terrestrisk økologi. Bioaccumulation, ecotoxicology and biomarker responses of new and old POPs in a marine ecosystem. 01.01.2003 - 30.04.2006. 2 421 000.

153568. Seniorforsker Justin Gwynn, Statens strålevern. Radioactive dose assessment improvements for the Nordic marine environment. 01.01.2003 - 30.12.2006. 3 000 000.

153688. Seniorforsker Martin Schlabach, Norsk institutt for luftforskning (NILU). Triclosan - A New POP? 01.01.2003 - 31.03.2006. 1 500 000.

153698. Professor Bjørn Munro Jenssen, Institutt for biologi, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Effects of pesticides on endocrine function and development in amphibians. 01.07.2003 - 30.04.2006. 450 000.

153740. Forsker Urs Berger, NILU – Tromsø. Perfluorinated

aliphatic surfactants and airborne fluorochemicals in Norwegian environmental samples. 01.01.2003 - 31.12.2005. 1 785 000.

153828. Førsteamanuensis Maria Thornhill, Institutt for geologi og bergteknikk, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Development of a modelling tool for subaqueous tailings deposits at sulphide mines. 01.01.2003 - 31.03.2004. 500 000.

159116. Seniorforsker Martin Schlabach, Norsk institutt for luftforskning (NILU). Brominated flame retardants: Study of environmental fate and synergistic toxic effects with a special focus on the Norwegian environment. 01.01.2004 - 31.12.2005. 2 100 000.

159200. Forsker Frode Olsgard, Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Functional role of macrofauna on contaminated sediments and the potential of fauna recovery following sediment remediation. 01.01.2004 - 31.12.2005. 875 000.

159214. Forskningsleder Kristoffer Næs, Norsk institutt for vannforskning (NIVA). A flexible, integrated tool for management of contaminated sediments. 01.01.2004 - 31.12.2005. 2 700 000.

159243. Forsker Knut-Erik Tollefsen, Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Pollution induced modulation of sex steroid transport and cellular responses – POLLMOD. 01.01.2004 - 01.07.2006. 760 000.

159255. Forsker Lillian Øygarden, Bioforsk, Jord og miljø. Integrated risk assessment for the transport of particles, nutrients and pesticides in agricultural catchments – INTRA.

01.01.2004 - 01.05.2006. 3 000 000.

159417. Forsker Forsker Borgå, Norsk Polarinstitutt. POP transfer through Arctic marine food webs - further model development and data analyses. 01.03.2004 - 31.12.2005. 1 301 000.

159432. Seniorforsker Hans Wolkers, Norsk Polarinstitutt. Killer whales in Norway - transfer, sex - and age-specific accumulation and biological responses of contaminant mixtures. 01.01.2004 - 31.12.2004. 120 000.

159435. Seniorforsker Jan Ove Bustnes, NINA, Avd. for arktisk økologi. Long-term trends and ecological effects of pollutants in a tawny owl population in central Norway. 01.01.2004 - 01.04.2006. 1 450 000.

159437. Torunn Berg, Norsk institutt for luftforskning (NILU). Controls and fate of springtime atmospheric mercury deposition in the Arctic. 01.01.2004 - 31.12.2005. 1 384 000.

159459. Seniorforsker Truls Gjestland, SINTEF IKT. Environmental Noise, 2004- 2005. 01.01.2004 - 30.04.2006. 5 600 000.

164148. Seniorforsker Truls Gjestland, SINTEF IKT. Miljøvennlige vegdekker. 01.04.2004 - 31.03.2005. 200 000.

EU 5. Rammeprogram, Strålevern

145768. Forsker Anne Liv Rudjord, Statens strålevern. Processes Regulating Remobilisation, Bioavailability and Translocation of Radionuclides in Marine Sediments. REMOTRANS-NRPA. 01.01.2001 - 01.01.2004. 2 470 000.

145769. Professor Deborah Helen Oughton, Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB) Institutt for kjemi, bioteknologi og matvitenskap. Sustainable Restoration and Long-Term Management of Contaminated Rural, Urban and Industrial Ecosystems (STRATEGY). 01.01.2001 - 01.04.2004. 1 070 873.

145770. Avdelingsdirektør Per Strand, Statens strålevern. STRATEGY - Sustainable Restoration and Long-Term Management of contaminated Rural, Urban and Industrial Ecosystem. 01.01.2001 - 01.03.2004. 2 234 000.

145772. Professor Brit Salbu, Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB) Institutt for plante- og miljøvitenskap. Processes Regulating Remobilisation, Bioavailability and Translocation of Radionuclides in Marine Sediments. REMOTRANS. 01.01.2001 - 31.01.2004. 1 091 000.

145773. Seniorforsker Justin Brown, Statens strålevern. FASSET - Framework for Assessment of Environmental Impact. 01.01.2001 - 01.04.2004. 3 220 304.

145775. Forsker Mark Dowdall, Statens strålevern. ADVANCE - Source-specific ecosystem transfer of transuranics utilising advanced

technologies. 01.01.2001 - 01.04.2004. 2 825 000.

145777. Professor Brit Salbu, Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB) Institutt for plante- og miljøvitenskap. Source-specific ecosystem transfer of transuranics utilising advanced technologies - ADVANCE. 01.01.2001 - 31.07.2004. 1 844 000.

145785. Avdelingssjef Gordon Christensen, Institutt for energiteknikk, Avdeling for miljø og strålevern. Processes regulating remobilisation, bioavailability and translocation in marine sediments. 01.01.2001 - 01.04.2004. 1 583 687.

146406. Forsker Brittain, Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo. Evaluation of Decision Support Systems in Aquatic Radioecology (EVANET-HYDRA). 01.06.2001 - 31.03.2005. 284 000.

EU 6. Rammeprogram, Strålevern

163294. Seniorforsker Justin Brown, Statens strålevern. Environmental Risk from Ionising Contaminants: Assessment and Management. 01.03.2004 - 01.03.2007. 7 321 000.

163306. Avdelingsleder Astrid Liland, Statens strålevern. European approach to nuclear and radiological emergency management. 01.04.2004 - 31.03.2009. 2 916 000.

163340. Professor Brit Salbu, Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB) Institutt for plante- og miljøvitenskap. Securing European Radiological Protection and

Radioecology Competence to meet the Future Needs of Stakeholders. 01.03.2004 - 01.09.2005. 180 000.

163341. Forsker Corine Davids, Statens strålevern. Securing European radiological protection and radioecology competence to meet the future needs of stakeholders. 01.11.2004 - 01.04.2006, 466 000.

163342. Professor Deborah Helen Oughton, Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB) Institutt for kjemi, bioteknologi og matvitenskap. EURANOS-European approach to nuclear and radiological emergency management. 01.03.2004 - 28.02.2007. 342 000.

163344. Professor Deborah Helen Oughton, Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB) Institutt for kjemi, bioteknologi og matvitenskap. ERICA -Environmental Risk from Ionising Contaminants: Assessment and Management. 01.03.2004 - 28.02.2007. 2 051 000.

176324. Seniorforsker Justin Brown, Statens strålevern. Protection of the Environment from Ionising Radiation in a Regulatory Context. 01.10.2006 - 01.06.2008. 772 000.

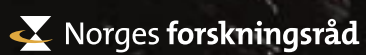
176328. Postdoktorstipendiat Jostein Dahle, Rikshospitalet - Radiumhospitalet HF, Inst. for kreftforskning. Bystander effects of alfa-radiation. 15.03.2006 - 31.12.2009. 2 821 000.

176334. Professor Brit Salbu, Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB) Institutt for plante- og miljøvitenskap. Consolidation of European nuclear education, training and knowledge management. 01.10.2006 - 30.11.2008. 779 000.

176338. Avdelingsleder Astrid Liland, Statens strålevern. A future for radioecology in Europe. 01.10.2006 - 30.09.2008. 560 250.

176339. Avdelingsleder Astrid Liland, Statens strålevern. Triage, monitoring and treatment - handbook for management of the public in the event of malevolent use of radiation. 01.09.2006 - 28.02.2009. 1 287 591.

176497. Avdelingsleder Astrid Liland, Statens strålevern. European approach to nuclear and radiological emergency management. 01.10.2006 - 30.09.2008. 980 000.



Postboks 2700 St. Hanshaugen
N-0131 OSLO

Telefon: 22 03 70 00

Telefaks: 22 03 70 01

post@forskningsradet.no

www.forskningsradet.no

ISBN 978-82-12-02402-1