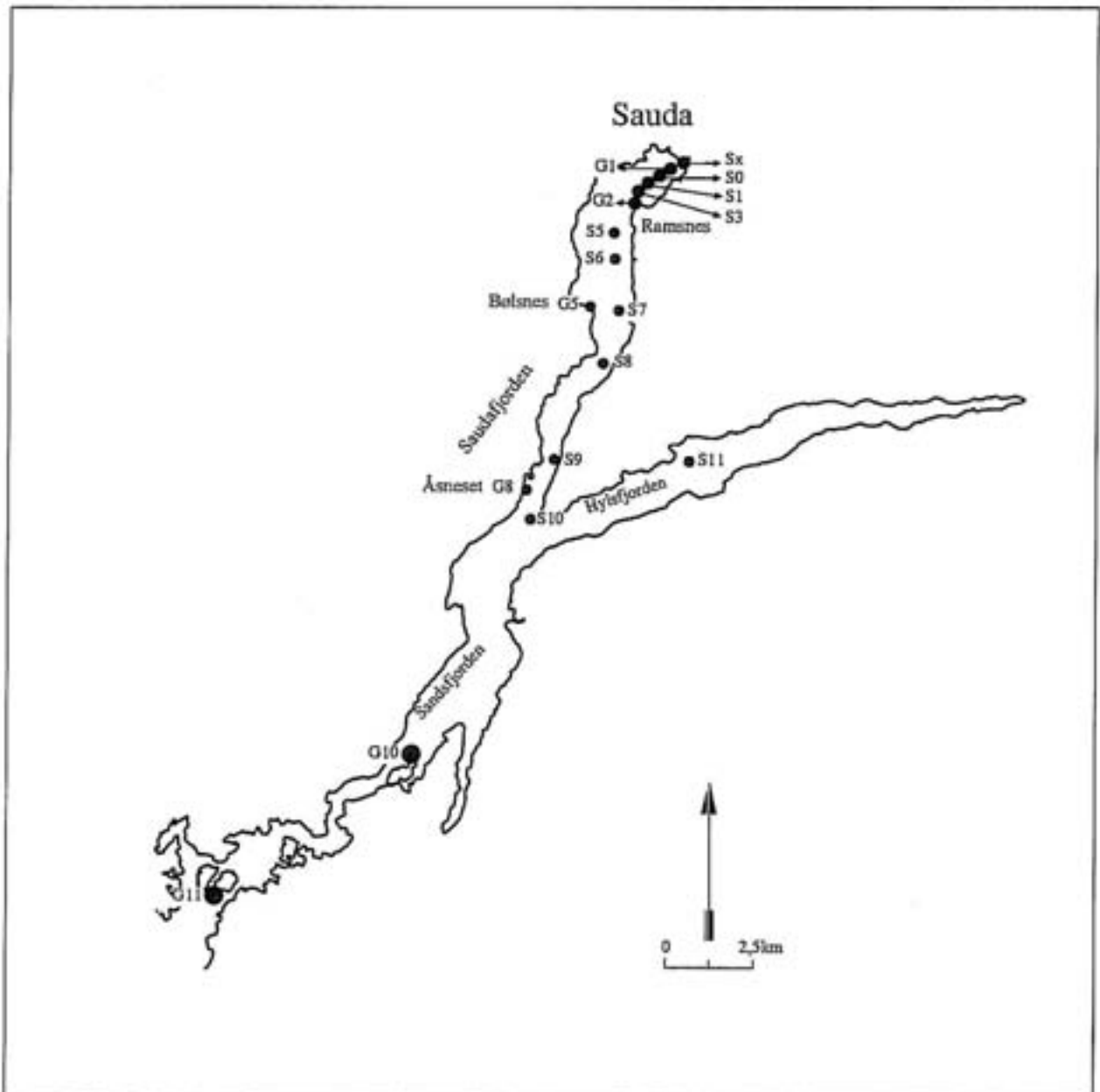


RAPPORT LNR 3984-99

Miljøtilstanden i Saudafjorden

Utvikling 1974 - 1997



Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 1
4890 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5008 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-NIVA A/S

9015 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

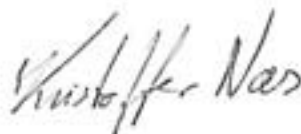
Tittel Miljøtilstanden i Saudafjorden. Utvikling 1974-1997	Lepernr. (for bestilling) 3984	Dato 1999.01.14
	Prosjektnr. Undemr. O-98153	Sider Pris 25
Forfatter(e) Næs, Kristoffer	Fagområde Miljøgifter i sjøvann	Distribusjon
	Geografisk område Rogaland	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Elkem Mangan KS Sauda	Oppdragsreferanse Karl Erik Johansen
---	---

Sammendrag

Saudafjorden var tidligere betydelig belastet med utslipp, spesielt polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) fra Elkem Mangan KS Sauda (før 1981: Electric Furnace Products Co. Ltd.). Utslippsbegrensende tiltak ved bedriften har medført at dagens utslipp er redusert med 99% i forhold til utslippet i 1985. Som følge av dette, har konsentrasjonene i de forskjellige undersøkte delene av fjordsystemet også avtatt. Miljøtilstanden i fjorden må imidlertid fremdeles karakteriseres som betydelig forurensset. Innholdet av PAH i organismer har medført at næringsmiddelmyndighetene har innført kostholdsråd knyttet til inntak av sjømat. Pr. idag frarådes konsum av skjell og fiskelever fra innerst i Saudafjorden og ut til Åsneset. Det er behov for en ny undersøkelse for å oppdatere informasjonen om miljøtilstanden i fjorden.

Fire norske emneord 1. PAH 2. Saudafjorden 3. Overvåking 4. Tidsutvikling	Fire engelske emneord 1. PAH 2. Saudafjorden 3. Monitoring 4. Time trends
---	---



Kristoffer Næs
Prosjektleder

ISBN 82-577-3580-9



Bjørn Braaten
Forskningsjef

O-98153

Miljøtilstanden i Saudafjorden

Utvikling 1974-1997

Forord

Denne rapporten er utarbeidet på oppdrag av Elkem Mangan KS Sauda. Kontaktperson hos oppdragsgiver har vært miljøsjef Karl Erik Johansen.

Karl Erik Johansen har fremskaffet opplysninger om utslippsmengder og rens tiltak ved bedriften. Ved NIVA har Jarle Håvardstun utarbeidet kartmaterialet, mens Mette C. Lie har redigert rapporten. Kristoffer Næs har vært prosjektleder. Alle takkes for innsats.

Grimstad, 14. januar 1999

Kristoffer Næs

Innhold

SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER.....	5
SUMMARY AND CONCLUSIONS	6
1. INNLEDNING.....	7
1.1 GENERELL INNLEDNING.....	7
1.2 FORURENSNINGSBELASTNING.....	8
1.3 UNDERSØKELSESPROGRAMMER.....	10
1.3.1 <i>Formål</i>	10
1.3.2 <i>Gjennomføring</i>	10
2. KUNNSKAPSTATUS OM BETYDNING AV PAH-FORURENSNING AV MARINE OMRÅDER¹²	
3. TIDSUTVIKLING I PÅVIRKNINGEN PÅ FJORDSYSTEMET.....	13
3.1 BLÅSKJELL OG OSKJELL.....	13
3.2 SEDIMENTER.....	15
4. DAGENS MILJØTILSTAND.....	17
5. REFERANSER.....	19
5.1 REFERANSER TIL TABELL 4.....	19
5.2 TEKSTREFERANSER.....	24

Sammendrag og konklusjoner

Saudafjorden var i tidligere tid betydelig belastet med utslipp fra Elkem Mangan KS Sauda (før 1981: Electric Furnace Products Co. Ltd.) og høye konsentrasjoner av forurensningskomponenter, spesielt PAH, har blitt observert i både organismer og sedimenter. Utslippsbegrensende tiltak ved bedriften har medført at dagens utslipp av f.eks. PAH er redusert med 99 % i forhold til utslippet i 1985. Som følge av dette har konsentrasjonene i de forskjellige undersøkte delene av fjordsystemet også avtatt. Imidlertid, på grunnlag av de siste målingene av PAH-innholdet i blåskjell karakteriseres fremdeles tilstanden i overflatevannet innerst i fjorden som sterkt forurenset, markert forurenset ved Bølsnes. For metallet bly var konsentrasjonene i blåskjell i fjordsystemet 2-5 ganger forhøyet (Knutzen 1995). Innholdet av PAH i organismer har medført at næringsmiddelmyndighetene har innført kostholdsråd knyttet til inntak av sjømat. Pr. idag frarådes konsum av skjell og fiskelever fra innerst i Saudafjorden og ut til Åsneset.

Det er et behov for oppdatering av situasjonen i Saudafjorden. Sett i lys av de utslippsreduksjonene som har skjedd ved verket er konsentrasjonene i de forskjellige overvåkingsmediene ikke nødvendigvis representative for dagens miljøtilstand. For eksempel ble siste undersøkelse av bløtbunnsfauna gjennomført i 1981, siste overvåkingsundersøkelse av sedimentene gjennomført i 1986 og siste innsamling og analyser av oskjell gjort i 1993-94. PAH-innhold i blåskjell har blitt analysert også i 1995, 1996 og 1997 på prøver fra to stasjoner (SFTs miljøindeksprogram for blåskjell). En slik oppdatering er også aktuell for at en så alvorlig begrensning på ressursutnyttelsen av fjorden som kostholdsrådet representerer, skal være fattet på et godt grunnlag.

Ved en eventuell ny undersøkelse i fjorden er det viktig å nøye drøfte hvilke spørsmål undersøkelsen skal besvare. Dette er særlig viktig fordi forskjellige formål nødvendigvis ikke kan besvares med samme prøvetakingsstrategi. Hvis eksempelvis et av formålene er å kunne bedømme utviklingen i fjorden ved visse mellomrom, er det nødvendig at man kjenner den kortsiktige variabiliteten i tid og rom innenfor en valgt overvåkingsstasjon. Dette er nødvendig for å skille naturlig betingede variasjoner i konsentrasjoner fra forskjeller i belastning. Likeledes, hvis undersøkelsene skal danne grunnlag for eventuelt å endre geografiske grenser for kostholdsråd, må man sikre tilstrekkelig oppløsning i konsentrasjonsfordelingen i fjorden og sørge for at naturlig betingede variasjoner i f.eks. skjells innhold av PAH er kjent.

Ved en eventuell ny undersøkelse med formål å gi oppdatert beskrivelse av forurensningssituasjonen i fjorden, bør både kartlegging av konsentrasjoner og effekter inngå. Det bør samles prøver som representerer overflatevann såvel som dypvann. Påvirkningen på de dypere vannmassene karakteriseres ved å undersøke sedimentene, mens belastningen på overflatelaget belyses ved analyser av blåskjell/oskjell. For å belyse effekter av forurensningen på bunnen, bør karakterisering av bløtbunnsfunnene inngå. Det er tidligere blitt gjennomført analyser av PAH-innhold i fisk. Fisk har imidlertid evne til å bryte ned PAH-forbindelser, og analyser av fiskefilet vil derfor vanligvis vise lave verdier samsvarende med det som er blitt observert i Saudafjorden. Det kan imidlertid være aktuelt med analyser av PAH-innhold i lever samt nedbrytningsprodukter av PAH i galle hos torsk for å belyse en eventuell påvirkning.

Summary and conclusions

Title: Environmental status for the Saudafjord. Trends in contamination from 1974 to 1997.

Year: 1999

Author: Kristoffer Næs

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3580-9

Previously, the Saudafjord has been considerably contaminated by effluents from Elkem Mangan KS Sauda (before 1981: Electric Furnace Products Co. Ltd.). Elevated concentrations particularly of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) have been recorded in monitoring organisms and in sediments. Abatement initiatives at the plant have reduced the effluents by more than 99 % compared to 1985. As a result, concentrations in the different monitoring matrices have also decreased. However, based on PAH concentrations in blue mussels (*Mytilus edulis*) sampled in 1997, the surface water in the inner part of the fjord is still characterized as severely contaminated and markedly at Bølsnes according to Norwegian quality criteria. The concentrations of lead in blue mussels were 2-5 times a background level in all parts of the fjord. Due to the concentrations of PAH in organisms Norwegian food authorities have issued a dietary advice against consumption of mussels and fish liver caught from the inner part of the fjord to Åsneset.

A new investigation is needed to give updated information of the environmental status of the fjord. In light of the significant reductions in the effluents over the last years, the present data from the different monitoring matrices are not necessarily representative for the situation of today.

Before a new investigation is started, the objectives must be discussed in detail to ensure a sampling programme that should cover distribution of contaminants concentrations and possibly effects, as well as forming a basis for time trend monitoring.

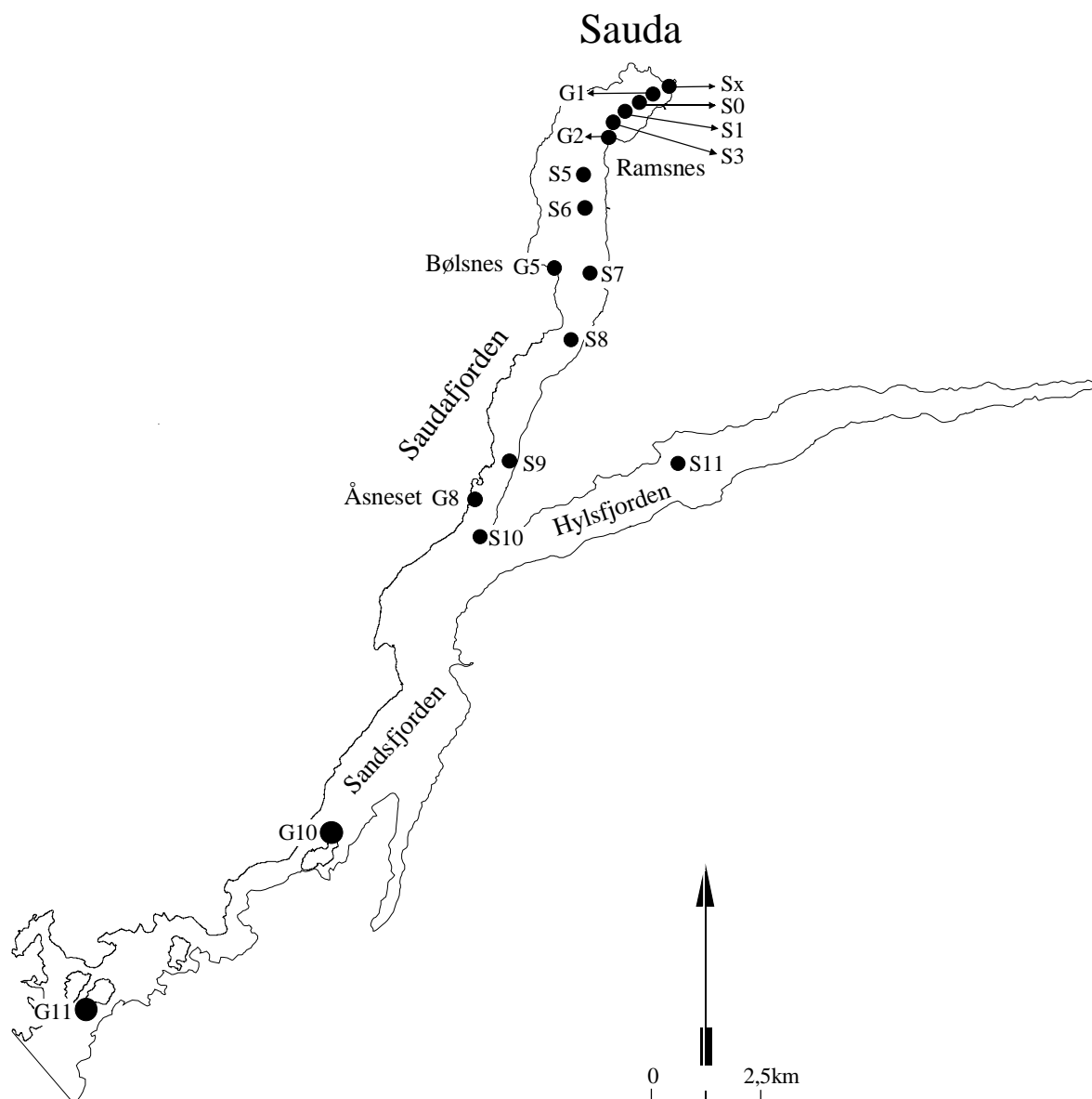
1. Innledning

1.1 Generell innledning

Saudafjorden mottar avløpsvann som følge av produksjonen ved Elkem Mangan KS Sauda. Smelteverket, som i hovedsak har produsert forskjellige manganlegeringer, ble opprettet i 1923 og eid av amerikanske Union Carbide fram til 1981. I 1981 ble verket overtatt av Elkem a/s.

Saudafjorden strekker seg fra munningsområdet mot Hylsfjorden/Sandsfjorden og inn til Sauda og er ca. 13 km lang (Figur 1). Fjorden er for det meste omgitt av bratte åser, og det vesentlige av nedbørsfeltet drenerer til den innerste delen. Selve bassenget skråner på alle sider bratt ned mot bunnen. Mot Hylsfjorden/Sandsfjorden er det en terskel med dyp på vel 200 m, mens dypet øker mot et maksimum på ca. 390 m midt i fjorden litt syd for Bølsnes. Området mellom Bølsnes og Ramsnes har stort sett dyp mellom 200 og 350 m, mens det innover fra Ramsnes stiger relativt hurtig til omkring 20-50 m i havnebassenget (Knutzen og medarb. 1976).

Ferskvannstilførselen, som i hovedsak skjer innerst i fjorden, gir opphav til en utgående brakkvannsstrøm oftest i 2-4 meters tykkelse. Under denne settes det opp en inngående kompensasjonsstrøm ned til 20-30 meter. Brakkvannslaget har en saltholdighet på 0-15 ‰, mens den er ca. 30 ‰ i kompensasjonsstrømmen. I de dypereliggende vannmassene under kompensasjonsstrømmen er saltholdigheten gjerne i området 33-35 ‰ (Knutzen og medarb. 1976).



Figur 1. Kart over Saudafjorden, Hylsfjorden og Sandsfjorden. Prøvetakingslokaliteter for skjell (merket G) og sedimenter (merket S) er inntegnet.

1.2 Forurensningsbelastning

Utslippene til sjø fra Elkem Mangan KS Sauda har i det vesentlige kommet fra råmaterialbehandling og våtvasking av gasser fra sinteranlegg og smelteovner. Gjennom tidene er forskjellige tiltak gjennomført for å begrense utslippene til sjøen (Tabell 1).

Tabell 1. Historisk oversikt over innføring av rensiltak med betydning for utslipp til sjø fra Elkem Mangan KS Sauda.

År	Tiltak
1947	Innført gassvasking ovn 1, 2 og 22
1956	Innført gassvasking roterovn 1
1961	Innført gassvasking kokstørke
1966	Installert div. våtvaskere
1967	Gassvasking ovn 11
1969	Installert gassvasker sinterverket
1971	Gassvasking roterovn 3
1973	Gassvasking ovn 12
1978	Oppstart vannrenseanlegget
1982	Ny våtvasker sinterverket
1988	Rehabilitering av vannrenseanlegget

Det har skjedd store forandringer i utslippene til sjø de siste 15 årene. Som følge av rehabiliteringen av vannrenseanlegget i 1988 ble utslippene av f.eks. PAH redusert med 90% fra 1985 til 1990. En tilsvarende prosentvis reduksjon har skjedd i perioden fra 1990 og fram til 1997. Selv om ytterligere rensetiltak ikke har blitt gjennomført i denne perioden opplyser verket at reduksjonen skyldes driftsoptimalisering av renseanlegget, reduksjon av vannmengde til sjø samt målsetning om kontinuerlig forbedring og fokus på rensetiltak. I forhold til 1985 er dagens utslippsmengder redusert med 99 % (Tabell 2).

Tabell 2. Utslipp til sjø fra vannrenseanlegg, Elkem Mangan KS Sauda.

	1985	1990	1995	1996	1997
Susp.stoff kg/døgn	1300	219	19	18	10
Susp.stoff tonn/år	474,5	79,9	6,9	6,6	3,7
Mn kg/døgn*	272	4,5	3,9	2,9	1,3
Mn tonn/år*	99,3	1,6	1,4	1,1	0,5
Zn kg/døgn	8,9	4,57	1,61	1,94	1,76
Zn tonn/år	3,25	1,67	0,59	0,71	0,64
PAH kg/døgn**	13,12	1,13	0,075	0,027	0,058
PAH kg/år**	4787	412	27	10	21
Susp.stoff renseeffekt %, gj.snitt	92	92	96	97	95

* Mangan er oppgitt som oppløst stoff i 1985 og i 1990, mens tall for 1995, 1996 og 1997 er totalt mangan.

** PAH er beregnet på grunnlag av månedlige blandprøver for 1990, mens på grunnlag av halvårlige prøver for 1985, 1995 og 1996. For 1997 er det beregnet av en kombinasjon av halvårsprøver og månedlige prøver.

Den forurensningskomponenten som det har vært størst oppmerksomhet til er PAH. Det skyldes at en del av komponentene er klassifisert som potensielt kreftfremkallende. Det er også innhold av PAH i fjordsystemet som har medført kostholdsrad med hensyn til inntak av sjømat fra Saudafjorden. Målinger har imidlertid også påvist belastning på fjorden av metaller, f.eks. sink, bly og kadmium (Knutzen 1995, Knutzen og Skei 1988, Næs 1991).

1.3 Undersøkelsesprogrammer

1.3.1 Formål

Undersøkelsene i fjordsystemet ved Sauda har tjent flere formål. De to viktigste målene har imidlertid vært å karakterisere miljøtilstanden i fjorden samt å følge med hvorledes belastningen endrer seg over tid, spesielt som følge av forurensningsbegrensende tiltak ved Elkem Mangan KS Sauda.

Enkelte av observasjonene har hatt andre formål. Eksempler på dette er vurderinger av mengde og konsentrasjoner av forskjellige forbindelser i avløpsvannet fra Elkem Mangan KS Sauda, beskrivelse av Saudafjordens hydrografi og vannutskifting for å gjøre et best mulig valg av utslippssted og utslippsdyp for avløpsvann osv. (f. eks. Knutzen og medarb. 1976). Det har også blitt gjort målinger for å belyse problemstillinger av mere generell karakter, f.eks. gjennomførte Næs (1991) målinger for å beskrive frigivelse av PAH-forbindelser fra forurenset sjøbunn til vannmassene.

Målingene har dannet grunnlaget for de sentrale forurensningsmyndighetenes vurdering av behov for utslippsbegrensende tiltak. De har også vært grunnlaget for de sentrale næringsmiddel-myndighetenes vurdering av behovet for kostholdsråd knyttet til inntak av marine organismer fra området og de har tjent Elkem Mangan KS Saudas behov for miljødokumentasjon.

1.3.2 Gjennomføring

Besvarelse av de forskjellige formålene for undersøkelsene krever målinger av flere deler av økosystemet. Målinger for å besvare de to hovedproblemstillingene (miljøtilstand og utvikling) har vært basert på forekomst av miljøgifter i bunnslam (sedimenter), gruntvannssamfunn og bløtbunnsfauna.

Miljøgifter som PAH og metaller har en utpreget tendens til å bindes til partikler som etterhvert vil synke til bunns. Sedimentene er derfor velegnet til å påvise belastning på de dypereliggende vannmassene og til å følge utviklingen over tid.

Tilstanden i de øvre vannlag har vært fulgt ved å analysere blåskjell og oskjell. Disse organismene har evne til å akkumulere forbindelser som PAH og metaller uten selv å ta skade. Ved et par anledninger har også fisk blitt analysert for innhold av PAH. Fisk har imidlertid et enzymesystem som muliggjør nedbrytning av PAH. Normalt er derfor analyse av fisk, og da spesielt filet av fisk, mindre egnet.

Det må skilles mellom målinger av forekomst eller konsentrasjoner av miljøgifter og effekter. Mens sediment- og skjellanalysene har gitt informasjon om konsentrasjoner, har sammensetningen av dyrelivet på de dype, bløte bunnene (bløtbunnsfaunaen) (i 1974, 1976 og 1981) samt fastsittende alger og fauna i strandsonen (i 1974, 1976, 1980, 1981), vært anvendt for å se på eventuelle effekter.

Målingene har primært foregått i Saudafjorden til munningen av Hylsfjorden. I tillegg er enkelte prøver fra Hylsfjorden (sediment) og Sandsfjorden (skjell) blitt samlet inn og analysert. En oversikt over hvilke prøvetyper som er blitt analysert for å beskrive forurensningssituasjonen i Saudafjorden er vist i Tabell 3.

Tabell 3. Oversikt over prøvetyper som er blitt analysert for å karakterisere forurensningssituasjonen i Saudafjorden.

Innsamlings- år	Prøvetype
1974	Vann, sediment, blåskjell, oskjell, tang, bløtbunnsfauna, flora og fauna på grunt vann
1976	Sediment, blåskjell, oskjell, tang, bløtbunnsfauna, flora og fauna på grunt vann
1980	Blåskjell, oskjell, tang
1981	Vann, sediment, blåskjell, oskjell, bløtbunnsfauna
1986	Sediment, tang, blåskjell, oskjell, torsk, skrubbeflyndre
1987	Torsk, rødspette
1990	Sediment, blåskjell, oskjell
1991	Blåskjell, oskjell
1992	Blåskjell, oskjell, torsk
1993	Blåskjell, oskjell
1994	Blåskjell, oskjell

En oversikt over rapporterte undersøkelser med publikasjonsdato og referanser er gitt i Tabell 4.

Tabell 4. Oversikt over undersøkelser i Saudafjorden.

Ved- legg ref.	Tittel	Publikasjons- dato
1	PAH og metaller i blåskjell og o-skjell fra Saudafjorden 1993-1994.	1995.05.03
2	Akkumulering i blåskjell av PAH mobilisert fra forurenset sjøbunn.	1994.03.03
3	PAH og metaller i fisk og muslinger fra Saudafjorden 1991-1992.	1993.11.17
4	Frigivelse av PAH fra forurenset sjøbunn.	1991.12.12
5	Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) og metaller i blåskjell og o-skjell fra Saudafjorden/Sandsfjorden 1990.	1991.06.12
6	Undersøkelse av renseanlegget ved Sauda Smelteverk A/S.	1988.06.15
7	Tiltaksorientert overvåking i Saudafjorden 1986-1987 .	1988.04.29
8	Overvåking i Saudafjorden 1981 (Overvåkingsrapport 50/82).	1982.09.10
9	Overvåking i Saudafjorden 1980. (Overvåkingsrapport 7/81).	1981.10.02
10	Nasjonalt program for overvåking av vannressurser. Pilotprosjekt Saudafjorden. Observasjoner 1974-1976.	1979.01.08
11	Resipientundersøkelse av Saudafjorden. Observasjoner av hydrografi, sedimenter og biologiske forhold 10-13/9-74.	1976.02.15
12	Resipientundersøkelse av Saudafjorden. Vurdering av cyanidutslipp fra Electric Furnace Products Co. Ltd.	1974.09.26
13	Resipientundersøkelse av Saudafjorden. Foreløpig karakteristikkk av biologiske forhold i fjordens indre basseng.	1974.09.26
14	Forslag til program for undersøkelse av Saudafjorden som resipient for avløpsvann fra Electric Furnace Products Co. Ltd	1974.08.14

2. Kunnskapstatus om betydning av PAH-forurensning av marine områder

PAH (Polysykliske aromatiske hydrokarboner) dannes ved ufullstendig forbrenning av organisk materiale. Som følge av vulkanutbrudd, skogbranner, undersjøisk utlekking av olje, osv. forekommer det et naturlig, lavt bakgrunnsnivå. Forskjellig industriell aktivitet kan føre til forurensningsutslipp av forbindelsene. I norske fjorder er det særlig produksjon av primæraluminium og manganlegeringer som har bidratt til forhøyede konsentrasjoner av PAH. I et manganverk som Elkem Mangan KS Sauda er kilden i hovedsak fordamping av flyktige forbindelser i bek som brukes i framstillingen av elektroder samt fra bruken av koks som reduksjonsmiddel. For å hindre utslipp til luft vaskes avgassene og vaskevannet ledes til sjøen.

Hovedbekymringen i forbindelse med PAH-utslipp knytter seg til at noen av forbindelsene er klassifisert som potensielt kreftfremkallende. Mulige effekter av PAH vil imidlertid variere med kildetypen. Det finnes en betydelig mengde data om PAH i den internasjonale litteraturen. For en oversikt vises det til Knutzen (1989) og Kvernheim et al. (1992). I den senere tid er det gjennomført omfattende arbeider som spesielt er relevante for norske forhold. Norsk aluminiumsindustri publiserte i 1994 (Anon. 1994) en gjennomgang av effekter både på terrestrisk og marint miljø. Det er nylig blitt publisert en rekke artikler om konsentrasjon og fordeling av PAH i vann, sedimenter og biota samt også effekter på bunnfauna og fisk (Axelman et al. in press; Næs and Oug 1997; Næs and Oug 1998; Næs et al. 1995a,b; Næs et al. 1998a,b; Næs et al. in press; Oug et al. 1998). Disse arbeidene har anvendt overvåkingsdata fra norske fjorder og kystområder som er påvirket av utslipp fra primæraluminium- og manganindustrien supplert med nye undersøkelser. Noen hovedresultater fra dette arbeidet er kort gjengitt nedenfor.

Ut fra den datamengden man besitter i dag, gir PAH dannet ved produksjon av aluminium og ferro-/silikomangan små/moderate effekter på det marine miljøet. De begrensede økologiske skadene må imidlertid skilles fra at det observeres høye konsentrasjoner i sedimenter og biota i mange av områdene.

Mere spesifikt viser resultatene at:

- PAH dannet fra aluminium- og manganindustrien er meget sterkt bundet til partikler og i liten grad tilgjengelig for "utlekking" til vannfasen. Den sterke partikkeltilknytningen skyldes i stor grad binding til sotpartikler.
- Partikkelbundet PAH er lite tilgjengelig for omdanning og nedbrytingsprosesser.
- PAH-forurensningen har gitt små effekter på bunnlevende fauna. Det er imidlertid blitt observert funksjonelle forandringer i bunndyrsamfunnene i nærheten av verkene som kunne korreleres mot PAH-fordelingen i sedimentene dvs. økende fravær av partikkelspisere og økende forekomst av rovformer.
- Bunnlevende fisk samlet fra områder med PAH-forurenset sediment var svakt påvirket.

Det skal legges til at fisk plassert i bur i nærheten av utslipp fra aluminiumsverk har vist opptak (Beyer et al. 1996) og også effekter av PAH (Ericson et al. 1998).

3. Tidsutvikling i påvirkningen på fjordsystemet

Tidsutviklingen i påvirkningen på fjordsystemet illustreres best med resultatene fra skjell- og sedimentanalysene. Det vil også illustrere forskjellige deler av vannmassene. Blåskjell lever i strandsonen og vil dermed akkumulere forbindelser som transporteres i overflatelaget. Oskjell lever i litt dypere vannlag, 5-20 meter og gjerne litt ned i sedimentet. I tillegg til påvirkning fra forbindelser i vannmassen, vil derfor oskjell også vanligvis i større grad enn blåskjell påvirkes av forurensninger akkumulert i sedimentene. Mens muslinger, i allefall blåskjell, gjenspeiler belastningen over kortere tidsrom (dager, uker), integrerer sedimentene belastningen over lengre tid. Sedimenttilveksten er gjerne i størrelsesorden 2-5 mm pr. år. Konsentrasjonen i det øverste 1 eller 2 cm tykke overflatelaget av sedimentet vil derfor representere en tidsperiode på i størrelsesorden 3-7 år.

3.1 Blåskjell og oskjell

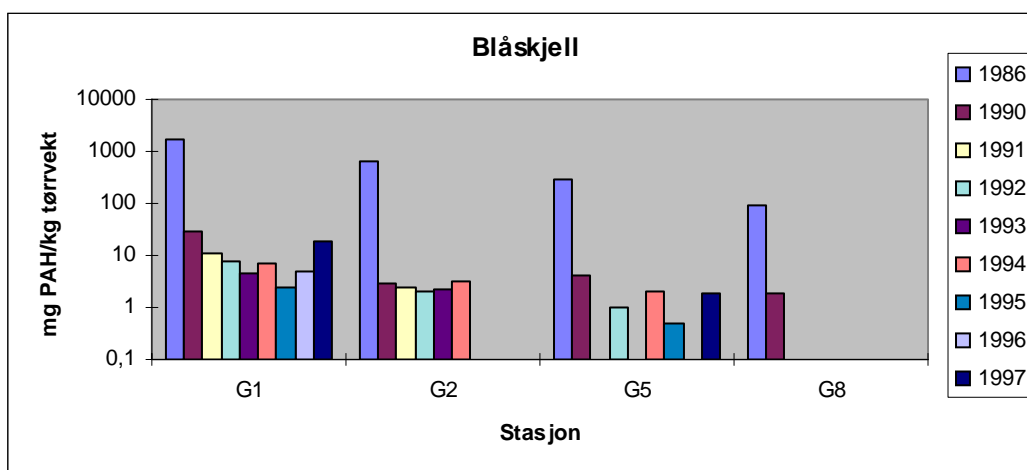
Resultatene for PAH-innhold i blåskjell og oskjell i perioden 1986-1994 er vist i Tabell 5.

Tabell 5. PAH, KPAH og B(a)P i blåskjell (*Mytilus edulis*) og oskjell (*Modiolus modiolus*) fra Sauda-/Sandsfjorden 1986-1994 (etter Knutzen 1995). Konsentrasjonene er angitt som µg/kg våtvekt. Data fra 1995, 1996 og 1997 er fra SFTs forurensningsindeksprogram og representerer gjennomsnitt av tre prøver. ¹⁾ Ikke funnet blåskjell.

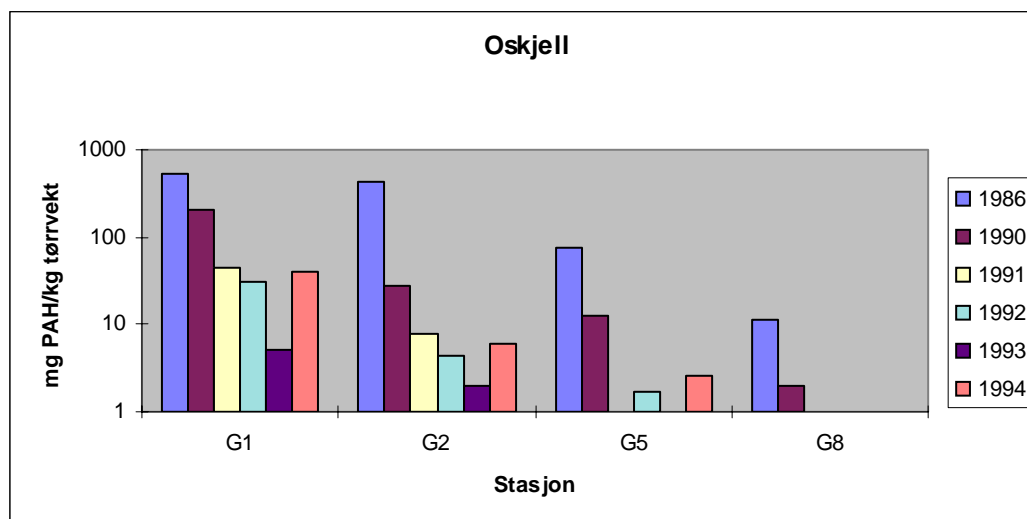
Stasjon	År	Blåskjell			Oskjell		
		PAH	KPAH	B(a)P	PAH	KPAH	B(a)P
G1	1986	278417	125606	23456	69498	37317	8202
	1990	4310	2521	332	27811	13087	2383
	1991	1996	634	109	6312	2843	446
	1992	1621	523	92	4523	1762	295
	1993	712	134	16	1639	659	231
	1994	1030	265	35	5961	3841	692
	1995	384	116	15			
	1996	890	286	33			
G2	1986	89553	44216	6173	60476	30740	5518
	1990	589	243	10	4367	2847	464
	1991	467	155	26	937	445	61
	1992	332	145	23	498	224	35
	1993	449	144	16	209	98	12
	1994	468	139	25	867	398	59
G5	1986	58276	23428	24001	13477	8309	1425
	1990	841	179	6	2330	1399	157
	1992	283	75	11	247	103	11
	1994	344	75	10	395	156	16
	1995	88	8,8	1,4			
	1996	¹⁾					
G8	1986	11886	4086	89	1618	1238	94
	1990	251	108	ikke påvist	279	78	2
	1992	¹⁾	¹⁾	¹⁾	80	26	3

Foruten sum PAH er også sum av potensielt kreftfremkallende PAH (KPAH, etter IARC 1987) vist samt benzo(a)pyren, B(a)P. Selv om det også foreligger data fra 1976, 1980 og 1981 er det i denne sammenheng valgt kun å inkludere data fra 1986 og senere. Det skyldes at de høyeste konsentrasjonene ble målt i 1986 og at en ny beregningsmåte (i henhold til IARC 1987) for KPAH da ble innført.

Tidsutviklingen i PAH-innhold i blåskjell og oskjell på tørrvektsbasis er også vist i Figur 2 og 3.



Figur 2. PAH-innhold i mg/kg tørrvekt i blåskjell fra Sauda-/Sandsfjorden i perioden 1986-1994. Merk logaritmisk akse.

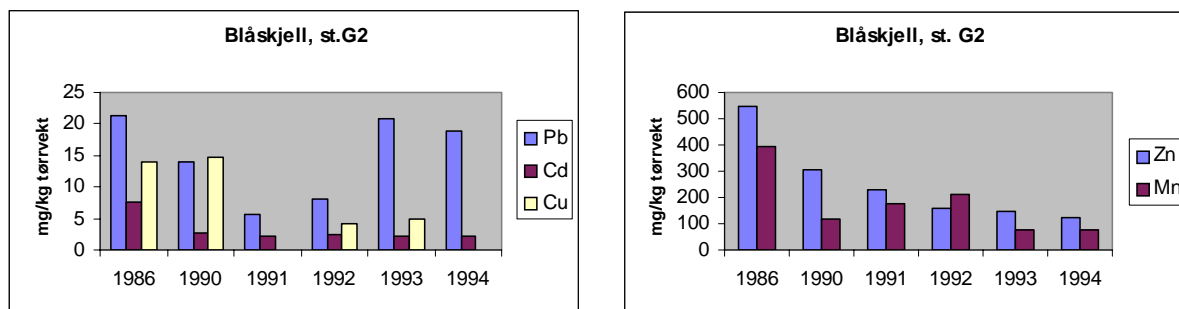


Figur 3. PAH-innhold i mg/kg tørrvekt i oskjell fra Sauda-/Sandsfjorden i perioden 1986-1994. Merk logaritmisk akse.

Fra 1986 er PAH-innholdet i blåskjell fra indre (stasjon G1 og G2) og midtre fjord (stasjon G5) redusert med mer enn 99 %. Reduksjonen i oskjell var 90-99 %. Konsentrasjonen av de potensielt

kreftfremkallende forbindelsene (B(a)P og andre KPAH) har avtatt i samme grad. Resultatene kan tyde på at belastningen hadde økt noe fra 1993 til 1994.

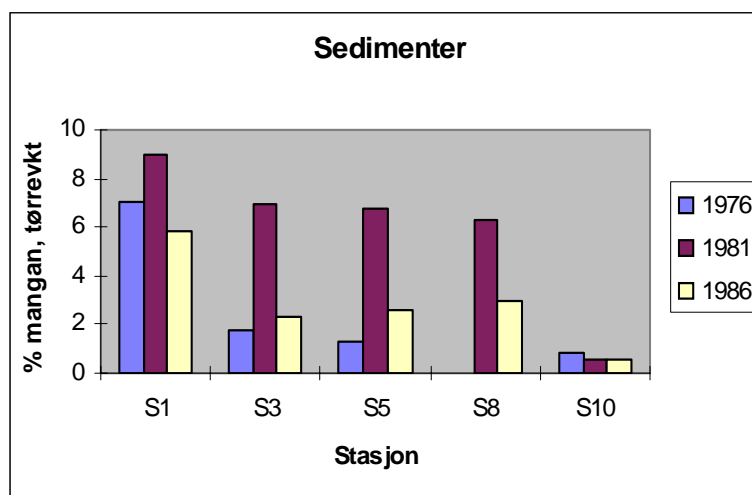
For å illustrere utviklingen i metallbelastningen i overflatevannet i Saudafjorden er det valgt å bruke metallinnholdet i blåskjell fra stasjon G2 (Figur 4). Sammenlignet med 1986 har det, bortsett fra bly, vært større eller mindre nedgang i konsentrasjonene av metallene (Figur 4).



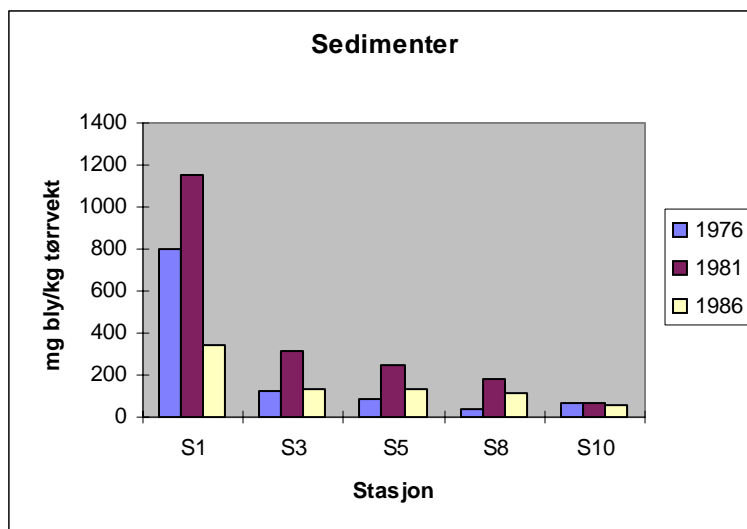
Figur 4. Utvikling i metallinnhold (bly (Pb), kadmium (Cd), sink (Zn), mangan (Mn) og kobber (Cu)) i blåskjell i mg/kg tørrvekt i Sauda-/Sandsfjorden i perioden 1986-1994.

3.2 Sedimenter

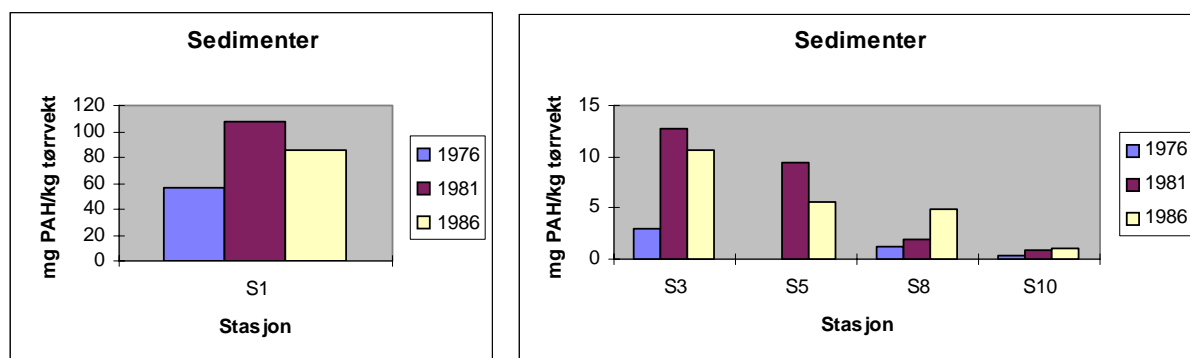
Sedimentundersøkelser i hele Saudafjorden er bare gjennomført tre ganger, nemlig i 1976, 1981 og 1986. Det ble også samlet inn sedimentprøver i 1974, men da kun fra det indre fjordområdet. Sammenlignet med skjell, er det dermed et meget begrenset datamateriale for å påvise en eventuell tidsutvikling. For å illustrere forandring i konsentrasjonen i sedimentene over tid er det valgt å vise resultatene fra mangan (Figur 5) og bly (Figur 6) samt PAH (Figur 7).



Figur 5. Fordeling av mangan i prosent i overflatesedimenter i Saudafjorden i perioden 1976-1986.



Figur 6. Fordeling av bly i mg/kg tørrvekt i overflatesedimenter i Saudafjorden i perioden 1976-1986.



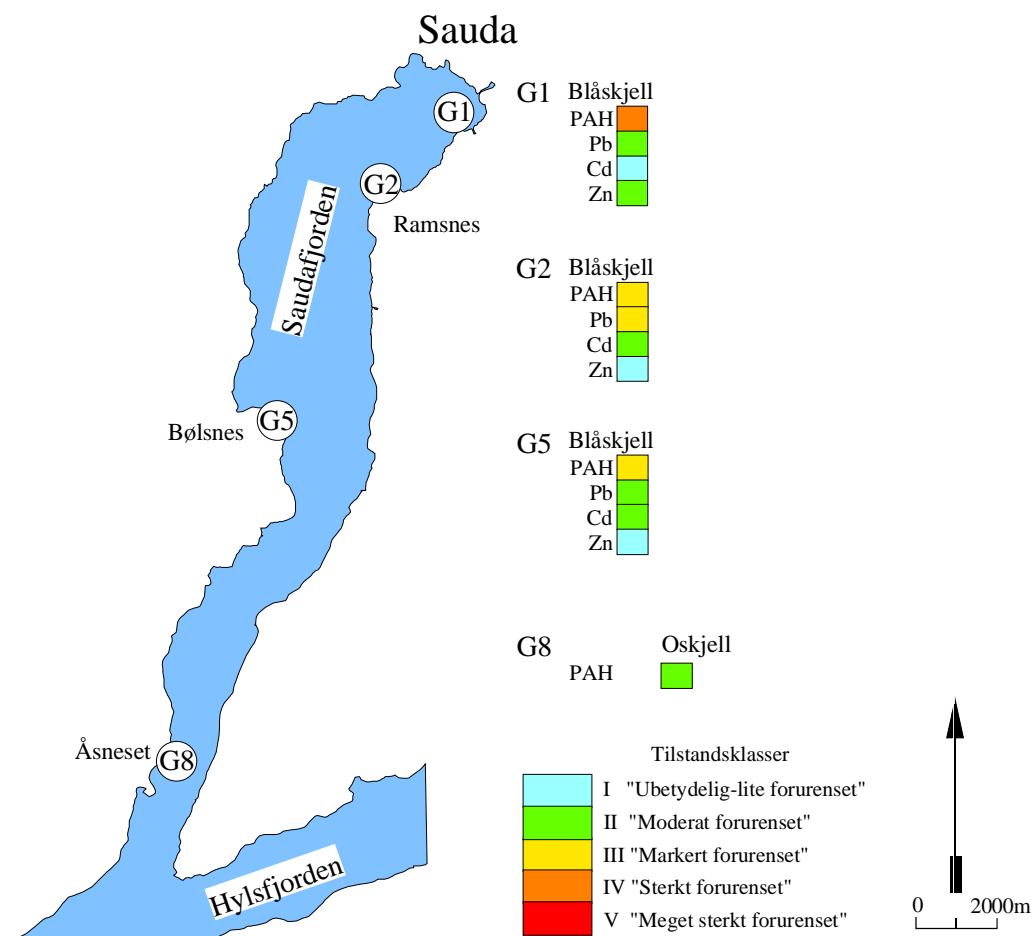
Figur 7. Fordeling av PAH mg/kg tørrvekt i overflatesedimenter i Saudafjorden i perioden 1976-1986.

Sammenlignes konsentrasjonene av mangan i 1981 med 1986, viser resultatene at utslippene ble betraktelig redusert. Renseanlegget ved verket kom i drift 1978. Ut fra en sedimenttilvekst på et par millimeter pr. år, samt en del innkjøringsproblemer med renseanlegget, kan vi anta at konsentrasjonen i sedimentene i 1981 i hovedsak representerer tilstanden før rensing. I likhet med mangan, viste analysene av bly en kraftig nedgang fra 1981 til 1986.

For PAH var det imidlertid små forandringer i konsentrasjonene fra 1981 til 1986.

4. Dagens miljøtilstand

Det er kun for blåskjell og oskjell at det foreligger rimelig oppdaterte analyser med hensyn til dagens miljøsituasjon. For blåskjell ble siste prøveinnsamling gjort i 1997 i forbindelse med SFTs forurensningsindeksprogram for blåskjell. Karakterisering av dagens miljøtilstand i Saudafjorden er derfor basert på disse to organismene og vist i Figur 8.



Figur 8. Klassifisering av tilstanden i Saudafjorden med hensyn på PAH, bly (Pb), kadmium (Cd) og sink (Zn) etter SFTs system for miljøkvalitet (Molvær og medarb. 1997). For metaller er klassifiseringen på grunnlag av målinger gjennomført i 1994 (Knutzen 1995).

For PAH er det følgende grunnlag for klassifiseringen:

Oskjell: På grunnlag av målinger gjennomført i 1994 (Knutzen 1995).

Blåskjell:

Stasjon G1 og G5: På grunnlag av målinger gjennomført i 1997 (SFTs miljøindeksprogram for blåskjell)

Stasjon G2: På grunnlag av målinger gjennomført i 1994 (Knutzen 1995).

Stasjon G8: På grunnlag av målinger gjennomført i 1992 (Knutzen 1993).

For PAH er klassifiseringen for stasjon G1 og G5 på grunnlag av målinger fra 1997 (SFTs forurensningsindeksprogram for blåskjell), for G2 grunnlag av målinger fra 1994 og for G8 grunnlag av målinger fra 1992.

Fiskeprøver ble siste gang samlet i 1992. Analysene ble gjennomført på filet og lever av torsk fra både ytre (Bølsnes/Åsneset) og indre fjordområde (innenfor Ramsnes). Det ble konkludert med at PAH-innholdet i fileten var ubetydelig i prøvene både fra indre og ytre område, mens innholdet i leveren vitnet om påvirkning og da mest i fisken fra indre fjord (Knutzen 1993).

Innholdet av PAH i organismer har medført at næringsmiddelmyndighetene har innført kostholdsråd knyttet til inntak av sjømat. Pr. idag frarådes konsum av skjell og fiskelever fra innerst i Saudafjorden og ut til Åsneset.

Analyser av bunnsedimentene ble siste gang gjennomført i 1986 (Knutzen og Skei 1988). Ut fra de resultatene karakteriseres miljøtilstanden med hensyn til PAH-innholdet i sedimentene som meget sterkt forurenset i indre fjordområdet ut til stasjon S1 (se Figur 1), sterkt forurenset i området S3 til S7, markert forurenset i området S7 til S8 og moderat forurenset i området S8 til S10. Imidlertid, sett i lys av nedgangen i utslippsmengder fra 1986 og fram til i dag, er denne klassifiseringen ikke nødvendigvis representativ for dagens tilstand.

Bløtbunnsfauna ble sist prøvetatt og karakterisert i 1981 (Knutzen et al. 1982). Undersøkelsene bekreftet tidligere observasjoner av nærmest død bunn eller meget fattige samfunn nærmere enn 4-500 meter fra utslippet fra smelteverket. Som for PAH-innhold i sedimentene, er nødvendigvis ikke disse observasjonene representative for dagens situasjon.

5. Referanser

5.1 Referanser til Tabell 4

Ref. 1)

Forfatter Knutzen, J.
Tittel PAH og metaller i blåskjell og o-skjell fra Saudafjorden 1993-1994.
Utgiver Norsk institutt for vannforskning (NIVA); 1995; 23s.

Prosjektnr O-90168

Oppdragsgiver Elkem Mangan Sauda

Fylke ROGALAND

Sammendrag I 1993-1994 ble det fortsatt registrert forhøyet innhold av polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) i blåskjell og o-skjell fra Saudafjorden. Overkonsentrasjonene var ca 7-20 ganger i blåskjell og omkring 8-120 ganger i o-skjell, avtagende fra innerst til 5 km ut i fjorden. Motsatt den nedadgående tendens i de senere år, ble det i 1994 konstatert en økning, som var særlig markert i o-skjell. Også avløpsanalysene tydet på økte utslipp av PAH. Sammenhengen mellom utslippstall og PAH-nivåene i skjell blir usikker ved bare en prøvetaking av skjell i året. Metallanalysene ga 2-5 ganger overkonsentrasjon av bly og mangan i blåskjell. Dette er omlag som tidligere.

ISBN 82-577-2724-5

Løpenr 3251

Ref. 2)

Forfatter Bakke, T. Konieczny, R.M
Tittel Akkumulering i blåskjell av PAH mobilisert fra forurenset sjøbunn.
Utgiver Norsk institutt for vannforskning; 1994; 32s.

Prosjektnr O-92080

Oppdragsgiver Statens forurensningstilsyn (SFT)

Sammendrag Opptak av PAH i blåskjell (*Mytilus edulis*, L.) er undersøkt som ledd et eksperiment for å kartlegge frigivelse av PAH fra forurenset sjøbunnsedimenter. Populasjoner av skjell ble plassert nedstrøms "uforstyrrede utsnitt" av bunnen fra Oslo-, Sauda- og Sunndalsfjorden i forsøksoppsett med gjennomstrømmende vann. PAH-konsentrasjonen i skjellene var positivt korrelert med konsentrasjoner i vannet og i testsedimentene, og med total suspendert stoff i utløpet. PAH-innholdet økte gradvis de 3 første mnd for deretter å flate ut de neste 3. PAH fra Saudafjorden var mer biotilgjengelig for skjell enn PAH fra Sunndalsfjord og akkumulasjon til stabilt nivå gikk raskere. Dette kan skyldes høyere TOC i sedimentene fra Saudafjorden. Skjellene akkumulerte kreftfremkallende PAH selektivt i forhold til vannet, men ikke i forhold til sedimentene. Forhøyet bioturbasjon og lang eksponering ga annen PAH-sammensetning i skjellene enn i vannet de ble eksponert til.

ISBN 82-577-2207-3

Løpenr 3014

Ref. 3)

Forfatter Berglind, L.; Knutzen, J
Tittel PAH og metaller i fisk og muslinger fra Saudafjorden 1991-1992
Utgever Norsk institutt for vannforskning; 1993; 25s.

Prosjektnr O-90168, 02
Oppdragsgiver Elkem Sauda
Fylke ROGALAND
Sammendrag PAH-innholdet i blåskjell og o-skjell fra Saudafjorden viste fortsatt nedgang. Jevnført med i 1986 ble det registrert reduksjon på mer enn 99% i blåskjell og 95 - 99% i o-skjell fra indre/midtre fjord. De høyeste konsentrasjonene (i skjell fra havnebassenget) lå fremdeles i størrelsesordenen 30/100 ganger høyere enn et (nedjustert) "normalnivå". PAH-innholdet i filet av torsk var ubetydelig, mens konsentrasjonene i lever viste noe påvirkning. Blåskjell fra indre fjord hadde 6 - 8 ganger forhøyet manganinnhold, 2 - 3 ganger overkonsentrasjon av bly, men bare svake overkonsentrasjoner for kadmium og sink.

ISBN 82-577-2365-7
Løpenr 2960

Ref. 4)

Forfatter Næs, K.
Tittel Frigivelse av PAH fra forurenset sjøbunn
Utgever Norsk institutt for vannforskning; 1991; 74s.

Prosjektnr O-894801
Elkem Al.,Lista;Elkem Al.,Mosjøen;Elkem A/S PEA; Elkem Sauda Smelteverk A/S; Hydro Al A/S Høyanger Verk; Hydro Al. Karmøy Fabrikker;Hydro Al.,A/S Sunndal Verk; Hydro Al., A/S Årdal verk;Odda Smelteverk A/S;Tinnfos Jernverk A/S Øye Smelteverk;Statens forurensningstilsyn (SFT); Norsk institutt for vannforskning (NIVA)

Oppdragsgiver

Fylke ROGALAND
Sammendrag For å undersøke hvorvidt og i hvilken grad PAH frigis fra forurenset sjøbunn ble uforstyrrede utsnitt av bunnen fra Oslo-, Sauda- og Sunndalsfjorden plassert i et eksperimentsoppsett hvor vann fra 0 meters dyp i Oslofjorden strømmet over sedimentflatene. PAH-konsentrasjonen i dette vannet, etter at det hadde passert sedimentflatene, ble anvendt i beregning av frigivelsen av PAH (bundet til partikler, kolloider og som løst) fra forurenset sjøbunn. PAH er i hovedsak knyttet til partikler, og resultatene har vist at frigivelsen var avhengig av PAH-konsentrasjonen i sedimentet og grad av forstyrrelse som sedimentene ble utsatt for. Det var betydelige usystematiske variasjoner i frigivelse fra samme sedimenttype ved forskjellige prøvetakingstidspunkt. En beregnet sammenheng (signifikant) mellom konsentrasjon av PAH i sediment og grad av frigivelse, antyder eksempelvis at det i en fjord med 100 ug sum PAH/g sediment (sterk forurensning) frigis i størrelsesorden 100 kg/km²/år. En slik mengde vil representere et lite problem hvis bedriftsutslipp er i størrelse tonn/år, men vil få økende betydning etter som direkte tilførsler avtar.

ISBN 82-577-2021-6
Løpenr 2667

Ref. 5)
Forfatter Knutzen, J.

Tittel Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) og metaller i blåskjell og o-skjell fra Saudafjorden/Sandsfjorden 1990.
Utgiver Norsk institutt for vannforskning; 1991; 25s.

Prosjektnr O-90168, 01
Oppdragsgiver Sauda Smelteverk A/S
Fylke ROGALAND
Sammendrag PAH-innholdet i blåskjell og o-skjell fra Saudafjorden og Sandsfjorden var i 1990 betraktelig lavere enn i 1986, og utslippet fra Sauda Smelteverk lot seg ikke med sikkerhet spore lenger enn til munningen av Saudafjorden. Innerst i Saudafjorden var det imidlertid fremdeles overkonsentrasjoner i størrelsesordenen opp til 100-200/20-40 ganger, henholdsvis for i o-skjell og blåskjell. Moderate overkonsentrasjoner av bly, kadmium, sink og mangan ble registrert i blåskjell.

ISBN 82-577-1924-2
Løpenr 2585

Ref. 6)

Forfatter Berglind, L.
Tittel Undersøkelse av renseanlegget ved Sauda Smelteverk A/S
Utgiver Norsk institutt for vannforskning; 1988; 20s.

Prosjektnr O-77076
Oppdragsgiver Elkem A/S - Sauda Smelteverk A/S
Fylke ROGALAND
Sammendrag For å møte skjerpede konsesjonskrav må utslippet av forurensninger fra Sauda Smelteverk A/S reduseres. I sammenheng med dette er NIVA blitt engasjert til å undersøke renseanlegget. I rapporten blir det lagt fram forslag til tekniske endringer ved anlegget. Dessuten blir det foreslått prosessmessige tiltak for å fjerne mer suspendert stoff og oppløst mangan. KMnO₄-dosering bør prøves for å klarlegge om dette øker oksyderingen av mangan. Pilotforsøk med direkte filtrering av avløpsvannet ga god renseseffekt og kan være aktuelt som et siste rensetrinn før utslipp til Saudafjorden.

ISBN 82-577-1407-0
Løpenr 2127

Ref. 7)

Forfatter Knutzen, J.; Skei, J.
Tittel Tiltaksorientert overvåking i Saudafjorden 1986-1987
Serie Overvåkingsrapport; 309/88
Utgiver Norsk institutt for vannforskning; 1988; 50s.

Prosjektnr O-80003-06, 3
Oppdragsgiver Statens forurensningstilsyn (SFT)
Fylke ROGALAND;
Sammendrag Forurensningen med polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) i Saudafjorden har økt betydelig i tidsrommet 1981-87. Dette vises til dels av belastningsberegninger (økt tilførsel etter 1985) dels av observasjoner i organismer. Betydelige overkonsentrasjoner er påvist både i muslinger (opp til 1000-2000 ganger "normalinnholdet- ") og i fisk (2 - 10 ganger). Sedimentenes PAH- innhold var også høyt, men viste bare mindre endringer. Forurensningene gjør seg gjeldende (i avtagende grad) i hele fjorden, og kan i blåskjell spores mer enn 35 km fra kilden (Sauda Smelteverk). Forholdet medfører

begrensninger på særlig akvakultur og rekreasjon (hobbyfiske, skjellsanking). Overkonsentrasjonene av metaller i tang og blåskjell var mer moderate (størrelsesorden 2 - 3 ganger for bly, kadmium og sink, 10 - 30 ganger for mangan). Tydelig minsket innhold av metaller i sedimentene viser effekten av smelteverkets behandlingsanlegg for avløpsvann fra 1978.

ISBN 82-577-1388-0
Løpenr 2109

Ref. 8)

Forfatter Knutzen, J.; Rygg, B.; Skei, J.
Tittel Overvåking i Saudafjorden 1981 (Overvåkingsrapport 50/82).
Utgiver NIVA, Oslo; 1982; 87s.

Prosjektnr O-8000306 (02)

Oppdragsgiver Statens forurensningstilsyn; Statlig program for forurensningsovervåking
Sammendrag Etter iverksatt avløpsvannsbehandling ved Sauda Smelteverk er det observert bedring av forholdene i Saudafjorden ved minsket innhold av metaller i organismer og overflatesedimenter (bare indre basseng) og ved større siktedyp i det utslippsnære området. Både gruntvannssamfunn og bløtbunnsfauna synes å ha uendret karakter fra før rensetiltakene. Vitnesbyrd om giftvirkninger begrenser seg imidlertid til utslippets nærområde og er mindre sannsynlige i større avstand enn 0,5-2 km. Artsfattige samfunn på grunt vann kan forklares ved naturlige faktorer og reguleringsinngrep. Fjorden er fortsatt sterkt forurenset bedømt ut fra innholdet av metaller og PAH i sedimenter og organismer. Bortsett fra noe mindre PAH i skjell fra innerst i fjorden, var PAH-konsentrasjonene tilnærmet uendret fra perioden før avløpsvannsbehandling

ISBN 82-577-0534-9
Løpenr 1417

Ref. 9)

Forfatter Knutzen, J.
Tittel Overvåking i Saudafjorden 1980. Overvåkingsrapport 7/81.
Utgiver NIVA, Oslo; 1981; 39s.

Prosjektnr O-80003-06

Oppdragsgiver Statens forurensningstilsyn; Statlig program for forurensningsovervåking
Sammendrag Dykkerobservasjoner av gruntvannssamfunn til nedre grense for fastsittende alger og analyse av PAH og metaller i muslinger og tang er foretatt etter 2 års drift av renseanlegg for avløpet fra Sauda Smelteverk. Gruntvannssamfunnene hadde samme artsfattige karakter (særlig i 0-4 m) som observert før rensetiltak. Innholdet av PAH og metaller var markert redusert fra 1976, men mangan - og særlig PAH-konsentrasjonene var fremdeles høye; opp til 40-50 mg/kg tørrvekt for total-PAH, og mer enn 3 mg/kg benzo(a)pyrene. Mens PAH-innholdet i oskjell er betydelig redusert 15 km fra utslippet, var det ca. 20 mg/kg PAH i blåskjell i en avstand av mer enn 25 km

ISBN 82-577-0431-8
Løpenr 1327

Ref. 10)

Forfatter Knutzen, J.; Rygg, B.; Skei, J.
Tittel Nasjonalt program for overvåking av vannressurser. Pilotprosjekt Saudafjorden.

Utgiver Observasjoner 1974 - 1976.
NIVA, Oslo; 1979; 93s.

Prosjektnr O-75038 (08)

Oppdragsgiver Miljøverndepartementet, Statens forurensningstilsyn (SFT)

Sammendrag Observasjoner fra 1974 og 1976, før renseanlegg kom i full drift ved Sauda Smelteverk (1978). Basis for å følge forurensningsutviklingen. Innhold av metaller og polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) i sedimenter og organismer. Bløtbunnsfauna, gruntvannssamfunn.

ISBN 82-577-0137-8

Løpenr 1098

Ref. 11)

Forfatter Knutzen, J., B. Bjerkeng, T. Bokn, M. Grande, F. Kjellberg, K. Kvalvågnæs, T. Källqvist og B. Rygg.

Tittel Resipientundersøkelse av Saudafjorden. Observasjoner av hydrografi, sedimenter og biologiske forhold 10-13/9-74.

Utgiver NIVA, Oslo; 1976; 142s.

Prosjektnr O-74051 (03)

Oppdragsgiver Electric Furnace Co. Ltd., Sauda

Sammendrag Formålet med undersøkelsen har vært å gi en karakteristikk av forurensningstilstanden med henblikk på å vurdere aktuelle vernetiltak og hensiktsmessig utslippsdyp

Løpenr 0777

Ref. 12)

Forfatter Berglind, L.; Knutzen, J.

Tittel Resipientundersøkelse av Saudafjorden. Vurdering av cyanidutslipp fra Electric Furnace Products Co. Ltd.

Utgiver NIVA, Oslo; 1974; 27s.

Prosjektnr O-74051 (02)

Oppdragsgiver Electric Furnace Co. Ltd., Sauda

Sammendrag Vurdering ang. cyanid i avløpsvann og dets virkninger på omgivelsene basert på litteraturstudier og undersøkelser av cyanid i avløpsvann og resipienten. Analysedata

Løpenr 0621

Ref. 13)

Forfatter Knutzen, J.

Tittel Resipientundersøkelse av Saudafjorden. Foreløpig karakteristikk av biologiske forhold i fjordens indre basseng.

Utgiver NIVA, Oslo; 1974; 13s.

Prosjektnr O-74051 (01)

Oppdragsgiver Electric Furnace Co. Ltd., Sauda

Sammendrag Beskrivelse av den marine flora og fauna etter innsamling av bløtbunnsfauna fra 30-40m dyp og gruntvannssamfunnene fra 0-20m dyp

Løpenr 0619

Ref. 14)

Forfatter Knutzen, J.
Tittel Forslag til program for undersøkelse av Saudafjorden som resipient for avløpsvann fra Electric Furnace Products Co.Ltd.
Utgiver NIVA, Oslo; 1974; 7s.
Prosjektnr O-74051
Oppdragsgiver Electric Furnace Co. Ltd., Sauda
Sammendrag Program for undersøkelsen vil først og fremst gå ut på vurdering av behovet for reduksjon av cyanidutslippet og en foreløpig resipient- karakteristikk
Løpenr 0604

5.2 Tekstreferanser

Anon. 1994. Norsk aluminiumsindustri og miljø. Hydro Aluminium a.s., Elkem Aluminium ANS, Sør Norge Aluminium A/S.

Axelman, J., K. Næs, D. Broman and C. Näf, in prep. Accumulation of PAHs by SPMDs and caged blue mussels (*Mytilus edulis* L.) and comparison with the PAH distribution in the dissolved, colloidal and particulate size fractions in the water column. Submitted *Environ. Toxicol. Chem.*

Beyer, J., P. Ravn, E. Aas og H.K. Borgenvik 1996. Biotilgjengelighet av et marint PAH utslipp evaluert ved måling av fluoriserende PAH metabolitter i galle fra translokert torsk. Hydro Aluminium Karmøy, Prosjekt nr. 500295.

Ericson, G., E. Lindesjö and L. Balk, 1998. DNA adducts and histopathological lesions in perch (*Perca fluviatilis*) and northern pike (*Esox lucius*) along a polycyclic aromatic hydrocarbon gradient on the Swedish coastline of the Baltic Sea. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 55: 815-824.

IARC 1987. IARC Monographs on evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans. Overall evaluation of carcinogenicity: An updating of IARC Monographs Volumes 1-42. Supp. 7. International Agency for Research on Cancer, Lyon, France.

Knutzen, J., B. Bjerkeng, T. Bokn, M. Grande, F. Kjellberg, K. Kvalvågnes, T. Källqvist og B. Rygg, 1976. Resipientundersøkelse av Saudafjorden. Observasjoner av hydrografi, sedimenter og biologiske forhold 10-13/9-74. NIVA-rapport O-51/74.

Knutzen, J., 1989. PAH i det akvatiske miljø – opptak/utskillelse, effekter og bakgrunnsnivåer. NIVA-rapport 2205.

Knutzen, J. 1993. PAH og metaller i fisk og muslinger fra Saudafjorden 1991-1992. NIVA-rapport 2960.

Knutzen, J. 1995. PAH og metaller i blåskjell og o-skjell fra Saudafjorden 1993-1994. NIVA-rapport 3251.

Knutzen, J. og J. Skei 1988. Tiltaksorientert overvåking i Saudafjorden 1986-1987. Overvåkingsrapport 309/88. NIVA-rapport 2109.

Knutzen, J., B. Rygg og J. Skei 1982. Overvåking i Saudafjorden 1981. Overvåkingsrapport 50/82. NIVA-rapport 1417.

Kvernheim, A.L., E.M. Brevik, K. Næs, E. Oug, J. Klungsøyr, J. Knutzen, A. Molven and A. Goksøyr, 1992. Programme on Marine Pollution (PMF). Organochlorines and PAHs in the marine environment: State of the art and research needs. Norwegian Research Council, ISBN 82-7224-334-2.

Molvær, J., J. Knutzen, J. Magnusson, B. Rygg, J. Skei og J. Sørensen, 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystvann. Veiledning. SFT-rapport TA 1467/1997.

Næs, K., 1991. Frigivelse av PAH fra forurenset sjøbunn. NIVA-rapport 2667.

Næs, K. and E. Oug, 1997. Multivariate approach to distribution patterns and fate of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from smelter-affected Norwegian fjords and coastal waters. *Environ. Sci. Technol.*, 31: 1253-1258.

Næs, K. and E. Oug, 1998. The distribution and environmental relationships of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments from Norwegian smelter-affected fjords. *Chemosphere*, 36: 561-576.

Næs, K., T. Bakke and R.Konieczny, 1995a. Mobilization of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from polluted seabed and uptake in the blue mussel (*Mytilus edulis*). *J. Mar. Freshwater Res.*, 46: 275-285.

Næs, K., J. Knutzen and L. Berglund, 1995b. Occurrence of PAH in marine organisms and sediments from smelter discharge in Norway. *Sci. Total. Environ.*, 163: 93-106

Næs, K., J. Axelman, D. Broman and C. Näf, 1998a. Role of soot carbon and other carbon matrices in the distribution of PAHs among particles, DOC and the dissolved phase in the effluent and recipient waters of an aluminium reduction plant. *Environ. Sci. Technol.*, 32: 1786-1792.

Næs, K., E. Oug and J. Knutzen, 1998b. Source and species-dependent accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in littoral indicator organisms from Norwegian smelter-affected marine waters. *Mar. Environ. Res.*, 45: 193-207.

Næs, K., K. Hylland, E. Oug, L. Förlin and G. Ericson, in prep. Accumulation and effects of aluminium smelter generated PAHs on soft bottom invertebrates and fish. Submitted *Environ. Toxicol. Chem.*

Oug, E., K. Næs and B. Rygg, 1998. Relationships between soft bottom macrofauna and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from smelter discharge in Norwegian fjords and coastal waters. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 173: 39-52.