

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

0-8000309

NASJONALT PROGRAM FOR OVERVÅKING AV  
VANNRESSURSER

Oversikt over utførte undersøkelser i  
SØRFJORDEN (Hardanger)

Rapporten avsluttet: 31. oktober 1980

Prosjektleder: *Jon Knutzen*

Saksbehandler: *Jens Skei*


*Instituttetsjef Kjell Baalsrud*

# NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd

Postadresse: Brekke 23 52 80  
Postboks 333, Blindern Gaustadalleen 46 69 60  
Oslo 3 Kjeller 71 47 59

Rapportnummer: 0-80003
Undernummer: 
Løpenummer: 1241
Begrenset distribusjon:

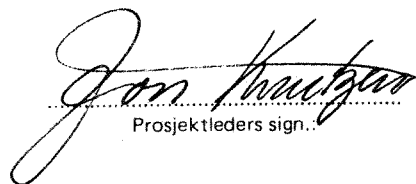
Rapportens tittel:  NASJONALT PROGRAM FOR OVERVÅKING AV VANNRESSURSER  Oversikt over utførte undersøkelser i Sørfjorden (Hardanger).	Dato:  31.10.1980
	Prosjektnummer:  0-8000309
Forfatter(e):  Jens Skei	Faggruppe:  Fjordseksjonen
	Geografisk område:  Hardanger
	Antall sider (inkl. bilag):  32

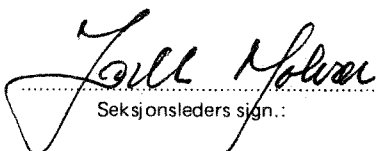
Oppdragsgiver:  Statens Forurensningstilsyn	Oppdragsg. ref. (evt. NTNF-nr.):
---	----------------------------------

Ekstrakt:  Rapporten gir en oversikt over tidligere utførte undersøkelser i Sørfjorden i Hardanger (vann, organismer og sedimenter). Behovet for supplerende undersøkelser er også påpekt.
---

4 emneord, norske:
1. Sørfjorden
2. Vann
3. Organismer
4. Sedimenter

4 emneord, engelske:
1.
2.
3.
4.

  
Prosjektleders sign.:

  
Seksjonsleders sign.:

  
Instituttets sign.:

ISBN 82-577-0318-4

F O R O R D

*Etter oppdrag fra Statens Forurensningstilsyn (brev datert 23.1.1980) har NIVA utarbeidet en oversikt over tidligere utførte undersøkelser i Sørfjorden, Hardanger. Disse undersøkelsene omfatter både vann, organismer og bunnforhold og er utført av en rekke forskjellige institusjoner og enkeltpersoner. I tillegg er datamaterialet i mange tilfeller upublisert. Det er derfor vanskelig å gi en komplett oversikt over alt som er gjort, men rapporten skulle likevel gi et bilde av hvilken kjennskap man har til Sørfjorden og hvor det er størst behov for mer viten.*

*Oslo, den 31. oktober 1980*

  
*Jens Skei*

INNHALDSFORTEGNELSE:

FORORD	.....	Side	1
INNLEDNING	.....		3
VANN	.....		12
ORGANISMER	.....		20
SEDIMENTER	.....		27
BEHOV FOR SUPPLERENDE UNDERSØKELSER	.....		30

## INNLEDNING

Sørfjorden i Hardanger utgjør en sidearm av Hardangerfjorden (Fig. 1) og følger en nord-sør-gående svakhetszone i Pre-Kambriske bergarter. Disse bergartene består av granitt, gneiss, omdannede vulkanske og sedimentære kvartsitter, kvarts dioritt, kvarts porfyr, amfibolitt og hornblendeskifer (Kvale, 1946). Kvartære avsetninger langs Sørfjordens bredder består hovedsakelig av morenemateriale av lokal opprinnelse og med lavt leirinnhold (Kvistad, 1965).

I følge Ahlmann (1919) er Sørfjorden det klassiske eksempel på en fjord, lang og smal, bratte sider og en terskel ved munningen. Fjordens lengdeprofil langs djupålen (Fig. 2) viser flere relativt flate bassenger avbrutt av små terskler som hever seg 50 til 100 m over bunnen. Man kjenner ikke til om disse tersklene består av fast fjell eller om de er deler av endemorener. Den mest sannsynlige forklaringen er at de består av fjellrygger og at bassengene er erodert av is under istiden, og at disse ryggene er dekket av morenemateriale (Holtedahl, 1965; 1975).

Fjordens tverrsnitt varierer fra typisk U-form hvor det er større basseng, til V-form hvor fjorden er på det smaleste (Fig. 3).

Ferskvannstilførselen til fjorden skjer hovedsakelig via tre elver med en samlet gjennomsnittlig tilførsel på  $63 \text{ m}^3/\text{s}$ . En av disse elvene (Tyssø ved Tyssedal) er regulert med en konstant tilførsel på  $26 \text{ m}^3/\text{s}$ . Hovedmengden av ferskvann tilføres via Opa som munner ut ved Odda (Fig. 1). Denne elva drenerer deler av Folgefonni, men elva passerer først Sandvevann (Fig. 4) slik at mesteparten av breslammet avsettes i dette vannet istedet for i fjorden. Mengden av sedimenter som Opa fører med seg til Sørfjorden, samt det som de andre elvene antas å bidra med er grovt beregnet til 7-8000 tonn (uorganisk) pr. år. (Skei, 1975). En stor del av dette materialet (silt) antas å avsettes i fjorden, mens de fineste leirfraksjonene trolig transporteres ut i Hardangerfjorden.

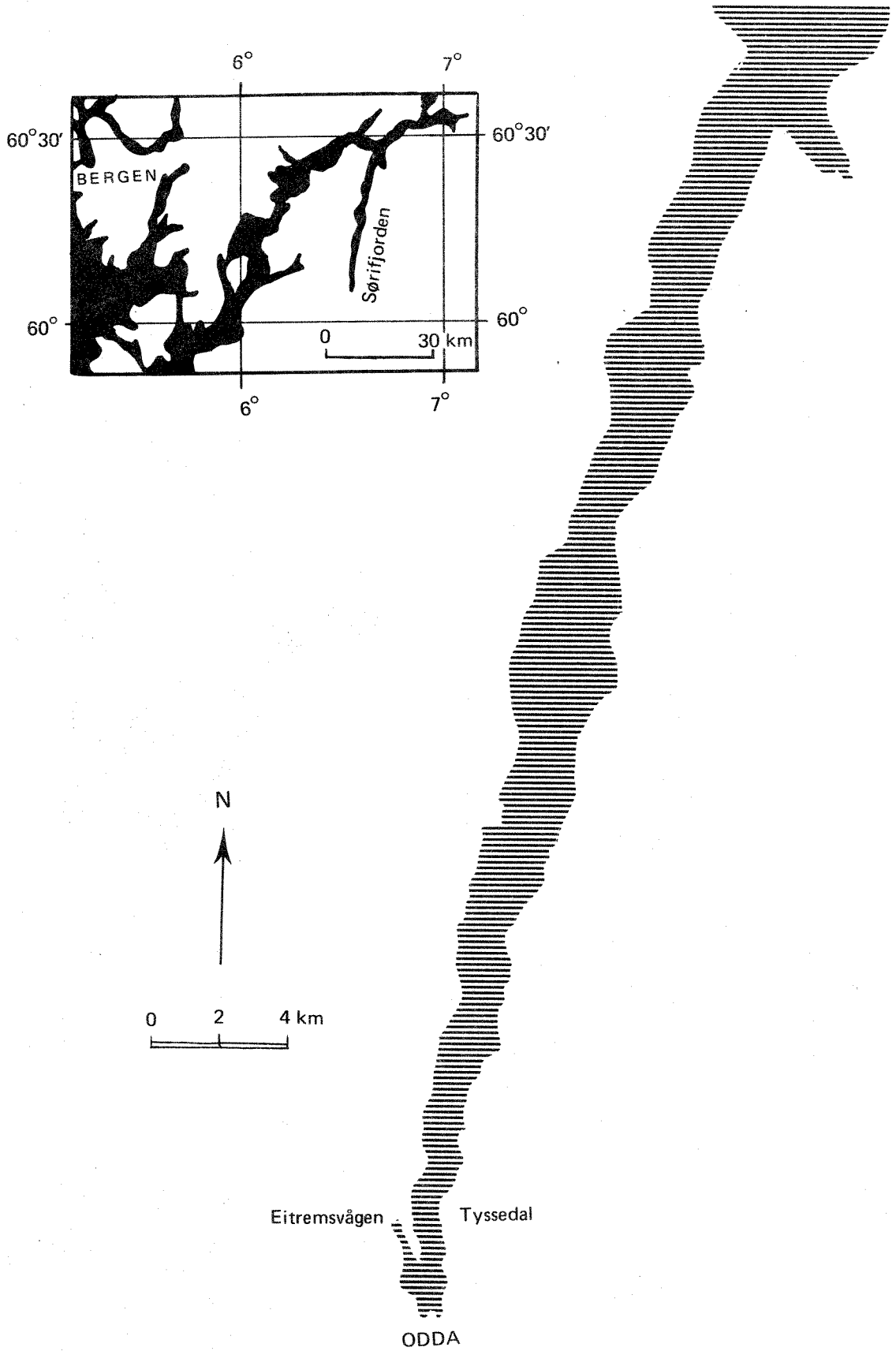


Fig. 1. Sørifjorden i Hardanger

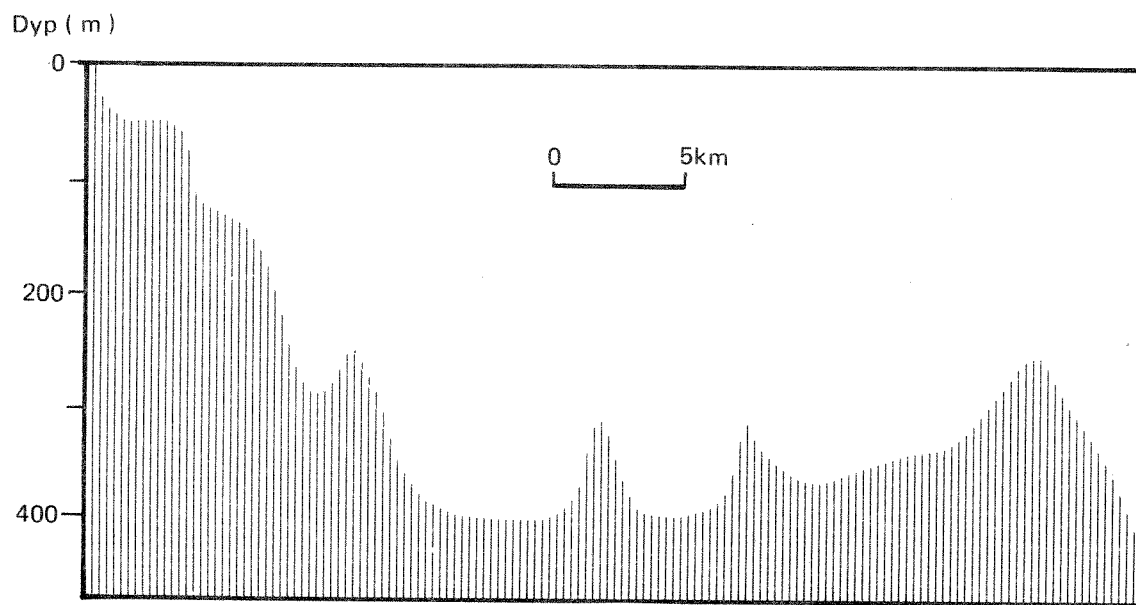


Fig. 2 Lengdeprofil langs Sør fjordens djupål.

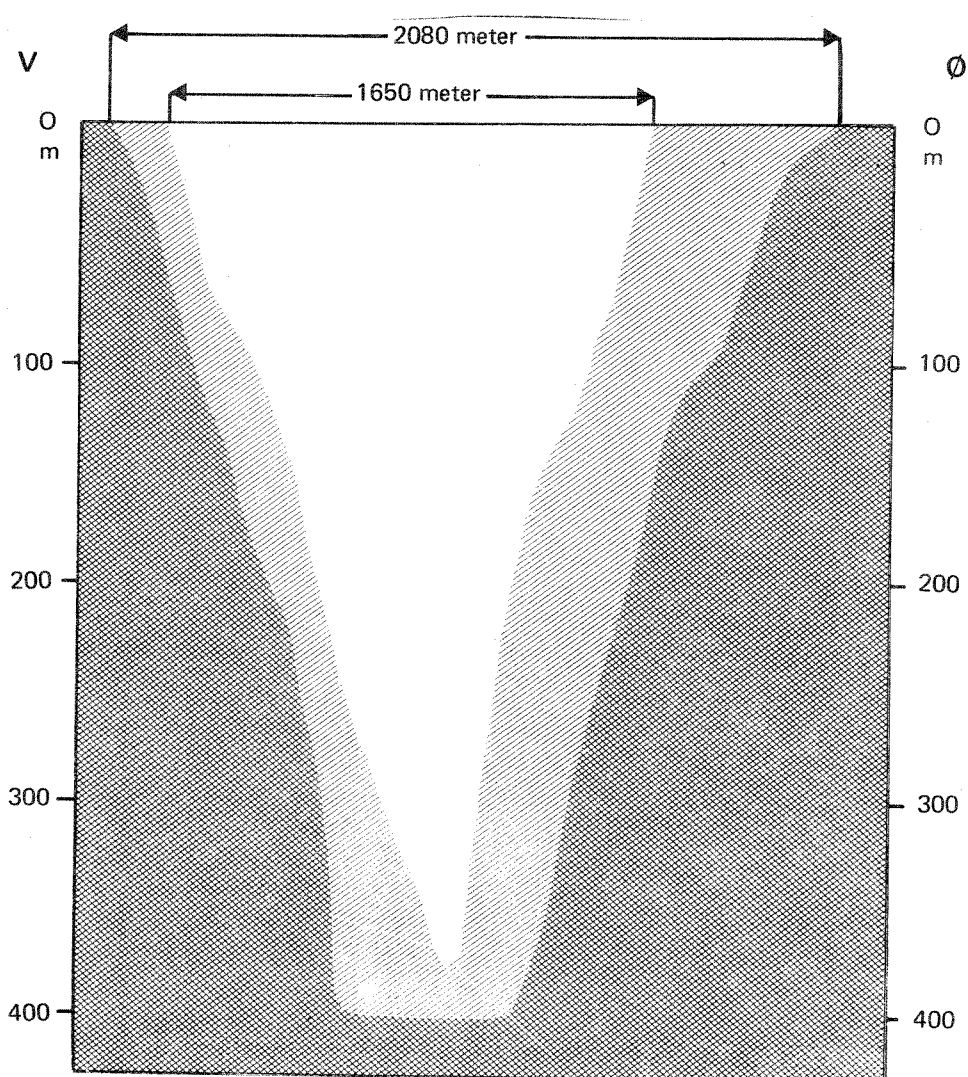


Fig. 3. Typiske tverrsnitt av Sør fjorden

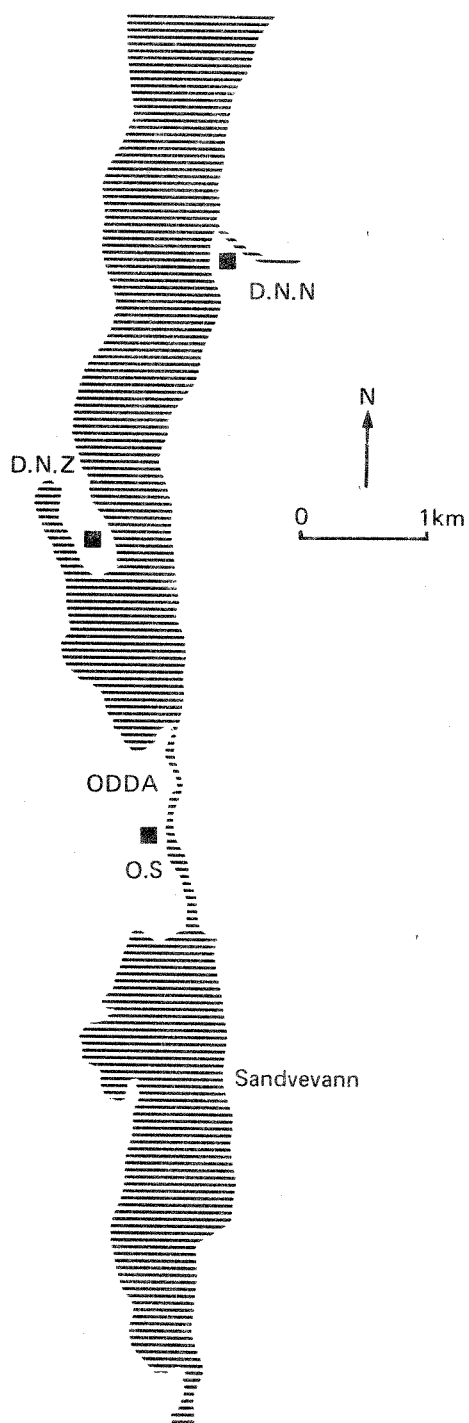


Fig. 4. Innerste del av Sjørfjorden

(DNN = Aluminiumsverket,  
DNZ = Norzinc og  
OS = Odda Smelteverk)



I ytre deler av Sørfjorden er det betydelige hagebruksarealer langs fjordens vestsida, slik at dette er en viktig næring for folk som bor i dette området. Lengst sør i fjorden (Tyssedal og Odda) er virksomheten sentrert omkring industri. De tre viktigste industribedriftene, hva de produserer og hva de slipper ut, er vist i Tabell 1. En skjematisk sammenstilling av utslipp til sjø gjennom tidene fra disse bedriftene er fremstilt i Fig. 5. Utslippene til sjø har som vist pågått i mer enn 50 år, slik at Sørfjorden hører med til de fjordene med lengst påvirkning av industriforurensninger. Mengdene av de mest fremtredende forurensningskomponentene i avløpsvannet er gitt i Tabell 2. Det er en klar reduksjon i utslipp i perioden 1972-79, men fortsatt er metallbelastningen på fjorden stor.

En del av disse rensertiltakene kom som et resultat av Miljøvernkomitéen i Odda's arbeide i perioden 1972-74. En rekke forslag om miljøverntiltak ble fremmet, hvorav reduksjon av utslipp av jarositt og løste metaller fra Norzinc ble gitt høy prioritet (Miljøvernkomitéen i Odda, 1973). Som kjent er jarositt-problemet fortsatt ikke løst, men det arbeides med en løsning som skal gjøre jarositt til et mer miljøvennlig avfallsprodukt.

I tilknytning til Miljøvernkomitéens arbeid ble det også et oppsving av undersøkelser i Sørfjorden og på land i tilknytning til utslipp til luft. Forurensninger som er tilført og som fortsatt tilføres atmosfæren fra disse bedriftene er betydelig. Selv om luftutslippene og undersøkelser på land ligger utenfor det som denne rapporten skal ta opp, er det viktig å være oppmerksom på at en stor del av forurensningene som tilføres lufta tilslutt tilføres Sørfjorden. Det er blant annet målt betydelige mengder tungmetaller i jord i Odda-området (Låg, 1974).

Tabell 1. Industribedrifter i Odda-området.

Bedrift	Etablert	Produkter	Avfallsprodukter (til sjø)
Odda Smelteverk A/S, Odda	1908	Kalsiumkarbid, kalsiumcyanid, dicyanamid	Dicyanamid, urinstoff, nitrider, magnesiumhydroksyd, kalium og nat- rium, sulfider, fluorider, cyanider, aluminiumoksyd, silisium, jernoksyd, kalsiumkarbonat, kullpartikler
DNN Aluminium A/S, Tysedal	1916	Aluminium	Tjærestoffer (bl.a. PAH), kryolitt, aluminiumoksyd, silisiumoksyd, sot, fluss-syre
Norzinc A/S, Odda	1929	Sink, kadmium, fosforsyre, aluminiumfluorid	Fosforsyre, magnesiumsulfat, jaro- sitt, sinkferitt, mangandioksyd, gips, apatitt, diverse tungmetaller, fluorid

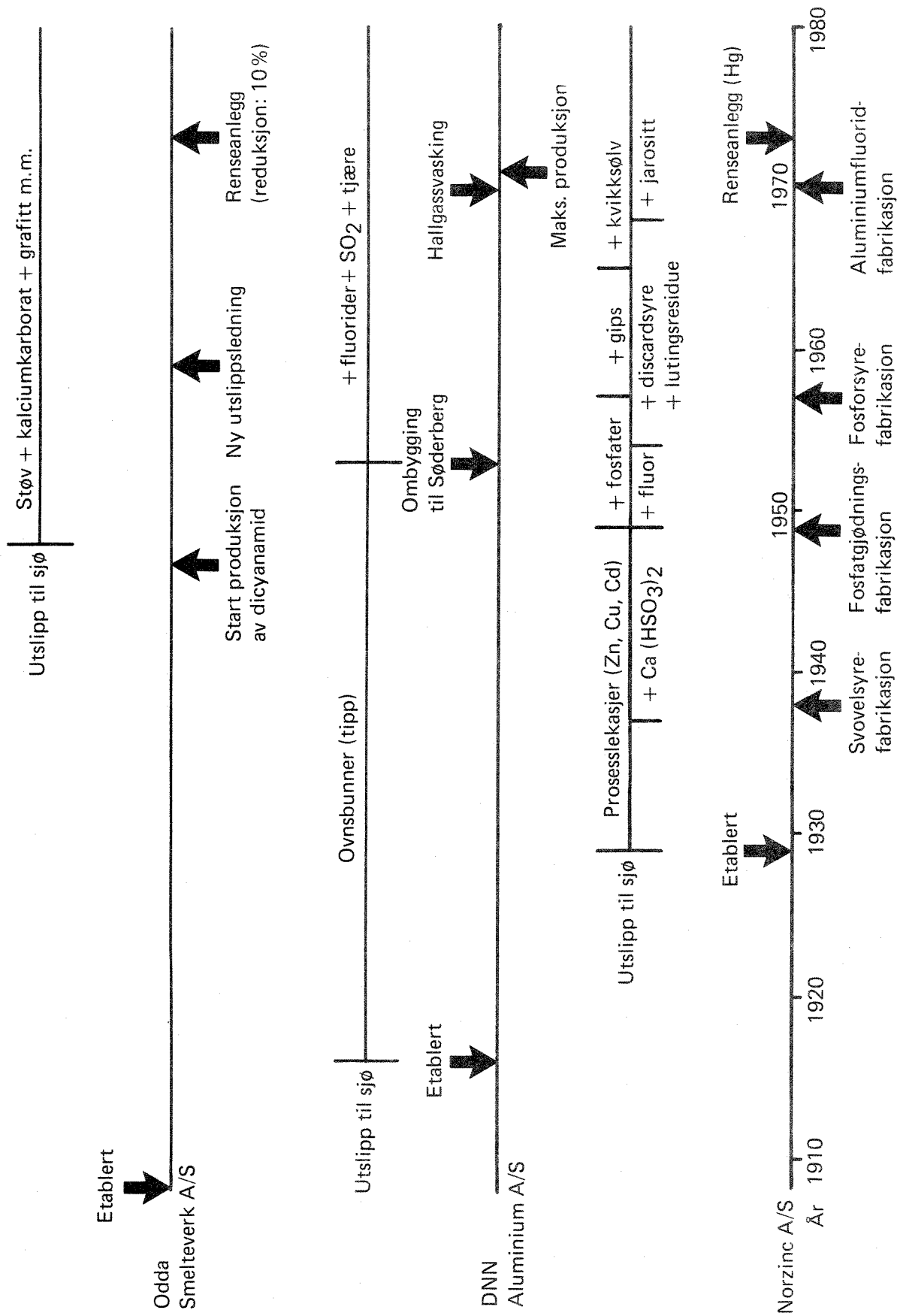


Fig. 5 Skjematisk oversikt over produksjons- og utslippsforhold fra de tre viktigste industribedriftene i Odda-området.

Tabell 2. Metaller i avløpsvann fra industrien som ble sluppet ut i Sørfjorden i 1972.

Metall	Tonn pr. dag
Zn	6
Cu	0.3
Cd	0.03
Pb	4.5
Hg	0.003

Litteratur (innledning)

Ahlmann, H.W., (1919):

Geomorphological studies in Norway. Geogr. Annaler, 1, 1-20.

Holtedahl, H., (1965):

Recent turbidites in the Hardangerfjord, Norway, Proc. 17th Symp. Colston Res. Soc. (Bristol), S. 107-141.

Holtedahl, H., (1975):

The geology of the Hardangerfjord, West Norway. Norges Geologiske Undersøkelse, Nv. 323, Bulletin 36, 87 s.

Kvale, A., (1946):

Petrologic and structural studies in the Bergsdalen quadrangle. Part. I. Petrography. Aarbok Bergens Museum, Mat.-Nat. Ser., No 1., 201 s.

Kvistad, J., (1965):

Kvartærgeologiske og geomorfologiske undersøkelser i Sørfjorden. Upubl. cand.real hovedoppgave, Univ. i Bergen, 85 s.

Låg, J., (1974):

Jordforurensning fra industri i Odda. I "Resipientundersøkelser i Sørfjorden 1972. Del 2. Forurensningens miljømessige konsekvenser", Miljøvernkomitéen i Odda, s. 27-28.

Miljøvernkomitéen i Odda, (1973):

Resipientundersøkelser i Sørfjorden 1972.

Skei, J., (1975):

The marine chemistry of Sørfjorden, West Norway. Upubl. Ph.D.-thesis, Univ. of Edinburgh, 207 p.

## VANN

Bortsett fra hydrografiske målinger, er målinger i vannmassen i Sørfjorden stort sett utført etter 1970, og da i tilknytning til industriforurensning. Målingene dekker et meget bredt felt av parametre (litteraturreferanser i parentes):

- Saltholdighet, temperatur, oksygen (4, 11, 14)
- næringssalter (6, 11) og totalt organisk karbon (6)
- strømmålinger (14, 16)
- pH og Eh (11)
- alkalinitet (11)
- fluorid (5, 7)
- cyanid (5)
- kalsium, sulfat, aluminium (5)
- metaller (1, 2, 3, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 13)
- partikulært materiale (10, 11, 17)
- bakteriologiske målinger (6)

Analyseomfanget for de forskjellige parametrene varierer mye. Bortsett fra hydrografiske målinger er datamengden størst for metaller og partikulært materiale.

Hydrografiske målinger ble spesielt utført i 1955-56 i forbindelse med en større undersøkelse av Hardangerfjorden (4). I tillegg ble det gjennomført en spesialundersøkelse av hydrografien i Sørfjorden i 1972 (14) og salinotermregistreringer i perioden 1971-74 (8, 11). Disse viste at bunnvannet i Sørfjorden fornyes flere ganger pr. år. Strømmålinger i overflatevannet avslørte en sirkulær vannbevegelse i havnebassenget utenfor Odda (14). Forøvrig er det en typisk estuarin sirkulasjon i Sørfjorden. Det betyr at utslipp av avløpsvann på dyp større enn 10 m i stor grad oppfanges av den estuarine kompensasjonsstrømmen og transporteres inn i Odda's havnebasseng.

Mengdene av oppløst oksygen i vannmassene i Sørfjorden har vært tilfredsstillende bortsett fra i bunnvannet i havnebassenget hvor konsentrasjoner ned til 3 ml/l er målt (11, 14). Under terskeldypet (250 m) er det målt konsentrasjoner mellom 4 og 5 ml/l (11, 14).

Næringssaltanalyser omfatter målinger av silisium (6, 11), nitrogenforbindelser (6) og fosforforbindelser (6, 11). Konsentrasjonene av "reaktivt" silisium er lavest i overflatevannet, spesielt under vekstsesongen for

diatomeer (høst og vår) og øker jevnt mot bunnen. Her ble det målt maksimalt 5-600 µg/l. (11). Analyser av nitrogen (nitrat og total nitrogen) tyder på betydelige utslipp, med høye konsentrasjoner i overflaten og avtagende konsentrasjoner utover fjorden (6). Dette antas å skyldes både industriutslipp og husholdningskloakk (6). Det samme gjelder fosfor.

Spesielt høye konsentrasjoner av fosfat er målt ved intermediære dyp (25-75 m), med kraftig økning i retning Odda (11). Det antas at årsaken er store utslipp av fosforholdig avløpsvann fra industrien ved 20 m dyp (11). Maksimumet ved 50 m dyp kan spores 35 km fra Odda (11).

Det ble også foretatt målinger av totalt organisk karbon i 1972 (6). Konsentrasjonene lå ikke særlig høyere enn i Hardangerfjorden, noe som tyder på relativt liten organisk belastning i Sjørfjorden (6). Den høyeste konsentrasjonen ble målt i Odda's havnebasseng, og kan muligens skyldes kloakkpåvirkning (6).

På bakgrunn av de høye konsentrasjonene av næringssalter i Sjørfjorden skulle man forvente en kraftigere algevekst i indre deler av fjorden. Når dette ikke ser ut til å være tilfelle, kan man ikke se bort fra at det eksisterer en giftvirkning pga. høye metallkonsentrasjoner, som hemmer algeveksten. Forsøk med marin fytoplanktons toleranse over for sink (19) og kopper (20) viste redusert vekst hos diatomeer ved sinkkonsentrasjoner på 50 og 250 µg/l (19) og ved kopperkonsentrasjoner på 10 og 25 µg/l (20). Det bør påpekes at dette er konsentrasjoner som har vært vanlig å måle i indre deler av Sjørfjorden. Det ble også påvist et betydelig opptak av de samme metallene i diatomene.

Det er kun et fåtall målinger av Eh (8) og pH (6, 8) i vannmassene i Sjørfjorden. Eh (= elektroosmotiske potensial) er målt på 8 stasjoner i sørligste deler av Sjørfjorden i 1971 (8). Lavest var Eh like utenfor Eitreimsneset fra 10-20 m dyp (8). Denne vannmassen er trolig sterkt influert av utslipp fra Norzinc som inneholder oksyderbare stoffer.

Samtidig med at Eh ble målt ble også pH registrert (8). Disse registreringene avslørte usedvanlig lav pH i overflatevann på stasjoner nær Eitreimsneset (pH = 3.7-4.5) (8). Dette må tilskrives store syreutslipp fra Norzinc. I tillegg til disse målingene i 1971 ble de i 1972 i tilknytning til bakteriologiske målinger registrert pH i vannprøvene (6).

Alkalinitet ble målt på 3 stasjoner i 1972 (8). Slike målinger gir et mål for vannets bufferkapasitet. Alkaliniteten var lavest på stasjonene nærmest Odda.

Fluor-forbindelser slippes ut både fra DNN Aluminium på Tyssedal og fra aluminiumfluoridfabrikken til Norzinc. I tillegg til utslipp til luft var det også betydelige utslipp til sjø. (ca. 3300 tonn fluor i 1972). Målinger av fluorider i sjøvann i 1970 (7) og 1972 (5) viser at utslippet fra DNN Aluminium påvirket i stor grad overflatevannet, mens utslipp fra Norzinc hovedsakelig påvirket vann mellom 20 og 60 m (5). Et tydelig fluor maksimum ved 50 m dyp fremtrer på samtlige stasjoner i Sørfjorden (7). Det er verdt å merke seg at det faller sammen med maksimumet for fosfor, og at både avløpsvann fra aluminiumfluorid- og fosforsyrefabrikken på Eitremneset utledes ved 15-25 m dyp.

Målinger av cyanider i Sørfjorden ble utført i 1972 med henblikk på utslipp av ~ 160 kg cyanid pr. døgn (1972) fra Odda Smelteverk (5). Hensikten var å se hvor raskt cyanidene ble uskadeliggjort (oksydert) i Sørfjorden. Kun en av 20 prøver viste konsentrasjoner over deteksjonsgrensen på 2 ppb (5).

Det ble også gjort noen målinger av aluminium, kalsium og sulfat i sjøvann fra Sørfjorden i 1972 (5). Dette ble gjort fordi store utslipp eksisterer av disse stoffene fra industrien i området. Det fremgår av resultatene at påvirkningen av disse stoffene på de øvre 40 m av vannmassen var påfallende liten, til tross for betydelige utslipp (5).

Et meget stort antall data om metaller i vann fra Sørfjorden eksisterer. Dette er forståelig med tanke på at Sørfjorden må betraktes som et av de mest metallbelastede sjøområder i verden. De metallene som er blitt viet mest oppmerksomhet er sink, bly, kadmium, kvikksølv og kopper. I tillegg er det en rekke andre metaller som tilføres Sørfjorden, men som ikke har vært særlig påaktet. Disse er arsen, selen, antimon, bismut, indium, tinn og sølv, hvorav flere av disse regnes som sterkt toksiske.

Kvantitativt er det sink som dominerer i vannmassene i Sørfjorden. Utslip- pet av sink i 1972 var 6 tonn pr. dag, men dette er nå omtrent halvert pga. reduksjon i utslipp av sink i discardsyre og spillvann. Konsentrasjoner på



1000-5000 ppb sink er målt i vannmassene nær Eitremneset (11, 13), men selv ytterst i Sørfjorden er det målt  $\sim 100$  ppb (11). Det er spesielt to vannsjikt i Sørfjorden som er sterkt forurenset av metaller. Det ene er overflatevannet (0-5 m) og det andre er intermediært vann (25-100 m). Årsaken må være at begge disse vannmassene strømmes ut av Sørfjorden, og at de begge er influert av utslipp fra industrien i Odda (11). Som kjent foregår utslippene både i overflaten og ved 15-25 m dyp. Målinger som er gjort i perioden 1974-79 viser en gjennomgående reduksjon i metallkonsentrasjonene i vannet (2, 3). Dette må sees i sammenheng med de rens tiltak som er satt i verk. En usikkerhet melder seg mht eventuell frigivelse av metaller fra de sterkt metallforurensete bunnsedimentene i Sørfjorden. Foreløpige resultater viser at kvikksølv muligens frigis fra sedimentene i Odda's havnebasseng (1, 12) (se fig. 6).

Transport av metaller i Sørfjorden og opptak i fastsittende alger er modellert i tilknytning til et større prosjekt (18). Disse modellbetraktningene gir indikasjoner på hvordan metallene oppfører seg og på at alger er velegnet som indikator på metallbelastning.

Selv om største delen av metallene er i løst form, er ikke en ubetydelig del knyttet til partikler (10, 11). Dette skyldes i første rekke jarosittutslippet som er en suspensjon bestående av fine partikler. Egenvekten til denne suspensjonen når den forlater utslippsrøret er større enn egenvekten av sjøvannet på utslippsdypet. Resultatet er at suspensjonen sprer seg som en sky ("plume") utover fjorden samtidig som den synker (11, 12). Dette er demonstrert ved kjemiske analyser av partikulært materiale (11, 12) innsamlet i 1972-74. Partikkelanalyser av elementer slik som aluminium, silisium og fosfor viser fordelingen av uorganiske sedimenter og organisk materiale i Sørfjorden (11). Disse resultatene viser store sesongvariasjoner (11) pga. vekslende ferskvannstilførsel og planktonproduksjon. Lysmålinger i vannmassen (17) har vist at turbiditeten er størst i overflatelaget, og at det mest turbide vannet følger fjordens østside hvor det er hovedsakelig utgående strøm.

Vannets innhold av bakterier er også med og bestemmer vannkvaliteten. Det ble således foretatt målinger av koliforme bakterier sommeren og høsten 1972 (6). Selv om datamaterialet er lite, var det utvilsomt høye bakterieantall, med 1600 koliforme bakterier pr. 100 ml nær Odda's friluftsbad (6). Dette antas å ha sammenheng med utslipp av husholdningskloakk fra Odda (6). Store bakteriekonsentrasjoner er også målt i Opa (13000 koliforme bakterier pr. 100 ml) (6).

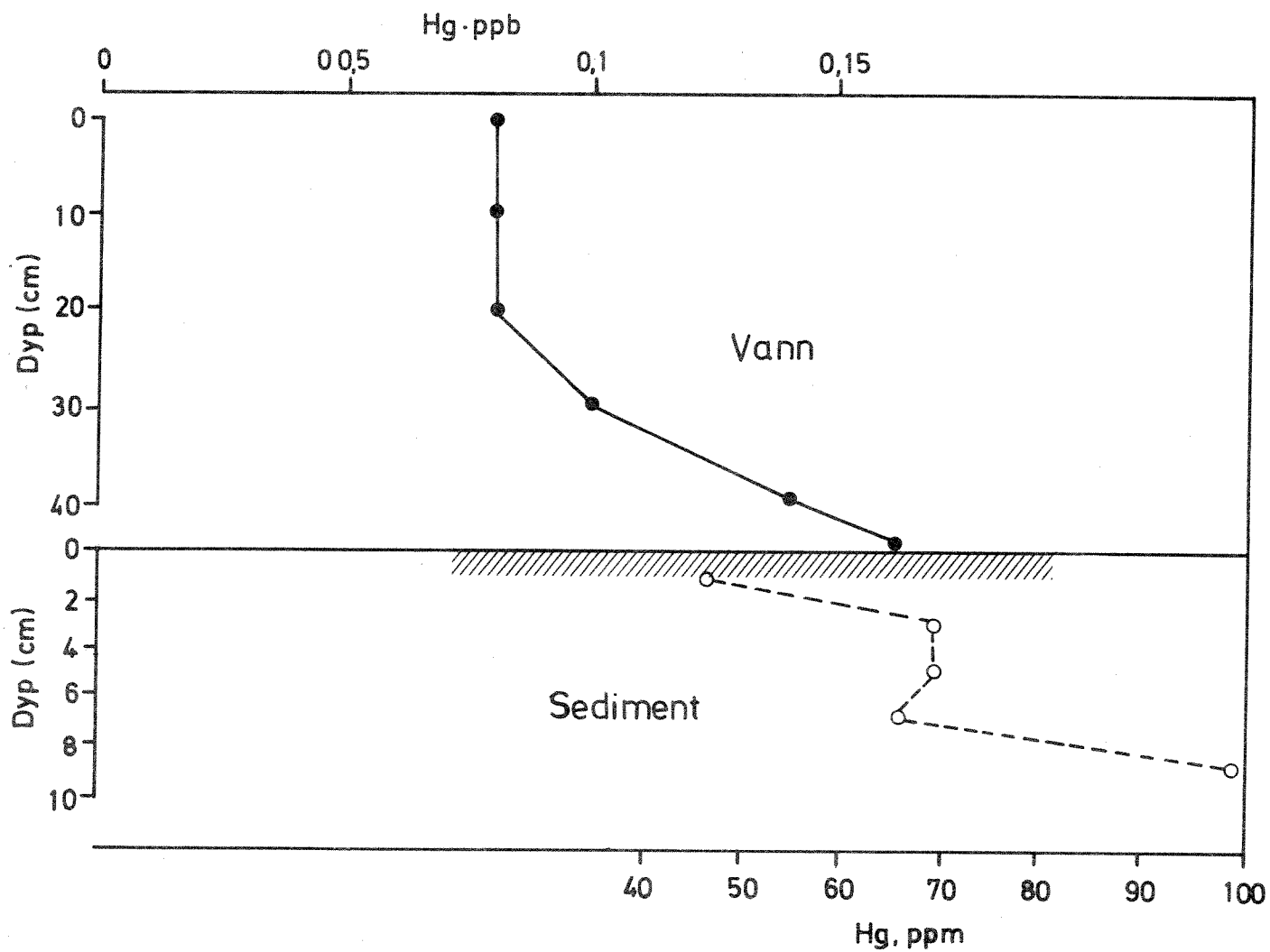


Fig. 6. Vertikal fordeling av total kvikksølv i vannprøver og sedimenter fra Odde Havnebasseng, april 1978 (Skravert felt indikerer overgang fra vann til sediment).

LITTERATUR (vann):

- ① NIVA (1979):  
Nasjonalt program for overvåking av vannressurser.  
Pilotprosjekt Sørfjorden (Hardanger) 1978.  
Saksbeh.: J. Skei. Stensilert: 32 s.
- ② Norzinc A/S (1977-79):  
Resultater fra analyser av metaller i vann. (kontinuerlig overvåking). F. Dyvik.
- ③ Melhuus, A., P.P.Paus & H.M.Seip (1979):  
Concentrations of zinc, cadmium, copper and lead in Sørfjorden, Norway. Vatten, 35, 89-96.
- ④ Saalen, O.H. (1962):  
The natural history of the Hardangerfjord. 3. The hydrographical observations 1955-56. Tables of observations and longitudinal sections, Sarsia, 6, 1-25.
- ⑤ Sigvartsen, E., (1973a):  
Sørfjorden som resipient for tungmetaller, cyanider og fluor samt industrislam som gips og aluminiumholdige forbindelser. Kjemiske analyser av vannmassene i Sørfjorden og delvis ytterst i Hardangerfjorden 1972.  
I "Resipientundersøkelser i Sørfjorden 1972", Miljøvernkomiteén i Odda.
- ⑥ Sigvartsen, E., (1973b):  
Sørfjorden som resipient for næringsalter og husholdningskloakk. Kjemiske og bakteriologiske analyser i Sørfjorden. 1972.  
I "Resipientundersøkelser i Sørfjorden 1972", Miljøvernkomiteén i Odda.
- ⑦ Silde, J. (1971):  
Fluoridinnhold i Hardangerfjorden. (Unpubl. Skriv) Pers. medd.

- ⑧ Skei, J.  
Upubl. data fra perioden 1971-74.
- ⑨ Skei, J., (1973):  
Geokjemiske og marinkjemiske undersøkelser i Sørfjorden, Hardanger.  
I "Resipientundersøkelser i Sørfjorden 1972", Miljøvernkomitéen i  
Odda.
- ⑩ Skei, J., N.B.Price & S.E.Calvert, (1973):  
Particulate metals in waters of Sørfjord, West Norway.  
Ambio, 2, 122-124.
- ⑪ Skei, J., (1975):  
The marine chemistry of Sørfjorden, West Norway.  
Upubl. Ph-D-thesis, University of Edinburgh, 207 s.
- ⑫ Skei, J., (1980):  
Dispersal and retention of pollutants in Norwegian fjords.  
ICES "Rapports et Procès-Verbaux", in press.
- ⑬ Steiner, R.D. & G.Nickless (1974):  
Distribution of some heavy metals in organisms in Hardangerfjord  
and Skjerstadfjord, Norway.  
Water, Air & Soil Pollut., 3, 279-293.
- ⑭ Svendsen, H. (1973):  
Oceanografiske undersøkelser i Sørfjorden, 1972.  
I "Resipientundersøkelser i Sørfjorden 1972", Miljøvernkomitéen i  
Odda.
- ⑮ Svines, P. (1970):  
Hardangerfjordens hydrografi. September 1955-September 1956.  
Upubl. cand.real-thesis, Universitetet i Oslo, 112 s.
- ⑯ Mosby, H.,  
Strømmålinger i Sørfjorden i 1923, -24, -27, -28 og -29. (Upubl.)
- ⑰ Aarthun, K.E., (1961):  
Submarine daylight in a glacier-fed Norwegian fjord. The natural  
history of the Hardangerfjord. Sarsia, 1, 7-20.

- ⑱ Seip, K.L. (1975):  
Vestlandsfjord - en matematisk modell av et økologisk fjordsystem  
(delrapport I, II og III, Sentralinstitutt for industriell forskning).
- ⑲ Jensen, A., B. Rystad & S. Melsom (1974):  
Heavy metal toleranc- of marine phytoplankton. I. The tolerance of three  
algal species to zinc in coastal sea water. J. Exp. mar. Biol. Ecol.,  
15, 145-157.
- ⑳ Jensen, A., B. Rystad & S. Melsom (1976):  
Heavy metal tolerance of marine phytoplankton. II. Copper tolerance of  
fluce species in dialysis and batch cultures. J. exp. mar. Biol. Ecol.,  
22, 249-256.

## ORGANISMER

Man kan skille mellom to hovedtyper biologiske undersøkelser i Sjørfjorden. En type beskriver organismesamfunnene og floraen (1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12) i økologisk sammenheng ut fra naturgitte betingelser. Den andre typen undersøkelser er analyser av miljøgifter i marine organismer som resultat av utslipp fra industrien i Odda-området (3, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19).

Den første kategorien av undersøkelser er hovedsakelig utført av Universitetet i Bergen, Biologisk stasjon på Espegrend (6, 7, 8). En del av disse undersøkelsene ble gjennomført i tilknytning til den store undersøkelsen av Hardangerfjorden i midten av 50-årene (4, 5, 6, 11, 12).

De forurensningsorienterte undersøkelsene omfatter analyser av en rekke forskjellige organismer:

Tang	(9, 13, 14, 15, 18)
Blåskjell	(10)
Fisk	(3, 10)
Plankton	(16, 17, 19)

Analyseparametrene omfatter metaller (9, 10, 13, 14, 15, 16, 17, 18 og 19), PCB og DDT (3).

Vegetasjonen langs Sørffjordens strender har mye til felles med vegetasjonen i Østersjøen (11). Det skulle tyde på at det er betydelig ferskvannspåvirkning, spesielt i indre deler av fjorden, hvor antallet arter er svært lite. *Fucus serratus* mangler i indre deler, mens *F. vesiculosus* og *Ascophyllum* finnes helt inn i enden av Sørffjorden (11).

Nedre grense for algevekst ble i 1956 målt til 8 m dyp innerst i fjorden, mens undersøkelser i 1960 viste alger bare til 5 m (11). Antallet arter ved munningen av Sørffjorden var i 1956 20, mens utenfor Odda var antallet 6 ( 11 ), hvorav noen rødalger. I sørlige deler av fjorden var det tydelig tegn til nedslamming (11). Her ble det også funnet sterile arter (*Sphacelaria* og *Pylaiella*) som var større enn vanlig og som også var svært bleke (11).

Forøvrig er det viktig å påpeke at skygge-effekter kan spille en rolle for strandvegetasjonen i Sørffjorden, hvor fjellene omkring er høye og bratte (11). Det er også påvist store mengder kråkeboller, selv i indre fjord, og disse kan muligens på grunn av beiting føre til at artstettheten er noe mindre (11).

Strandfaunaen i Sørffjorden er også undersøkt (6). En rekke arter som er hyppig forekommende (*Patella vulgata*, *Balanus balanoides* og *Litorina obtusata*) i ytre deler av Hardangerfjorden, finnes ikke i Sørffjorden (6). Dette skyldes trolig de store saltholdighetsfluktuasjonene. Men det er påpekt at forurensning fra industrien i Odda-området kan ha en effekt både på flora og fauna i Sørffjorden (11, 6).

Bløtbunnsfaunaen er lite undersøkt. Av den grunn er heller ingen ting publisert. Biologisk stasjon på Espegrend har hatt ansvaret for de undersøkelsene som er gjort. Bunnprøver ble tatt i 1956, -58, -63 og -64 helt inn til havnebassenget i Odda (8). Disse prøvene viste nærmest død bunn nær Odda. Det ble påvist *Pantalisrør* i havnebassenget, samt *Ophilodromus vittalis* (8). Dødt skallmateriale i sedimentene fra havnebassenget tyder på at forholdene tidligere har vært bedre. Det er liten tvil om at utryddelsen av bunnfaunaen innenfor Eitremneset skyldes direkte industriutslipp og stor sedimentering av avfall på bunnen.

I 1980 ble bløtbunnsfaunaen undersøkt på 8 stasjoner i Sørffjorden av

Universitetet i Oslo (professor Gray) i samarbeid med NIVA. Disse prøvene bekrefter tidligere observasjoner med sterkt forurenset bunn i området nær Eitremneset og generell artsfattigdom i hele fjorden.

Planktonundersøkelser i Sørfjorden er bare gjort på en stasjon helt ytterst (Ullensvang) i forbindelse med Hardangerfjord-undersøkelsen i 1955-56 (5-12). Det er således ukjent hvordan det forholder seg med plankton lenger innover fjorden. Det er tilsynelatende ingen vesentlig forskjell mellom den ytterste stasjonen i Sørfjorden og stasjoner forøvrig i Hardangerfjorden.

Fra 1970 og utover ble man for alvor klar over den betydelige forurensningen i Sørfjorden som følge av store industriutslipp. En rekke målinger av miljøgifter i organismer ble derfor gjennomført.

Tang er ofte brukt som indikatororganisme for metallforurensning fordi det er påvist en sammenheng mellom metaller i vann og i tang. Store gradienter i algenes innhold av metaller i alger innover fjorden (9, 13, 18) viser en kraftig påvirkning av metaller i de øvre vannlag. Selv i Hardangerfjorden er algenes innhold av metaller (f eks sink) høyere enn normalt (18). Det tyder på at metallforurensningen strekker seg lengre enn til munningen av Sørfjorden.

I forbindelse med Miljøvernkomitéen i Odda's arbeid ble det tatt initiativ til at blåskjell skulle innsamles og analyseres for metaller (kadmium, bly og sink). På samme måten som for alger er det en klar økning i konsentrasjonsnivåer innover mot Odda (10). Det ble påpekt at blåskjell innsamlet i 1972 måtte ansees som giftig (10). Blåskjellene ble ikke analysert for kvikksølv. Andre skalldyrarter er så vidt vites ikke analysert.

Veterinærinstituttet har også stått for analyser av metaller, inkludert kvikksølv i fiskeprøver (10). Analysene er foretatt både på torsk, lyr, sei, kolje, flyndre, sjøørret, sild, lange, berggyllt, marulk, hågylding, paddetorsk, rognkjeks, ål og hai (10). Det er skilt mellom analyser av muskulatur og lever. Flere av prøvene viste konsentrasjoner over 1 ppm kvikksølv (10) med et maksimum på 2.75 ppm. Av metallene var opptaket av sink og kadmium sterkest korrelert (10). Av fiskeslagene undersøkt var akkumuleringen av tungmetaller sterkest hos ål (10).



I tillegg til metaller er fisk (torskelever) også analysert for DDT og PCB ( 3). Årsaken til at disse parametrene ble undersøkt var tidligere bruk (før 1970) av DDT i frukt dyrkingsdistrikter og utslipp av PCB fra industri- bedrifter. Analysene av torskelever viste høyeste konsentrasjoner av DDT ytterst i Sørfjorden, mens for PCB's vedkommende var det omvendte tilfelle ( 3). Dette er i overensstemmelse med hva man skulle forvente hvis kildene for disse stoffene er som antydnet ovenfor.

Kjemiske analyser av plankton er ikke særlig utbredt i forhold til analyser av andre organismer. Slike analyser må likevel sies å være viktig ettersom plankton er føde for en rekke fiskeslag. Fra Sørfjorden er plankton utelukkende analysert for kvikksølv (16, 17). Konsentrasjonene økte i retning Odda, med en maksimumkonsentrasjon på 25 ppm kvikksølv i tørt plankton i 1972 (16) og høyere konsentrasjoner i planteplankton enn i dyreplankton. Dette tyder på at det ikke er noen enkel næringskjedeakkumulering av kvikksølv i plankton. Gjentatte analyser av kvikksølv i plankton innsamlet i 1978 viste reduksjon i nivåene i forhold til 1972, spesielt i de innerste deler av fjorden (17).

I tillegg til naturlig plankton fra Sørfjorden er forskjellige test-diatomeer brukt ved in situ forsøk for å studere vekst, dødelighet og opptak av metaller både i Sørfjorden og Orkdalsfjorden (19). Resultatene viste redusert vekst og stor dødelighet hos to av algene som ble testet, mens opptak av metaller økte med økende konsentrasjon i vannet (19).

LITTERATUR (organismer):

- ① Alstadsæter, I. (1952):  
En algologisk undersøkelse i indre deler av Hardangerfjorden.  
Hovedoppgave, Universitetet i Oslo, 98 s.
- ② Alstadsæter, I. (1954):  
Algological observations in the Hardanger fjord.  
Nytt. Mag. Bot., 2, 101-116.
- ③ Bjerk, J.E. & Kveseth, N. (1973):  
DDT og PCB i torskelever fra Sørfjorden.  
I "Resipientundersøkelser i Sørfjorden 1972".  
Miljøvernkomitéen i Odda.
- ④ Braarud, T. (1974):  
The natural history of the Hardangerfjord. II. The fjord effect  
upon the phytoplankton in late Autumn to early Spring, 1955-56.  
Sarsia, 55, 99-114.
- ⑤ Braarud, T., Føyn Hofsvang, B., Hjelmfoss, P & Øverland, Aa.-K. (1974):  
The natural history of the Hardangerfjord. 10. The phytoplankton  
in 1955-56. The quantitative phytoplankton cycle in the fjord  
waters and in the offshore coastal waters. Sarsia, 55, 63-98.
- ⑥ Brattegard, T. (1966):  
The natural history of the Hardangerfjord. 7. Horizontal distri-  
bution of the fauna of rocky shores.  
Sarsia, 22, 1-54.
- ⑦ Brattstrøm, H. (Espegrend Biologiske stasjon):  
Prøver av bunnfauna fra Sørfjorden. (Upublisert).
- ⑧ Espegrend Biologiske Stasjon:  
Zoologiske undersøkelser i Sørfjorden 1956, -58, -63 og -64.  
(Brattegard, unpubl. journaler).

- ⑨ Haug, A., Melsom, S. & Omang, S. (1974):  
Estimation of heavy metal pollution in two Norwegian fjord areas by analysis of the brown algae *Ascophyllum nodosum*.  
Environ. Pollut., 7, 179-192.
- ⑩ Havre, G.N., Underdahl, B. & Trosdahl, C. (1973):  
Analyse av elementene kvikksølv, kadmium, bly og sink i marint animalsk materiale fra Sørfjorden i Hardanger.  
I "Resipientundersøkelser i Sørfjorden 1972", Miljøvernkomiteen i Odda.
- ⑪ Jorde, J. & Klavestad, N. (1963):  
The natural history of the Hardangerfjord. 4. The benthonic algal vegetation.  
Sarsia, 8, 1-99.
- ⑫ Lie, U. (1967):  
The natural history of the Hardangerfjord. 8. Quantity and composition of the zooplankton, September 1955-September 1956.  
Sarsia, 30, 49-74.
- ⑬ Melhuus, A., Seip, K.L., Seip, H.M. & Myklestad, S. (1978):  
A preliminary study of the use of benthic algae as biological indicators of heavy metal pollution in Sørfjorden, Norway.  
Environ. Pollut., 15, 101-107.
- ⑭ Myklestad, S., Eide, I. & Melsom, S. (1978):  
Exchange of heavy metals in *Ascophyllum nodosum* (L) Le Jol. in situ by means of 10 transplanting experiments.  
Environ. Pollut., 16, 277-284.
- ⑮ Seip, K.L., Lunde, G., Melsom, S., Mehlum, E., Melhuus, A. & Seip, H.M. (1979):  
A mathematical model for the distribution and abundance of benthic algae in a Norwegian fjord. Ecol. Modelling, 6, 133-166.

- ⑩ Skei, J., Saunders, M. & Price, N.B. (1976):  
Mercury in plankton from a polluted Norwegian fjord.  
Mar. Pollut. Bull., 7, 34-36.
- ⑪ Skei, J.M. (1979):  
Eksempel på bruk av sedimenter i overvåking av norske fjorder.  
Nordforsk, 2, 273-284.
- ⑫ Steiner, R.D. & Nichless, G. (1974):  
Distribution of some heavy metals in organisms in Hardangerfjord  
and Skjerstadvfjord, Norway.  
Water, Air & Soil Pollut., 3.
- ⑬ Eide, I., Jensen, A. & Melsom, S. (1979):  
Application of in situ cage cultures of phytoplankton for moni-  
toring heavy metal pollution in two Norwegian fjords.  
J.exp. mar. Biol. Ecol., 37, 271-286.

## SEDIMENTER

Når industrielt avløpsvann tilføres et fjordområde vil en ikke ubetydelig del av avfallsstoffene sedimentere og legge seg på bunnen. Dette gjelder i meget stor grad Sjørfjorden, hvor store mengder av partikulære forurensninger tilføres fjorden. Akkumuleringen på bunnen er størst nærmest utslippsne. I området innenfor Eitremneset er bunnsedimentene i meget stor grad påvirket av industriutslipp, spesielt jarositt-utslipp fra Norzinc som farger bunnen rød.

Den naturlige sedimenteringen i Sjørfjorden skyldes tilførsel av uorganiske partikler (silt og leire) via elver. Sedimentene i Sjørfjorden er siltige (2, 7) og det er ikke påvist turbiditeter på samme måte som i Hardangerfjorden (1), slik at sedimentakkumulering antas i hovedsak å skyldes sedimentering av partikler fra et turbid overflatelag. Mineralogiske analyser av sedimentene viser dominans av kvarts, feltspat (alkali og plagioklas), illit, kloritt og amfibol (7). Disse er typiske mineraler i Sjørfjordens nedbørfelt, noe som tyder på at sedimentene er av lokal opprinnelse (7).

Sedimentene fra hele Sjørfjorden er preget av industriforurensning, i første rekke metaller (6, 7, 8). Meget høye konsentrasjoner av kvikksølv, sink, bly og kadmium er påvist i sedimentene i Oddaområdet (6). Selv ved munningen av Sjørfjorden var konsentrasjonene høye, spesielt av sink. Dette er i overensstemmelse med hva vi vet om sink i vannmassen i området. Sedimentprøver tatt i 1978 viste liten endring i konsentrasjoner av metaller i overflatesedimentene sammenlignet med prøver tatt i 1972 (8). Unntak var kvikksølv, som viste en klar nedgang i indre deler av Sjørfjorden i forhold til 1972 (8). Dette antas å skyldes rensetiltak som ble iverksatt i 1973.

Analyser nedover i sedimentene viser at det forurensede laget midtfjords i Sjørfjorden var ca 10 cm tykt i 1972 (8). Aldersdatering av en sedimentkjerne ved hjelp av en naturlig isotop (bly-210) viste en sedimenttilvekst på 2 mm/år midt i fjorden (8) og at økningen i metallkonsentrasjonene i sedimentet startet ca. 1930 (8). Dette sammenfaller med det tidspunkt da sinksmelteverket ble etablert.

I tillegg til analyser av tungmetaller er sedimentene også analysert for silisium, aluminium, jern, magnesium, kalsium, kalium, fosfor og mangan (7). Noen prøver ble også analysert for total organisk materiale, organisk karbon og uorganisk karbon (7). Av disse elementene er det utelukkende kalsium, jern og fosfor som viser anomalier. Disse anomaliene opptrer i sedimenter nær Odda og antas å skyldes store utslipp av kalsium fra Odda smelteverk og jern og fosfor fra Norzinc.

I 1978 ble også sedimenter fra 5 lokaliteter analysert for polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH). Resultatene viser en meget klar økning innover fjorden, med et maksimum utenfor Tyssedal (4). Det er kjent at aluminiumsindustrien bidrar betraktelig med slike stoffer.

LITTERATUR (sedimenter):

- ① Høltedahl, H. (1965):  
Recent turbidites in the Hardangerfjord, Norway.  
Colston Res. Soc. Proc. 17, Bristol, 107-141.
- ② Høltedahl, H. (1975):  
The geology of the Hardangerfjord, West Norway.  
NGU, nr. 323, 87 s.
- ③ NIVA, unpubl.:  
Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) i sedimenter.  
(J. Knutzen).
- ④ NIVA, (1979):  
Nasjonalt program for overvåking av vannressurser. Pilotprosjekt  
Sørfjorden (Hardanger) 1978.  
Saksbeh.: J. Skei, Stensilert: 32 s.
- ⑤ Palmork, K. (1974):  
Polysykliske aromatiske hydrokarboner i det marine miljø.  
Nordforsk, 4, 99-125.
- ⑥ Skei, J.M., Price, N.B., Calvert, S.E. & Høltedahl, H. (1972):  
The distribution of heavy metals in sediments of Sørfjord, West  
Norway.  
Water, Air & Soil Pollut., 1, 452-461.
- ⑦ Skei, J.M. (1975):  
The marine chemistry of Sørfjorden. Unpubl. Ph-D-thesis, Univ. of  
Edinburgh, 207 s.
- ⑧ Skei, J.M. (1979):  
Eksempel på bruk av sedimenter i overvåking av norske fjorder.  
Nordforsk, 2, 273-284.

## BEHOV FOR SUPPLERENDE UNDERSØKELSER

Den forutgående oversikten over tidligere undersøkelser i Sørfjorden gir et innblikk i omfanget av undersøkelser av de forskjellige media (vann, organismer og sedimenter). Det er viktig å påpeke at industrien i Odde ble etablert så tidlig som før første verdenskrig og at det ikke eksisterer noen registrering i vann, organismer og sedimenter før den tid. Dette er spesielt uheldig når det gjelder organismsamfunnene ettersom vi ikke kjenner til "før-tilstanden". Selv 20-30 år etter at industrien kom igang ble det ikke gjort noen målinger i Sørfjorden for å se hvilke effekter utslippene hadde på resipienten. Det betyr at målingene kom igang på et usedvanlig sent tidspunkt og at det vi nå registrerer er et resultat av mangeårig eksponering av forurensning. Nå er sannsynligvis utviklingen iferd med å snu i og med at rensetiltak iverksettes og utslippene til sjø reduseres. Denne utviklingen bør nøye overvåkes for å fastslå om rensetiltakene er tilstrekkelige.

Oversikten over tidligere undersøkelser avslører vesentlige mangler når det gjelder biologi. Bløtbunnsfaunaen som står i nær kontakt med de forurensede sedimentene er i liten grad undersøkt mht. effekter av forurensning. Generelt er organismsamfunnenes sammensetning i Sørfjorden, og hvilken rolle forurensning som stressfaktor spiller, ikke undersøkt.

Et annet felt som er lite studert er hva som skjer når jarositt tilføres fjorden fra Norzinc. Dette er viktig fordi jarositt idag er den største kilden for metaller, inkludert kvikksølv. Det er ikke kjent i hvilken grad jarositt omdannes og metallene frigjøres. Det bør påpekes at jarosittproblemet er under bearbeidelse fra bedriftens side og man søker nå å omforme jarositt til et mer miljøvennlig avfallsprodukt. Tidsperspektivet når det gjelder dette tiltaket vil avgjøre om det har noen hensikt å se nærmere på jarositten.



I sluttrapporten til Miljøvernkomiteen i Odda (Miljøverntiltak og det videre arbeid) ble det fremsatt en del forslag til oppfølging. Av behov for fremtidige undersøkelser kan nevnes:

- 1) Analyser av kvikksølv, kadmium, bly, kopper og sink i fisk, skjell og tang helt til at forholdene er normalisert.
- 2) Måling av fosfor, nitrogen og oksygen i vannmassene for å fastlegge graden av overgjødsling og omfanget av planktonveksten.
- 3) Studere overleiringen av forurensede sedimenter og eventuelt hvilke praktiske tiltak som kan iverksettes for å hindre sekundær forurensning fra sedimentene (rehabilitering).
- 4) Eitremsvågen mudres eller isoleres slik at oppvirvling av slam som følge av vind hindres.
- 5) Undersøke i hvilken grad forurensede vannmasser i Sørfjorden påvirker Hardangerfjorden.

En del av disse forslagene til oppfølging er etterfulgt, mens andre er fortsatt ikke realisert. Ettersom Sørfjorden i Hardanger må betegnes som vår mest metallforurensede fjord er det både rett og rimelig at utviklingen i denne fjorden følges nøye i årene fremover.

I lys av resultater som allerede eksisterer fra Sørfjorden, ville det i tillegg vært ønskelig å se nærmere på følgende forhold:

- I Det er målt svært lave pH-verdier i overflatevannet i Odda-bassenget. Har den gjennomførte reduksjonen i syre-utslipp fra Norzinc ført til normale pH-forhold ?
- II Det er målt nokså høye konsentrasjoner av polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) i sedimentene i Sørfjorden. Hva med konsentrasjonen av disse stoffene i organismer (f eks blåskjell) ?
- III En rekke målinger i både vann og sedimenter i det innerste mest belastede området av Sørfjorden har vist meget høye metallkonsentrasjoner. Etter 1975 er imidlertid en stor del av overvåkingen konsentrert om de ytre områdene. Hva vet vi om det mest belastede området

i dag, og i hvilken grad representerer industriavfall avsatt på bunnen en sekundær forurensningskilde ?