

0 - 75038

# Nasjonalt program for overvåking av vannressurser

Pilotprosjekt Sørfjorden (Hardanger ) 1978

# 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:	0-75038
Undernummer:	XI
Løpenummer:	1164
Begrenset distribusjon:	

Rapportens tittel: Nasjonalt program for overvåking av vannressurser. Pilotprosjekt Sørfjorden (Hardanger) 1978.	Dato: 1979-11-15
	Prosjektnummer: 0-75038
Forfatter(e):  Jens Skei	Faggruppe: Oseanografi
	Geografisk område: Hordaland
	Antall sider (inkl. bilag):


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

Ekstrakt

Sedimentprøver er analysert på innhold av kvikksølv, kadmium, bly, sink og kopper og resultatene sammenlignet med tilsvarende data fra 1972. Det samme er gjort på noen enkeltprøver av vann og plankton. I mellomtiden er særlig kvikksølvutslippene blitt betydelig redusert. Resultatene viser at overflatesedimentene (0-2 m) fremdeles har forhøyede og til dels meget høye metallkonsentrasjoner. Kvikksølvkonsentrasjonene har avtatt noe i indre del av fjorden, mens det har vært en viss økning i ytre fjord. Planktonets kvikksølvinnhold og sink var høyere. Vannanalysene indikerer en viss frigjørelse av kvikksølv fra sedimentene.

4 emneord, norske
1. Nasjonal overvåking
2. Sørfjorden (Hardanger)
3. Sedimenter
4. Metallforurensning
Smelteverk (Sink)

4 emneord, engelske:
1. National monitoring
2. Sørfjorden (Hardanger)
3. Sediments
4. Metal pollution
Smelter (Zinc)

  
Prosjektleders sign.:

  
Seksjonsleders sign.:

  
Instituttetsjefs sign.:

ISBN 82-577-0219-6

# 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:	0-75038
Undernummer:	X
Løpenummer:	1164
Begrenset distribusjon:	

Rapportens tittel: Nasjonalt program for overvåking av vannressurser. Pilotprosjekt Sørfjorden (Hardanger) 1978.	Dato: 1979-11-15
	Prosjektnummer: 0-75038
Forfatter(e): Jens Skei	Faggruppe: Oseanografi
	Geografisk område: Hordaland
	Antall sider (inkl. bilag):

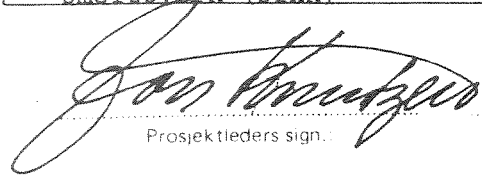
Oppdragsgiver: Miljøverndepartementet v/Statens Forurensningstilsyn	Oppdragsg. ref. (evt. NTNF-nr.):
------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

Ekstrakt

Sedimentprøver er analysert på innhold av kvikksølv, kadmium, bly, sink og kopper og resultatene sammenlignet med tilsvarende data fra 1972. Det samme er gjort på noen enkeltprøver av vann og plankton. I mellomtiden er særlig kvikksølvutslippene blitt betydelig redusert. Resultatene viser at overflatesedimentene (0-2 m) fremdeles har forhøyede og til dels meget høye metallkonsentrasjoner. Kvikksølvkonsentrasjonene har avtatt noe i indre del av fjorden, mens det har vært en viss økning i ytre fjord. Planktonets kvikksølvinnhold og sink var høyere. Vannanalysene indikerer en viss frigjørelse av kvikksølv fra sedimentene.

4 emneord, norske
1. Nasjonal overvåking
2. Sørfjorden (Hardanger)
3. Sedimenter
4. Metallforurensning
Smelteverk (Sink)

4 emneord, engelske:
1. National monitoring
2. Sørfjorden (Hardanger)
3. Sediments
4. Metal pollution
Smelter (Zinc)

  
Prosjektleders sign.:

  
Seksjonsleders sign.:

  
Instituttetsjefs sign.:

ISBN 82-577-0219-6

# 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:	0-75038
Undernummer:	X
Løpenummer:	1164
Begrenset distribusjon:	

Rapportens tittel Nasjonalt program for overvåking av vannressurser. Pilotprosjekt Sørfjorden (Hardanger) 1978.	Dato: 1979-11-15
	Prosjektnummer: 0-75038
Forfatter(e):  Jens Skei	Faggruppe: Oseanografi
	Geografisk område: Hordaland
	Antall sider (inkl. bilag):

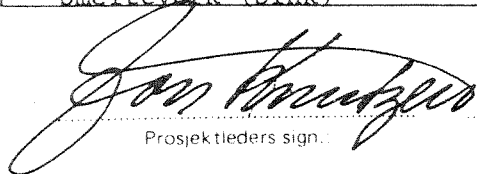
Oppdragsgiver: Miljøverndepartementet v/Statens Forurensningstilsyn	Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.):
------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

Ekstrakt

Sedimentprøver er analysert på innhold av kvikksølv, kadmium, bly, sink og kopper og resultatene sammenlignet med tilsvarende data fra 1972. Det samme er gjort på noen enkeltprøver av vann og plankton. I mellomtiden er særlig kvikksølvutslippene blitt betydelig redusert. Resultatene viser at overflatesedimentene (0-2 m) fremdeles har forhøyede og til dels meget høye metalkonsentrasjoner. Kvikksølvkonsentrasjonene har avtatt noe i indre del av fjorden, mens det har vært en viss økning i ytre fjord. Planktonets kvikksølvinnhold og sink var høyere. Vannanalysene indikerer en viss frigjørelse av kvikksølv fra sedimentene.

4 emneord, norske:
1. Nasjonal overvåking
2. Sørfjorden (Hardanger)
3. Sedimenter
4. Metallforurensning
Smelteverk (Sink)

4 emneord, engelske:
1. National monitoring
2. Sørfjorden (Hardanger)
3. Sediments
4. Metal pollution
Smelter (Zinc)

  
Prosjektleders sign.:

  
Seksjonsleders sign.:

  
Instituttstjefers sign.:

ISBN 82-577-0219-6

Norsk institutt for vannforskning  
Oslo

0 - 75038

**Nasjonalt program for  
overvåking av vannressurser**

Pilotprosjekt Sørfjorden (Hardanger ) 1978

Rapporten avsluttet : 12.11 1979

Prosjektleder : Jon Knutzen

Saksbehandler : Jens Skei

Instituttssjef : Kjell Baalsrud

I N N H O L D S F O R T E G N E L S E

Side:

FORORD .....	4
SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER .....	5
1. Innledning .....	7
2. Prøvetaking .....	7
3. Metoder .....	9
4. Resultater og diskusjon .....	9
4.1 Målinger av sedimenttilvekst ved bly-210 dateringer ..	9
4.2 Organisk materiale i sedimentene .....	13
4.3 Metaller i sedimentene .....	13
4.4 Kvikksølv i vannprøver fra Odda's havnebasseng .....	28
4.5 Kvikksølv i plankton .....	28
5. Referanser .....	31

FIGURFORTEGNELSE

	Side:
Fig. 1. Lokalisering av stasjoner i Sørfjorden, april 1978 (piler markerer utslipp fra Norzinc A/S) .....	8
Fig. 2. Vertikal fordeling av bly-210 i sedimentkjerne fra stasjon SØR 3 .....	14
Fig. 3. Relasjon mellom alder og dyp i sedimentet på stasjon SØR 3 basert på Pb-210 .....	14
Fig. 4. Organisk materiale i overflatesedimenter i Sørfjorden, april 1978 .....	15
Fig. 5. Kvikksølv i overflatesedimenter i Sørfjorden i 1971-72 og i 1978. (høyden på de respektive søylene represen- terer konsentrasjonen målt ved de forskjellige tids- punktene) .....	17
Fig. 6. Vertikal fordeling av kvikksølv i sedimentet på stasjon SØR 3 tatt i 1972 .....	18
Fig. 7. Sink i overflatesedimenter i Sørfjorden i 1971-72 og i 1978. (Høyden på de respektive søylene representerer konsentrasjonen målt ved de forskjellige tidspunktene. På stasjon 7 ble det ikke gjort målinger i 1971-72) ....	20
Fig. 8. Vertikal fordeling av sink (Zn), bly (Pb) og kopper (Cu) i sedimentkjerne fra stasjon SØR 3, tatt i 1972 .....	22
Fig. 9. Kadmium i overflatesedimenter i Sørfjorden, april 1978 .	23
Fig. 10. Bly i overflatesedimenter i Sørfjorden i 1971-72 og i 1978 (høyden på de respektive søylene representerer konsentrasjonen målt ved de forskjellige tidspunktene På stasjon 7 ble det ikke gjort målinger i 1971-72) ....	25
Fig. 11. Kopper i overflatesedimenter i Sørfjorden i 1971-72 og i 1978. (Høyden på de respektive søylene representerer konsentrasjonen målt ved de forskjellige tidspunktene. På stasjon 7 ble det ikke gjort målinger i 1971-72) ....	27
Fig. 12. Vertikal fordeling av total kvikksølv i vannprøver og sedimenter fra samme stasjon (SØR 6), april 1978. (Skravert felt indikerer overgang fra vann til sediment)	29
Fig. 13. Innhold av kvikksølv i plankton tatt i 1972 og 1978 i økende avstand fra Odda (Skravert felt indikerer variasjonsbredden i 1972) .....	30

TABELLFORTEGNELSE

	Side:
Tabell 1. Beskrivelse av sedimentkjerner tatt i Sørfjorden, april 1978 .....	10
Tabell 2. Metaller og organisk materiale i sedimenter fra Sørfjorden, april 1978 .....	11
Tabell 3. Resultater fra analyser av kvikksølv i vannprøver fra Odda havnebasseng (SØR 6) .....	12
Tabell 4. Resultater fra analyser av kvikksølv i plankton fra Sørfjorden .....	12



F O R O R D

På oppdrag fra Miljøverndepartementet ved Statens Forurensningstilsyn (brev av 13/6 og 7/10 1977) er det som forberedelse til et nasjonalt program for overvåking av vannressursene startet pilotprosjekt i et utvalg vannforekomster i Målselva/Barduelva, Glåma nedstrøms Øyeren, Iddefjorden, Saudafjorden og Sørfjorden (Hardanger).

Arbeidet i Sørfjorden er et supplement til andre undersøkelser i fjorden og utført i henhold til avtale basert på programforslag fra NIVA (0-75038, Arbeidsnotat 2 av 30/5 1978) og brev fra Statens Forurensningstilsyn av 7/7 1978.

Vann- og planktonanalysene er utført ved Sentralinstitutt for industriell forskning.

Ved instituttet har A. Kjellsen vært ansvarlig for sedimentanalysene og F. Kjellberg har assistert ved feltarbeidet. Rapporten er skrevet av J. Skei.

Brekke, 15. november 1979



Jens Skei

SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER

1. Sørfjorden i Hardanger er et eksempel på en usedvanlig sterkt metallbelastet fjord. Industriutslipp fra begynnelsen av 30-årene og fram til i dag har ført til akkumulering av metaller i de forskjellige deler av det akvatiske miljø i Sørfjorden. En treårs-undersøkelse (1971-73) iverksatt av Miljøvernkomiteén i Odda og andre forskningsresultater påpekte behovet for rensetiltak. Dette har resultert i forurensningsbegrensende tiltak fra industriens side fra 1973 og utover.
2. For å studere virkningen av rensetiltakene på forurensningen av Sørfjordens bunnområder, ble i april 1978 sedimentkjerner fra 7 stasjoner, fordelt over hele fjorden (Fig. 1), analysert for organisk materiale, kvikksølv, sink, kadmium, bly og kopper (Tabell 2). En kerne ble også aldersdatert for å måle sedimenttilvekst (Fig. 2 og 3). I tillegg til sedimentprøver ble det også tatt 6 vannprøver for å se på eventuell transport av kvikksølv fra forurensede sedimenter til vann over (Tabell 3, Fig. 12). Det ble også tatt 4 planktonprøver for å sammenligne nivåene av kvikksølv i plankton i 1978 med resultater fra 1972 (Tabell 4, Fig. 13).
3. Målinger av bly-210 aktiviteten i en sedimentkerne for aldersdatering og bestemmelse av sedimenttilvekst (Fig. 2 og 3) viste at de øvre 10 cm av sedimentet midt i fjorden er avsatt i løpet av 50 år. Det vil si en gjennomsnittlig tilvekst på 2 mm/år. I nærheten av Odda er tilveksten anslått til større enn 4 mm/år.
4. Sedimentenes organiske innhold er høyt i havnebassenget, trolig som følge av kloakkpåvirkning (Fig. 4).
5. Sedimentenes innhold av kvikksølv har avtatt i nærheten av Odda i forhold til 1971-72, men økt noe i ytre deler av Sørfjorden (Fig. 5). Reduksjonen nær Odda er trolig et resultat av etableringen av renseanlegg for kvikksølv i 1973. I ytre deler av fjorden er sedimenttilveksten så liten at noen bedring ikke kan spores ennå. Når det gjelder sink, kadmium, bly og kopper i overflatesedimentene, viser disse ingen reduksjon i forhold til 1972, men tvert imot en økning, spesielt for sink og bly

(Fig. 7 og 10). Forklaringen må være at disse metallene stort sett er knyttet til jarosittutslippet. Det har ikke skjedd noen reduksjon i utslipp av jarositt, men derimot en økning enkelte år.

Overkonsentrasjonene av metaller i overflatesedimentene (0-2 cm) kan antydes ved følgende forholdstall (x antatt naturlig nivå), henholdsvis for ytre og indre del av fjorden: Kvikksølv 70 og 480, kadmium 2 og 75, sink 4 og 90, bly 12 og 210, kopper 1 og 20.

6. Vannanalysene indikerer at kvikksølv i noen grad frigjøres fra de sterkt kvikksølvforurensede sedimentene i Oddabassenget (Fig. 12).
7. Planktonets innhold av kvikksølv har avtatt betydelig i forhold til 1972. Nivået var likevel høyere enn normalt, og det kan spores en økning innover mot Odda (Fig. 13).
8. Konklusjonen må bli at kvikksølv-forurensningen i Sørfjorden er betydelig redusert, men at den ikke er eliminert. Når det gjelder de øvrige metallene, kan man ikke forvente vesentlige forbedringer på bunnen så lenge man ikke har løst problemet med jarositt. Det bør undersøkes nærmere i hvilken grad sedimentene sør for Tyssedal avgir metaller til vannet over og til børstemark som lever i sedimentene, og som kan være føde for fisk.
9. Overvåkingen av metaller i vannmassene bør utvides til å omfatte en eller to stasjoner i Oddas havnebasseng og Eitremsvågen. Det bør også tas vannprøver av bunnvannet ved Digraneset.

## 1. Innledning

Sørfjorden i Hardanger må karakteriseres som Norges mest metallforurensede fjord. Det er også vanskelig å finne marine områder ellers i verden med samme grad av metallforurensning. Årsaken er at Sørfjorden er blitt brukt som resipient for industrielt avløpsvann helt siden 1908, og at mengde og konsentrasjon av metaller i deler av dette avløpsvannet har vært og delvis fortsatt er usedvanlig stor. Fjordens trange, langstrakte form og bratte sider bidrar også til at det faste avfallet konsentreres på et lite areal langs fjordens dyprenne.

Det er påvist betydelig forurensning i alle de undersøkte delene av det marine miljø i Sørfjorden: Fisk og blåskjell (Havre et al., 1973), tang (Haug et al., 1974; Melhuus et al., 1978), plankton (Skei et al., 1976), vann (Skei, 1975, Melhuus et al., 1979), suspendert partikulært materiale (Skei et al., 1973) og sedimenter (Skei et al., 1972).

Denne rapporten tar for seg bunnsedimentene for å belyse forholdene i 1978, seks år etter at siste bunnsediment-undersøkelse ble foretatt i Sørfjorden. I løpet av de siste årene er en rekke rensetiltak satt i verk av industrien i Odda, og ett av formålene med sedimentundersøkelsen i 1978 var å se om disse tiltakene hadde ført til reduksjon i metallforurensning av bunnen. Overvåking av metallinnholdet i vannmassen har vist nedgang i konsentrasjonene fra 1975 til 1978 (Melhuus et al., 1979). Dette må settes i forbindelse med reduksjon i utslipp av spillvann og discardsyre fra sinkfremstillingen fra 1975 - 1976. Kvikksølvkonsentrasjonene i vannet har også avtatt de senere årene etter at renseanlegget for kvikksølv kom i drift i 1973 (Dyvik, 1977).

## 2. Prøvetaking

Sedimentkjerner ble tatt på 7 stasjoner (Fig. 1) fra munningen av Sørfjorden til Odda, 20. - 21.4.1978. Det ble brukt "gravity corer" (Niemistö, 1974). Kjernene ble snittet i 1 cm seksjoner, bortsett fra kjerner tatt nærmest Odda (SØR 6 og 7), som ble snittet i 2 cm seksjoner. Dette ble gjort fordi man antok at sediment-tilveksten nær Odda er betydelig større enn lenger ute i fjorden. Et totalt antall av 32 sedimentprøver ble tatt ut til analyse for tungmetaller og organisk materiale.

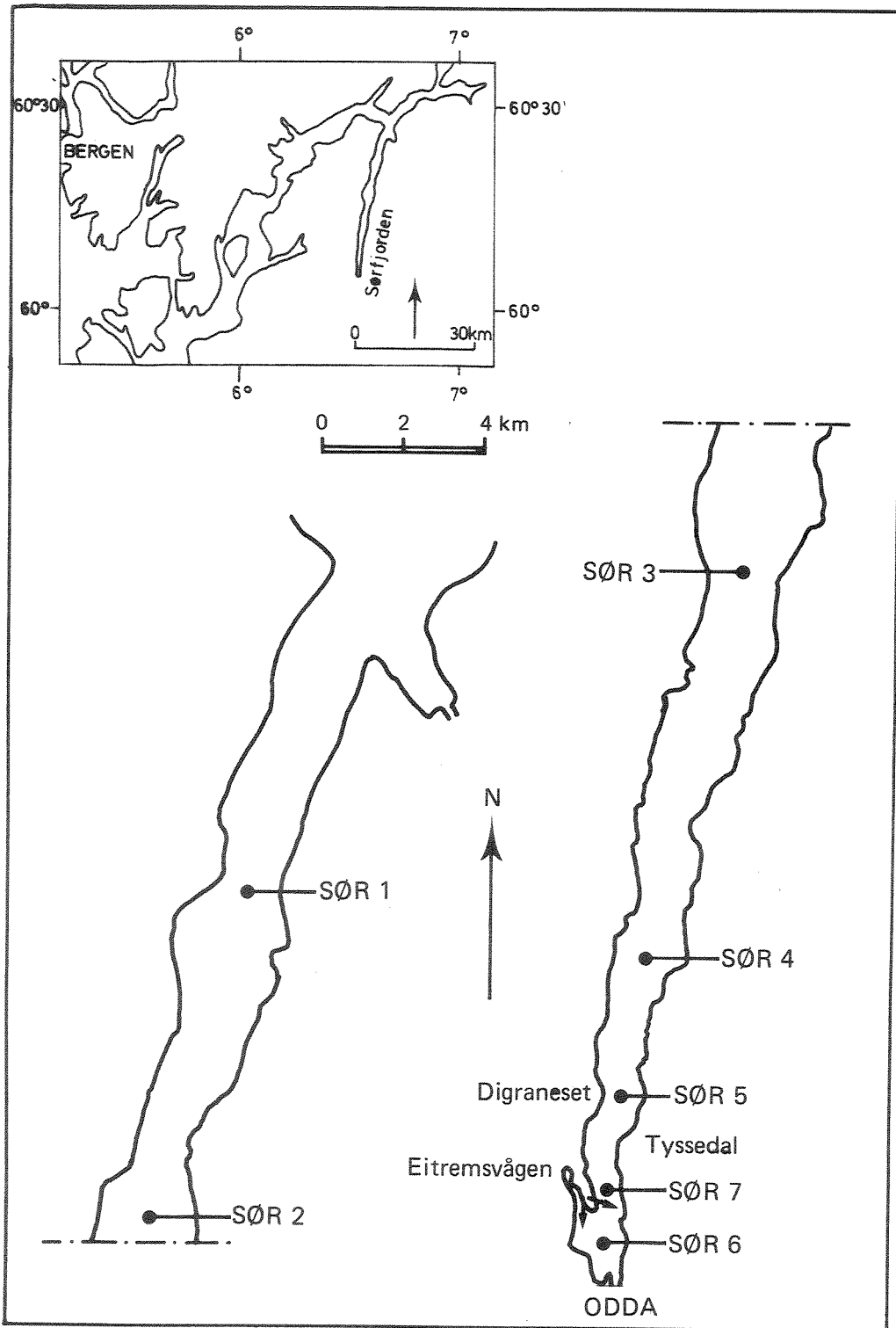


Fig. 1. Lokalisering av stasjoner i Sør fjorden, april 1978. (Piler markerer utslipp fra Norzinc A/S).

I tillegg ble 10 prøver fra en kjerne midt i Sørfjorden (SØR 3) tatt ut til aldersdatering.

På fire stasjoner (SØR 1, 3, 4 og 5) ble planktonprøver innsamlet fra de øvre 2 m av vannmassen ved tauing av planteplankton-nett i 15 minutter. Disse prøvene ble innsamlet for kvikksølvanalyser.

På stasjonen i Oddas havnebasseng (SØR 6) ble vannprøver tatt med Hydro-Bios vannhenter fra 1, 10, 20, 30, 40 og 45 m dyp for analyse av kvikksølv.

### 3. Metoder

Analyser av sink, kopper, kadmium, bly og kvikksølv i sedimenter ble analysert ved atomabsorpsjon etter salpetersyreoppslutning (NIVA, 1977). Det ble analysert på tørt sediment (80° C i 24 t.) Organisk materiale ble bestemt ved glødetapmålinger (NIVA, 1977). Aldersdatering ved bly-210 ble utført ved Harwell Environmental and Medical Sciences Division i England.

Planktonprøvene ble behandlet som vist i Skei et al. (1976) og analysert for total kvikksølv ved atomabsorpsjon etter oppslutning med bromsyre og salpetersyre i lukket apparatur. Det ble analysert på våte prøver, og resultatene er omregnet til tørrvekt.

Ufiltrerte vannprøver ble analysert for kvikksølv ved flammeløs atomabsorpsjon.

### 4. Resultater og diskusjon

En visuell beskrivelse av sedimentkjernene er gitt i Tabell 1. Resultatene fra de kjemiske analysene av sedimentene, vannprøvene og planktonprøvene er gitt henholdsvis i Tabell 2, 3 og 4.

#### 4.1 Målinger av sedimenttilvekst ved bly-210 dateringer

I løpet av de siste 7-8 år er bruk av den naturlige bly-isotopen Pb-210 blitt vanlig ved aldersdatering av marine sedimenter (Koide et al., 1973). Med en halveringstid på 22 år er Pb-210 velegnet til datering av sedi-

Tabell 1. Beskrivelse av sedimentkjerner tatt i Sørfjorden, april 1978.

Stasjon nr.	Vann dyp (m)	Kjernelengde (cm)	Beskrivelse
SØR 1	357	20.5	Ved Lofthus 1 - 2 cm brunt topplag over leirig silt.
SØR 2	381	29	Utenfor Naa. Ingen markert brun topp. Siltige sedimenter. Noe leirig i bunnen.
SØR 3	386	29.5	Utenfor Espe. Brun overflate med børstemark. Noe sandig.
SØR 4	280	37	Sør for Digraneset. Brun overflate over siltig leire. Mye børstemark. Ingen synlige spor av industriavfall.
SØR 5	116	33.5	Like sør for Tyssedal 0.5 cm loddent, brunt fnokk over 0.5 cm orange lag. Mørke siltige sedimenter under. Rødlige sedimenter fra 3 til 7 cm dyp.
SØR 6	47	26	Oddas havnebasseng. Levende mark i overflaten (1 - 1.5 cm lang mark). Brunlige fnokk på overflaten. De øverste 4 cm ser normal ut med hensyn til farge. Rødbrunne sedimenter fra 4 - 12 cm. Silt under 12 cm.
SØR 7	54	27	Ved Eitremsneset. Sterk lagdeling med forskjellige farger. 0-1 cm brune fnokk. De underliggende sedimenter ble gradvis rødere. Det sterkt fargede laget var 11 cm tykt. Mørk sandig silt under.

Tabell 2. Metaller og organisk materiale i sedimenter fra Sjørfjorden, april 1978.

Stasjon nr.	Dyp i sedimentet (cm)	Hg (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	Pb (ppm)	Cu (ppm)	Org. mat. %
SØR 1	0-1	7.30	589	0.58	735	89	7.4
	1-2	6.50	554	0.85	631	99	6.7
	2-3	5.39	503	1.08	448	90	5.7
	3-4	2.88	344	0.66	278	79	4.5
	4-5	1.73	283	1.13	113	68	4.8
SØR 2	0-1	3.97	397	0.68	295	66	6.5
	1-2	4.06	426	0.88	279	69	6.5
	2-3	4.27	535	1.16	524	75	7.1
	3-4	5.57	575	1.00	494	79	7.0
	4-5	5.04	556	0.95	453	81	6.6
SØR 3	0-1	5.43	504	1.03	362	71	7.0
	1-2	4.34	483	1.19	350	70	6.3
	2-3	4.63	466	0.88	357	74	6.0
	3-4	4.49	499	1.17	367	72	6.2
	4-5	4.59	478	0.85	360	79	6.6
SØR 4	0-1	12.30	1333	3.73	947	146	7.7
	1-2	10.40	1293	4.59	1206	151	7.9
	2-3	11.30	1544	4.89	1405	158	7.8
	3-4	23.00	1683	5.69	1528	175	7.2
SØR 5	0-1	47.20	10301	40.50	10301	888	13.6
	1-2	48.40	10769	33.40	10393	913	14.2
	2-3	49.50	11913	41.10	11371	938	13.5
	3-4	70.80	11141	37.70	9510	937	11.9
SØR 6	0-2	46.30	13157	44.50	13003	913	21.0
	2-4	69.40	16022	47.50	15285	1142	16.0
	4-6	69.00	13848	40.80	10171	1066	13.6
	6-8	65.80	12087	28.30	8681	923	13.4
	8-10	99.50	11876	31.60	9237	1028	12.2
SØR 7	0-2	17.70	13742	36.80	11627	1268	9.9
	2-4	26.50	25069	66.50	25626	2187	14.9
	4-6	86.0	29096	74.70	33996	2527	19.2
	6-8	102.0	30235	66.10	22418	2654	14.6
	8-10	-	13996	67.30	9797	1104	13.8



Tabell 3. Resultater fra analyser av kvikksølv i vannprøver fra Odda havnebasseng (SØR 6)

Stasjon nr	Prøvedyp (m)	Hg (ppb)
SØR 6	1	0.08
	10	0.08
	20	0.08
	30	0.10
	40	0.14
	45	0.16

Tabell 4. Resultater fra analyser av kvikksølv i plankton fra Sørfjorden.

Stasjon nr	Hg (ppm tørrvekt)
SØR 1	1.5
SØR 2	1.5
SØR 4	3.7
SØR 5	4.1

menter avsatt de siste 100 - 150 år.

Den vertikale fordelingen av Pb-210 i en kjerne fra stasjon SØR 3 tatt i 1978 er vist på Fig. 2. Endringen i profilet i de øvre 2 cm av kjernen (Fig. 2) skyldes trolig aktivitet av børstemark eller andre mekaniske forstyrrelser øverst i denne kjernen. Hvis vi neglisjerer de øvre 2 cm, får vi et profil som relaterer dyp i sedimentet og alder som vist på Fig. 3. Ut fra dette profilet er den gjennomsnittlige sedimenttilveksten beregnet til 2 mm/år.

#### 4.2 Organisk materiale i sedimentene

Mengden av organisk materiale i sedimentene bedømt ut fra glødetapsmålinger, viser en tendens til økning innover mot Odda (Fig. 4). Innerst i havnebassenget ble det målt 21% organisk materiale i overflaten, mens i de dypeste deler av Sørfjorden ble det målt 6-7% organisk materiale. Akkumuleringen av organisk stoff i havnebassenget må i stor grad tilskrives utslipp av kommunal kloakk og planterester tilført fra land. Sedimentprøver tatt i 1971 viste samme tendens med høye konsentrasjoner av organisk karbon i havnebassenget (Skei, 1975).

#### 4.3 Metaller i sedimentene

Det er blitt påvist en rekke spormetaller i sedimentene i Sørfjorden i tildels meget høye konsentrasjoner (Skei et al., 1972). Metallene analysert i 1978 representerer derfor bare et utvalg av de metallene man anser som giftige i det marine miljø. Det viktigste metallet i denne sammenheng er kvikksølv. Mengden av kvikksølv som er sluppet ut i Sørfjorden fra sinksmelteverket gjennom årenes løp er ikke kjent. Det man vet er at utslippet i 60-årene var på opptil 30-40 kg kvikksølv pr dag (Dyvik, 1977). Ved iverksettelsen av renseanlegget i 1973 ble imidlertid utslippet redusert til 3-4 kg pr dag. Det årlige utslippet (1977) er likevel ca 1.350 kg, og sinksmelteverket er således den største punktkilden for kvikksølv i Norge (SINTEF, 1979).

Målinger av kvikksølv i sedimenter tatt i 1972 viste verdier mellom 0.07 og 853 ppm (Skei, unpubl.). Ekstremverdien på 853 ppm ble

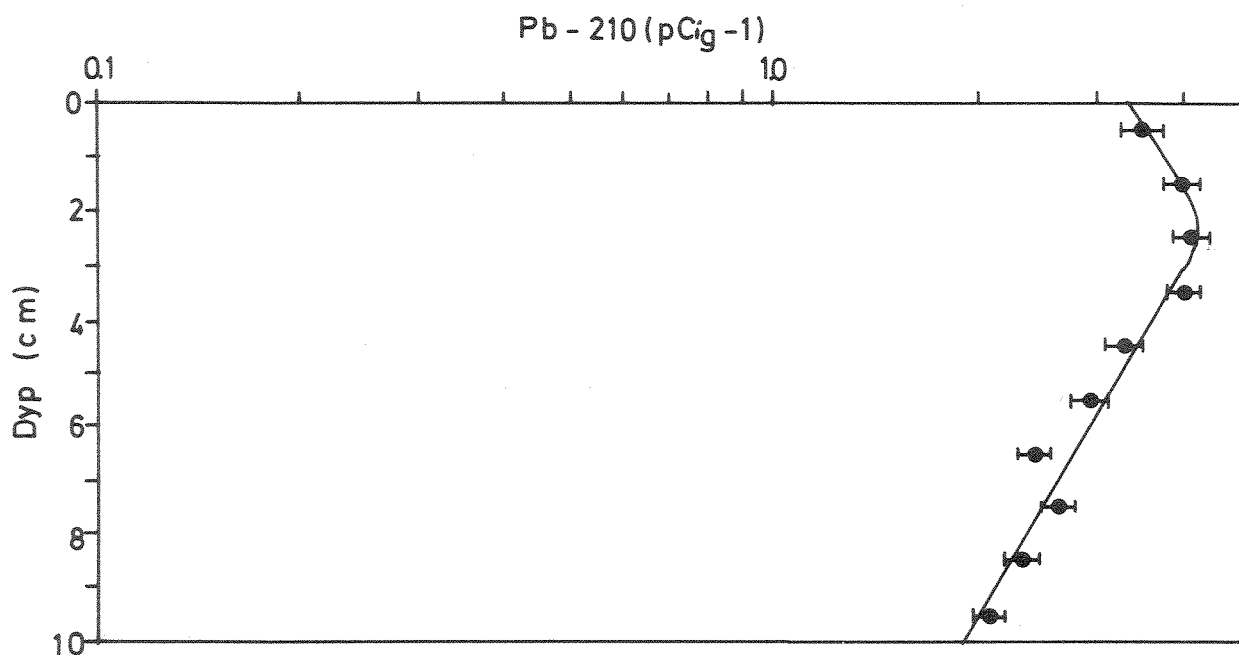


Fig. 2. Vertikal fordeling av bly-210 i sedimentkjerne fra stasjon SØR 3.

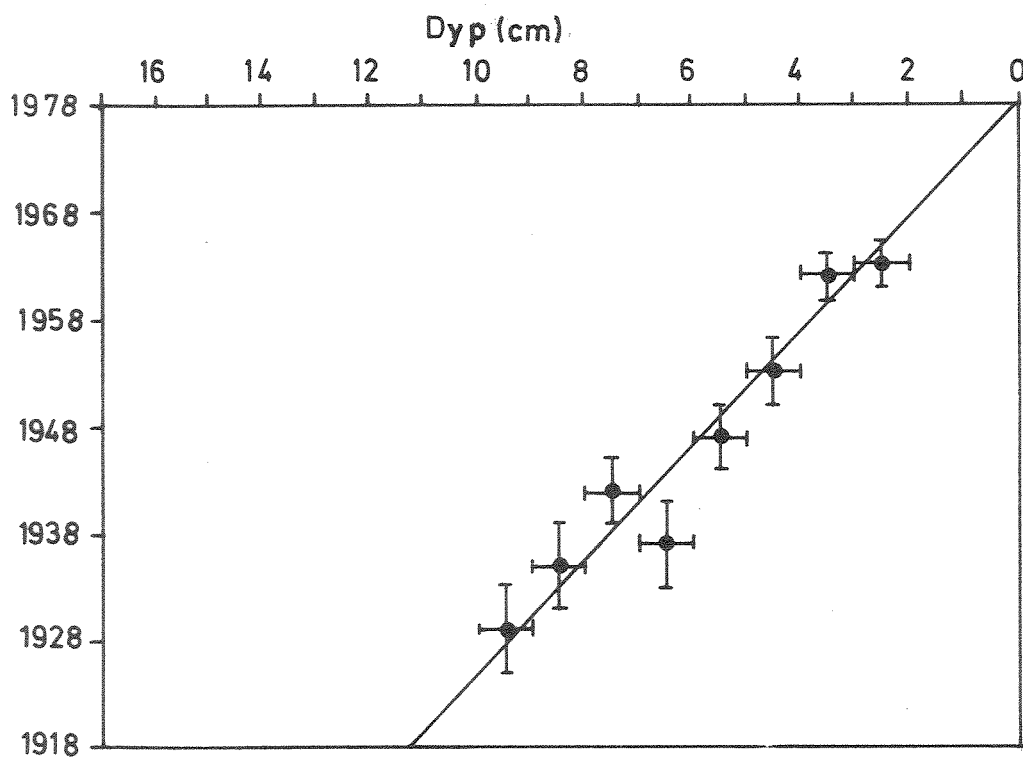


Fig. 3. Relasjon mellom alder og dyp i sedimentet på stasjon SØR 3 basert på Pb-210.

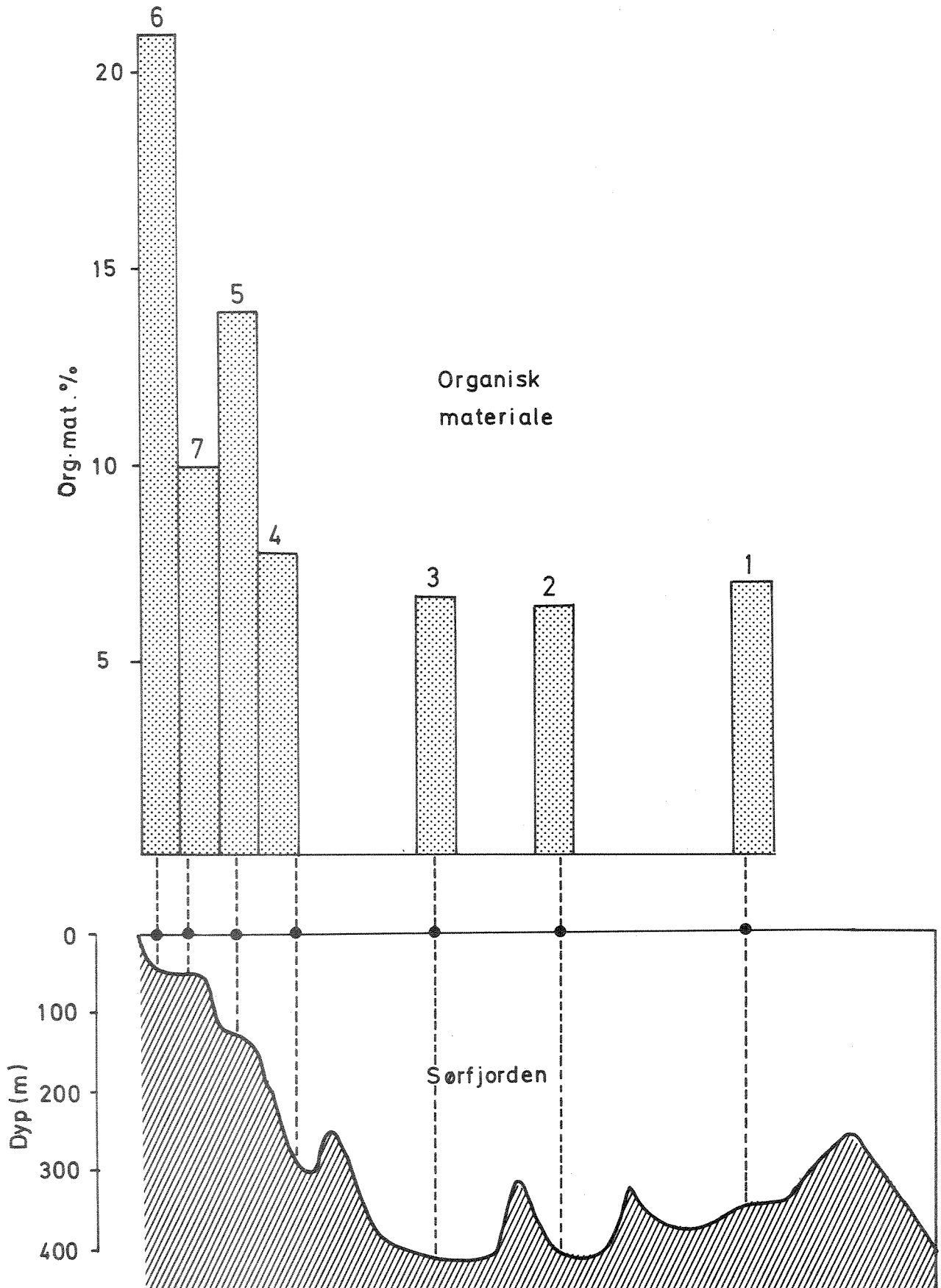


Fig. 4. Organisk materiale i overflatesedimenter i Sørfjorden, april 1978.

funnet i Eitremsvågen (Fig. 1), mens nivået innenfor Eitremneset var på 80-90 ppm. Ytterst i fjorden var konsentrasjonen 2-3 ppm kvikksølv, med avtagende konsentrasjoner nedover i sedimentet. Sammenligning med målinger gjort i overflatesedimentene i 1978 er illustrert i Fig. 5. Den største forandringen på disse 6 årene har skjedd nær Odda. Her har konsentrasjonene i de øvre 2 cm av sedimentet avtatt betraktelig. Årsaken må være reduksjon i utslippene siden 1973. På grunn av høy sedimenttilvekst innerst i fjorden er overflatesedimentene (0-2 cm) avsatt etter at renseanlegget kom i drift (dvs. en minimum sedimenttilvekst på 4 mm/år). Konsentrasjonen av kvikksølv øker derfor nedover i sedimentet i nærheten av Odda (se Fig. 12), noe som viser at tilførslene av kvikksølv til dette området har vært større tidligere. Målinger av kvikksølv i overflatesedimentene lenger ute i Sørfjorden (SØR 1-3) i 1978 viste høyere konsentrasjoner enn i 1972 (Fig. 5). Årsaken til dette må forklares ut fra sedimenttilveksten. Direkte målinger av tilveksten ved bly-210 dateringer (s. ) på stasjon SØR 3 ga en gjennomsnittlig årlig tilvekst på 2 mm. Det vil si at de øvre 2 cm er avsatt i løpet av 10 år, og at overflatesedimenter (0-2 cm) tatt i 1972 og 1978 representerte henholdsvis periodene 1962 - 1972 og 1968 - 1978. De største utslippene av kvikksølv skjedde etter at svovelsyrefabrikken ble bygd i 1965. I følge Miljøvernkomiteen i Odda (1973) var det ubetydelige utslipp av kvikksølv så lenge man baserte driften ved Norzinc på importert calcine (fram til 1965).

Sediment som ble avsatt i perioden 1962 - 1972 representerer derfor delvis sedimenter avsatt før de store kvikksølvutslippene startet. Sedimenter avsatt i perioden 1968 - 1978 representerer en periode med større utslipp til tross for reduksjonen i 1973. Dette kan derfor forklare at overflatesedimentene i dette området med relativt liten sedimenttilvekst var mere kvikksølvforurenset i 1978 enn i 1972.

Den vertikale fordelingen av kvikksølv i en kjerne tatt på stasjon SØR 3 i 1972 er vist på Fig. 6. I de dypere deler av kjernen (fra 15 cm dyp og nedover) var konsentrasjonene konstante og lave ( $\sim 0.09$  ppm). Dette er sedimenter avsatt før århundreskiftet og før Sørfjorden ble influert av industri. Økningen av kvikksølv i kjernen var merkbar like etter århundreskiftet. Dette behøver ikke indikere lokale kvikksølvtilførsler, men en global kvikksølvforurensning (atmosfærisk nedfall, Skei & Paus, 1979). Den største økningen skjedde i 30-årene og utover, og dette må settes i forbindelse med etableringen av Det Norske Zinkkompani A/S i 1929 (nå Norzinc A/S). Fig. 6 viser at økningen i kvikksølvkonsentrasjonen fortsatte fram til 1972.

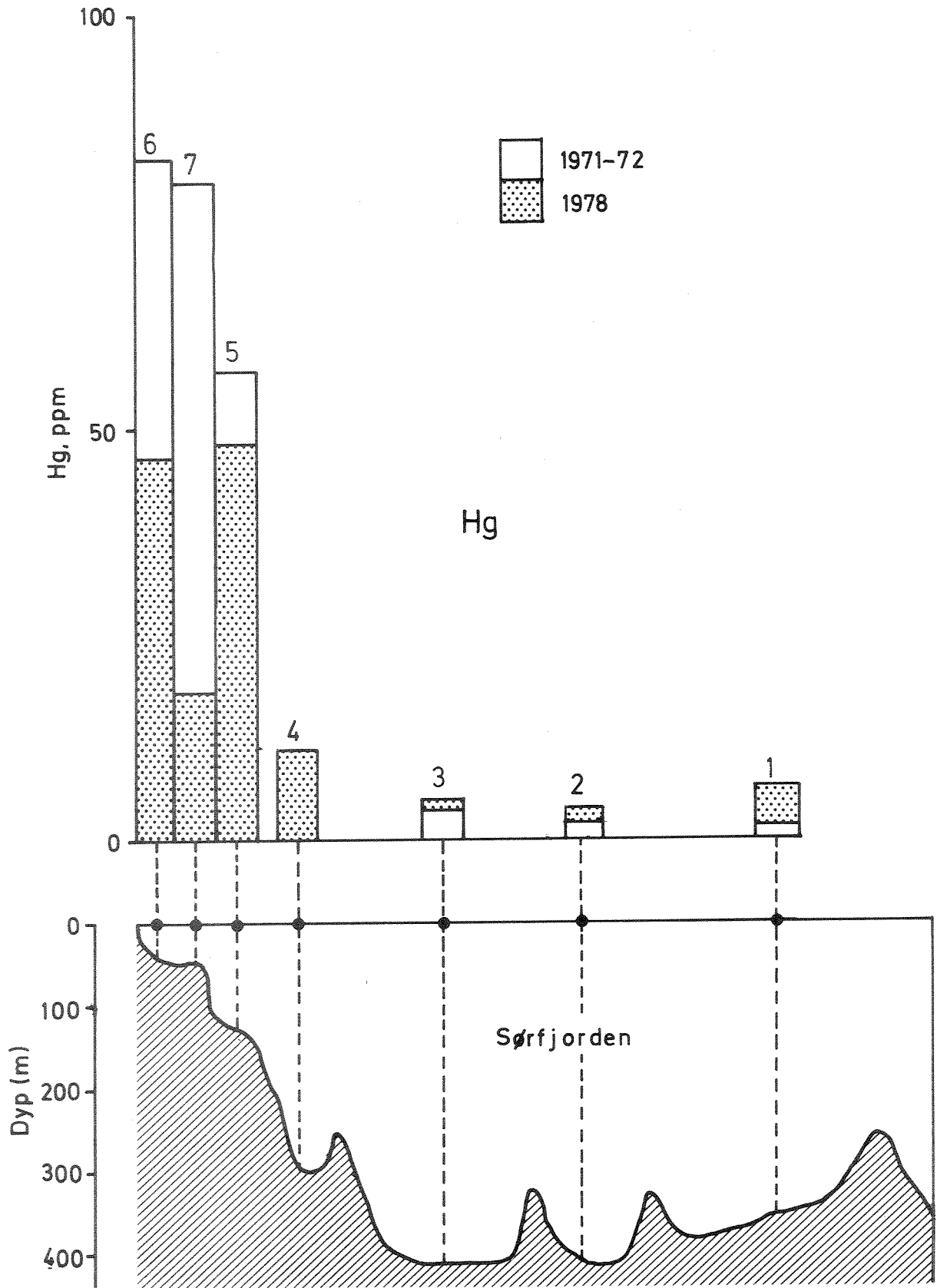


Fig. 5. Kvikksølv i overflatesedimentene i Sjørfjorden i 1971-72 og i 1978 (høyden på de respektive søylene representerer konsentrasjonen målt på de forskjellige tidspunktene). (Normalkonsentrasjon = 0.1 ppm).

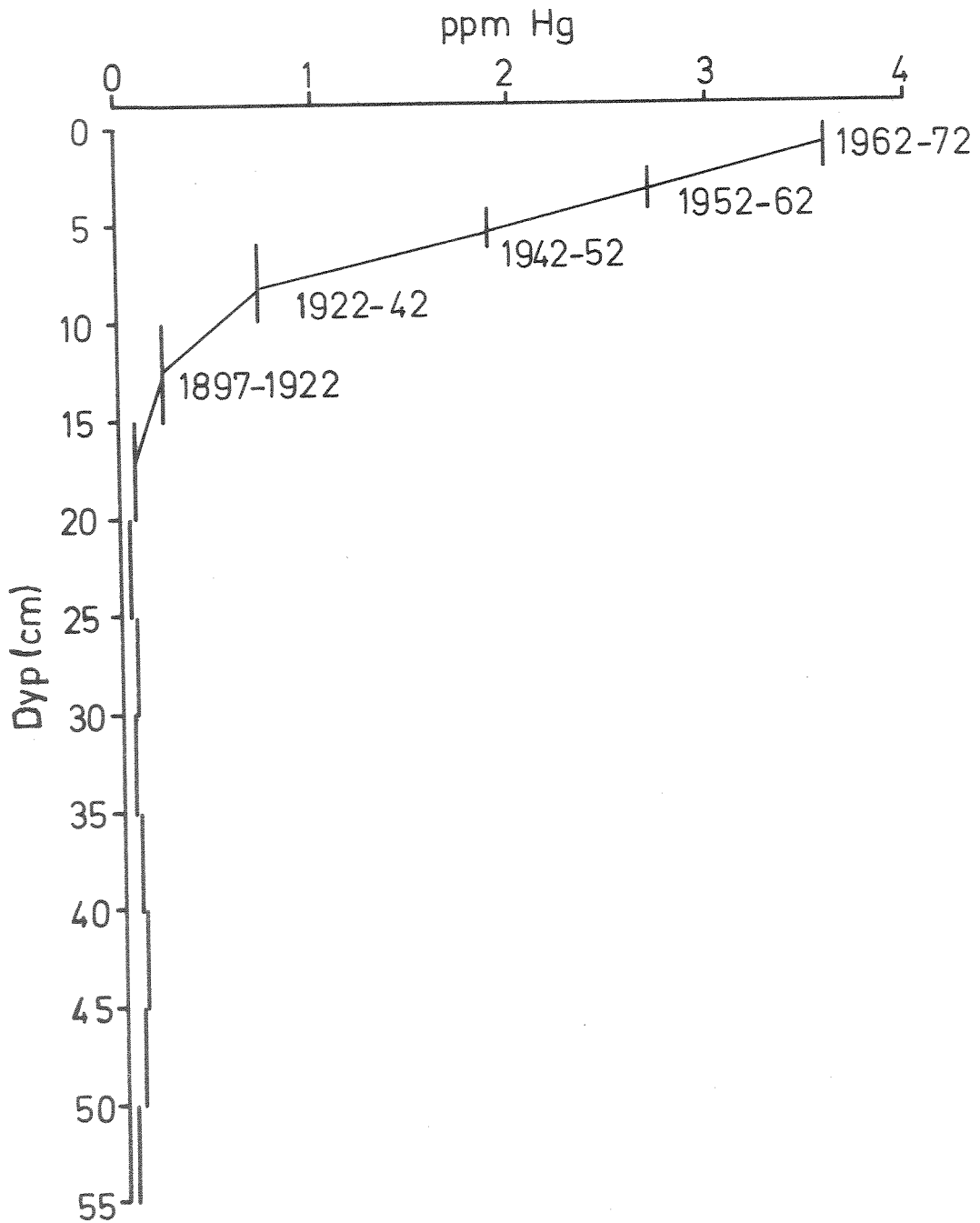


Fig. 6. Vertikal fordeling av kvikksølv i sedimentet på stasjon SØR 3 tatt i 1972.

Når vi kjenner konsentrasjonene av kvikksølv i sedimentene og hastigheten som sedimentene avsettes med, kan vi beregne den årlige mengden kvikksølv som avsettes på bunnen. I dypbassenget i fjorden, hvor sedimenttilveksten ble målt, ble det avsatt  $\sim 7 \text{ mg/m}^2/\text{år}$  i perioden 1973 - 1978 (etter at renseanlegget kom i drift). Av dette utgjør det naturlige bidraget av kvikksølv  $\sim 0.1 \text{ mg/m}^2/\text{år}$  (Skei, 1979).

Hvis vi antar at konsentrasjonsnivået og sedimenttilveksten er omtrent de samme fra Digraneset (Fig. 1) til munningen av Sørfjorden, tilsier dette en årlig avsetning på 340 kg kvikksølv (et areal på  $49 \text{ km}^2$ , tilsvarende fjordens overflateareal innen dette området er brukt). Nå vet vi at hovedtyngden av kvikksølvet ligger sør for Digraneset. Dette arealet er  $8.6 \text{ km}^2$ , og med en gjennomsnittskonsentrasjon på 40 ppm og en antatt minimumstilvekst på 4 mm/år utgjør den årlige tilførselen til sedimentene i dette området 880 kg. Det skulle tilsi en total tilførsel på 1.220 kg kvikksølv til sedimentene pr. år i desiste 5 årene.

Med et antatt utslipp av 3 - 4 kg kvikksølv pr dag (1095 - 1460 kg pr år), ser det ut til at mesteparten av kvikksølvet som slippes ut går til bunn-sedimentene i selve Sørfjorden. Målinger av kvikksølv i vann og biologisk materiale i Hardangerfjorden (Miljøvernkomiteen i Odda, 1973) har stort sett vist lave konsentrasjoner. Dette er også i samsvar med at 97% av total mengde kvikksølv i det akvatiske miljø vil være knyttet til sedimentene, 0.02% i biologisk materiale og det resterende i vann (Kudo et al., 1977).

Mengdemessig er det sink av metallene som spiller størst rolle i miljøet i Sørfjorden. I 1972 var det et utslipp på 6 tonn sink pr dag (Miljøvernkomiteen i Odda, 1973). Utslippene var spesielt store i perioden 1954-68, da lutingsresidue ble sluppet direkte til sjø fra sinksmelteverket. Dette residuet inneholdt 6-8% sink. Fra 1968 fikk man innført jarositt-prosessen og innholdet av sink i teknisk jarositt, som slippes ut på 20 m dyp i Sørfjorden, er 3-5% (Dyvik, 1977). Fra 1975-1976 er utslippene av løst sink i spillvann og discardsyre redusert, mens utslippene av sink i jarositt ikke har avtatt (60% av total utslipp av sink i jarositt).

Sammenligningen mellom konsentrasjonene av sink i overflatesedimenter i 1972 og 1978 er vist på Fig. 7. Både i indre og ytre fjord hadde konsentrasjonene økt fram til 1978, til tross for reduksjoner i utslipp av sink i spillvann og discardsyre. Forklaringen må være at løst sink i spillvann



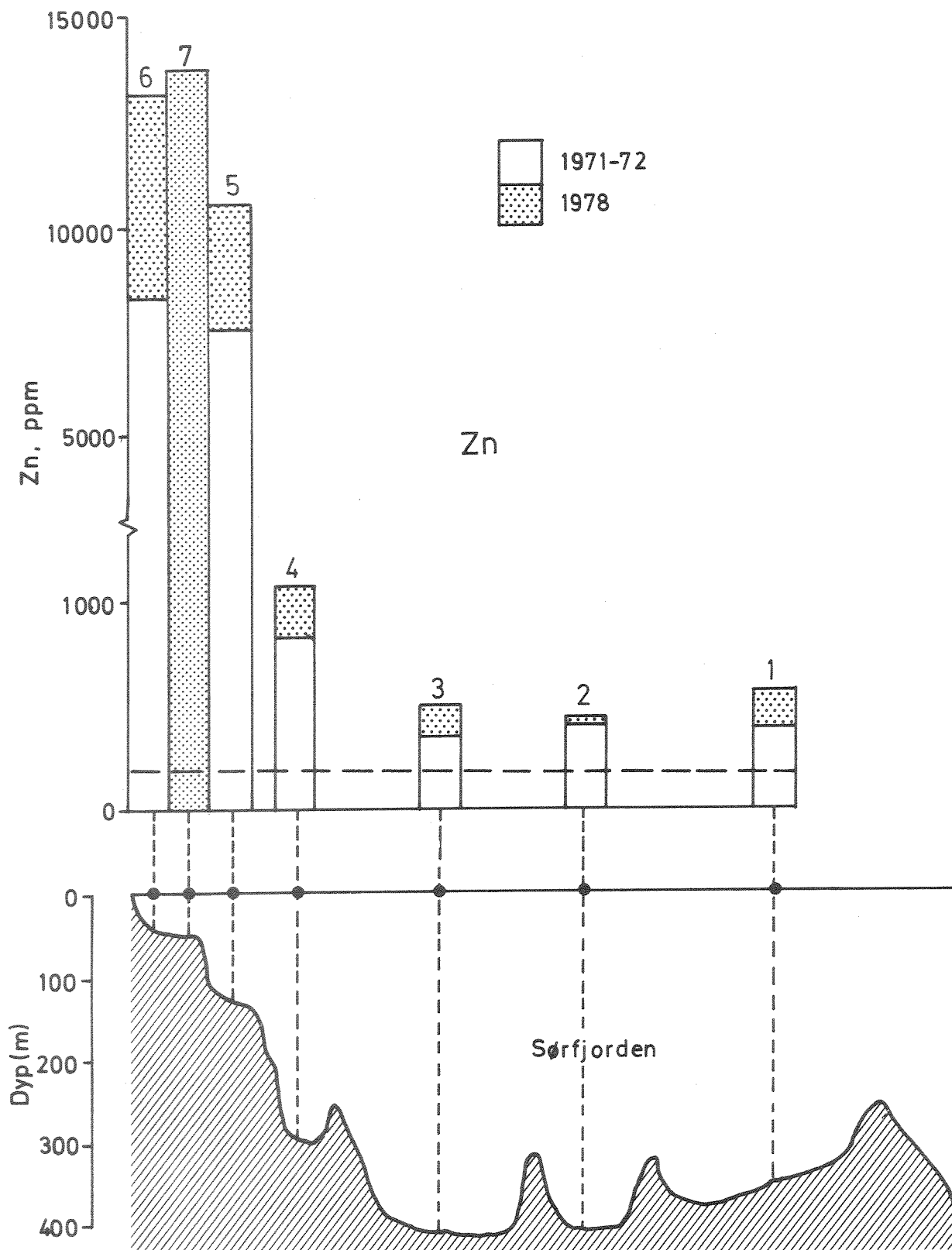


Fig. 7. Sink i overflatesedimenter i Sørfjorden i 1971-72 og i 1978. (Høydene på de respektive søylene representerer konsentrasjonen målt ved de forskjellige tidspunktene. På stasjon 7 ble det ikke gjort målinger i 1971-72). (Stiplet linje angir normal-konsentrasjonen, 150 ppm).

og discardsyre også forble i løst form i resipienten og at sink fra disse to kildene i meget liten grad påvirket sedimentene. Dette er også i samsvar med vannanalyser (Melhuus et al., 1979), som viser små endringer i konsentrasjonen av sink i overflatevannet utover fjorden. Sink i jarositt derimot er hovedkilden for sink i sedimentene. Bare  $\sim 20\%$  av sink i jarositt er vannløselig (Dyvik, 1977) og jarosittutslippet forårsaker derfor akkumuleringer av sink i bunnsedimentene. Når konsentrasjonen av sink faktisk har økt i sedimentene i perioden 1972 - 1978, kan det ha sin årsak i at jarosittutslippet har vært noe større enkelte år enn tidligere.

Vertikalfordelingen av sink i en kjerne tatt på stasjon SØR 3 i 1972 er vist på Fig. 8. Den viser på samme måte som kvikksølv en økning like etter århundreskiftet og en kraftig økning i årene etter andre verdenskrig.

Vi kan også på samme måte som for kvikksølv beregne årlige tilførsler til sedimentene. I dypbassenget i Sørfjorden ble det i årene 1973 - 1978 avsatt  $645 \text{ mg/m}^2/\text{år}$ . Her må vi imidlertid korrigere for det naturlige bidraget ( $128 \text{ mg/m}^2/\text{år}$ ), slik at tilførslene som skyldes forurensning utgjør  $517 \text{ mg/m}^2/\text{år}$ . Beregnet på samme måte som for kvikksølv tilsier dette en årlig tilførsel på  $\sim 290$  tonn til bunnsedimentene i Sørfjorden. Med et utslipp på 2-3 tonn pr. dag eller 730 - 1095 tonn pr. år er det åpenbart at sink i mye mindre utstrekning enn kvikksølv akkumuleres i sedimentene. Det er også i overensstemmelse med at store deler av sinken slippes ut i løst form og i samsvar med tidligere utførte massebalanseberegninger (Skei, 1975). At en betydelig andel av sinkbelastningen - i motsetning til kvikksølv - føres ut av fjorden, fremgår også av analyser på metallinnholdet i alger (Haug et al., 1974).

Det foreligger svært få målinger av kadmium i sedimentene tatt i 1971-1972. (Skei et al., 1972). I Eitremsvågen og like ved utslippet utenfor sink-smelteverket ble det i 1971 målt henholdsvis 850 og 330 ppm kadmium. I selve havnebassenget ble det i 1978 målt 40-50 ppm kadmium i overflate-sedimentene, men konsentrasjonene avtok meget raskt fra Tyssedal og utover (Fig. 9). Omtrent 50% av kadmiumutslippet fra sinksmelteverket var tidligere knyttet til spillvann, og fra 1976 skjedde det derfor en betydelig reduksjon i kadmiumutslippene (Dyvik, 1977). Teknisk jarositt inneholder imidlertid 200 - 500 ppm kadmium, slik at fjorden får fortsatt tilført kadmium.

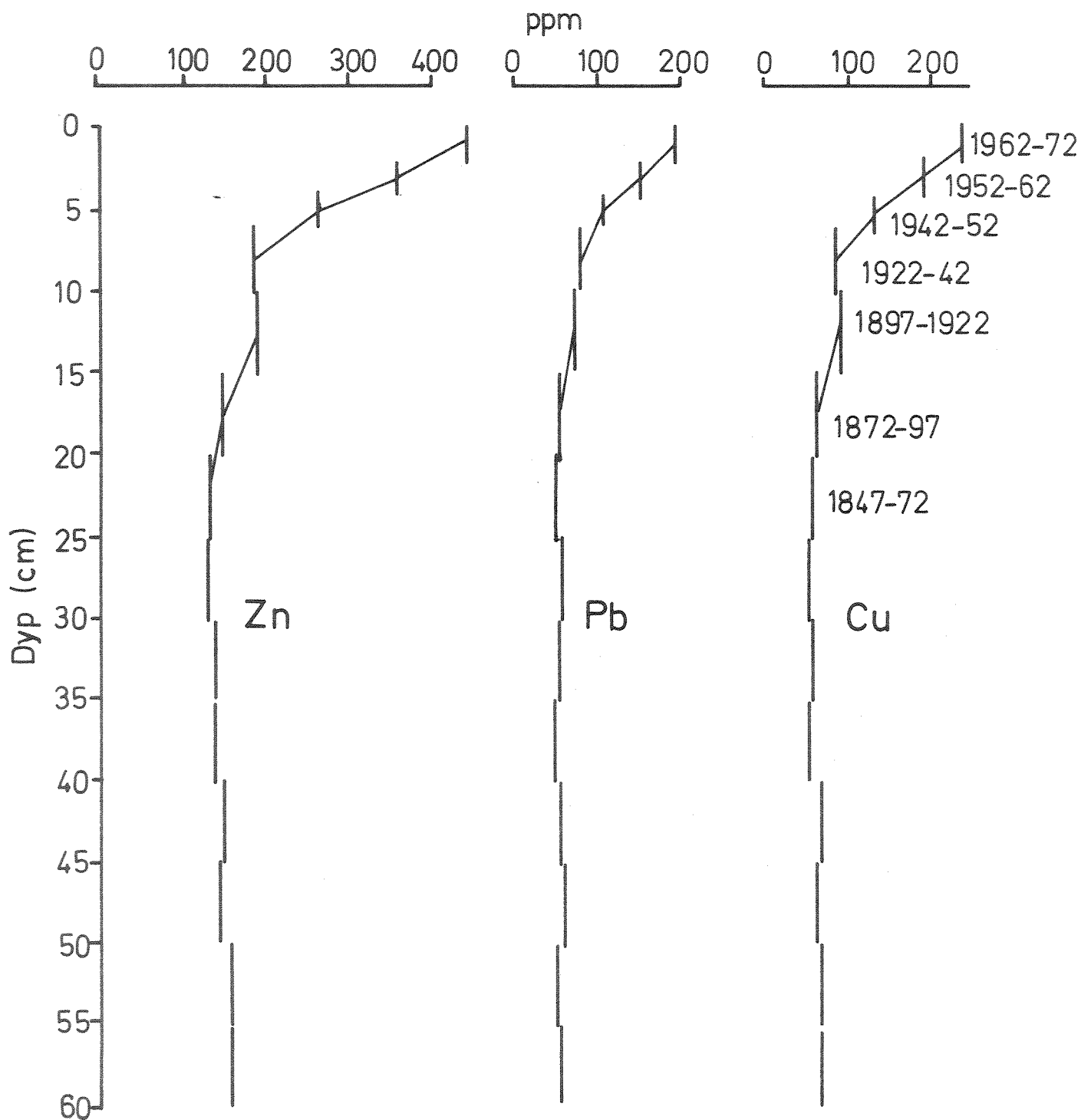


Fig. 8. Vertikal fordeling av sink (Zn), bly og kopper (Cu) i sedimentkjerne fra stasjon SØR 3, tatt i 1972.

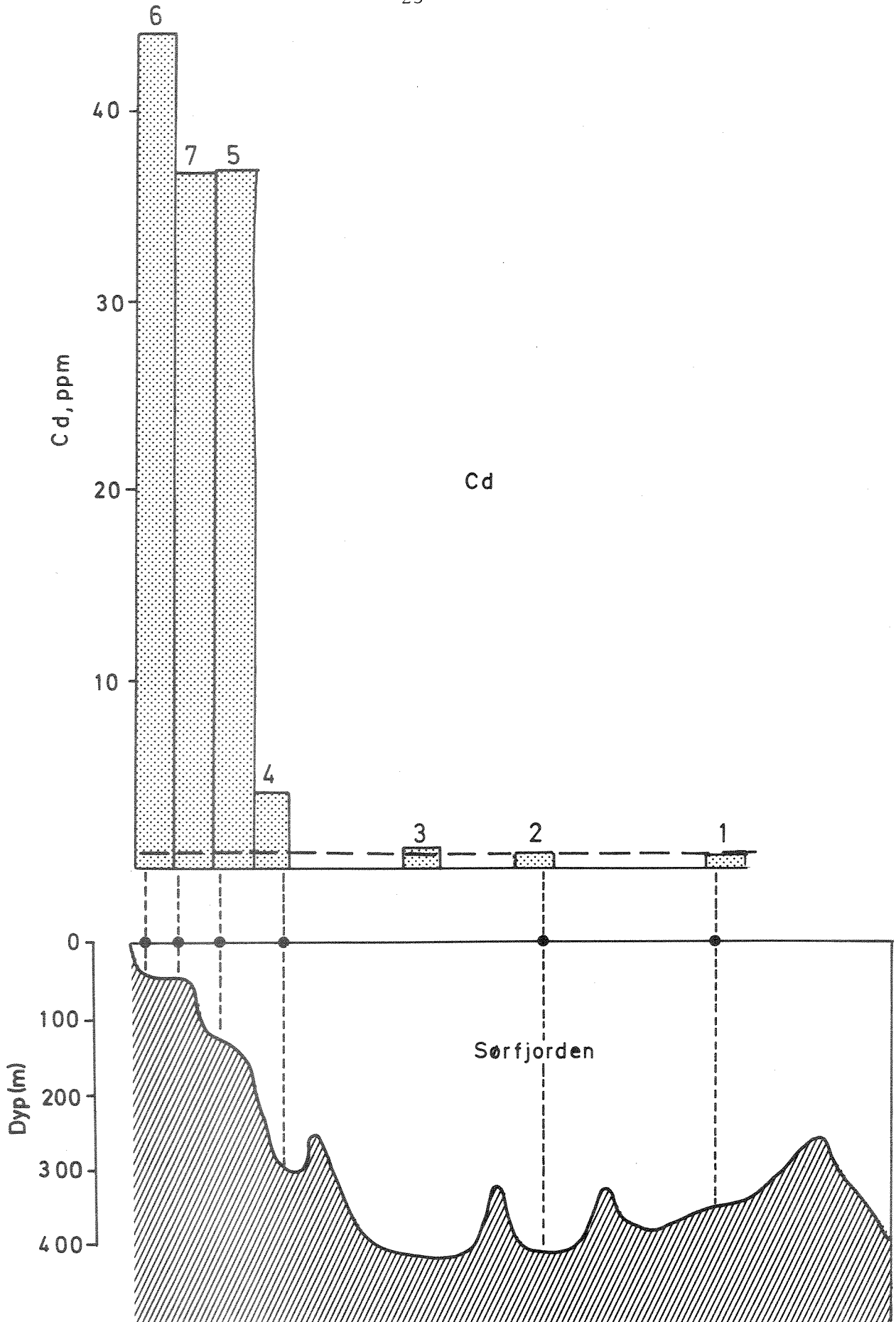


Fig. 9. Kadmium i overflatesedimenter i Sørfjorden, april 1978.  
(Stiplet linje angir normalkonsentrasjonen, 0.6 ppm).

Bly er også ett av de metallene som opptrer i meget store mengder i Sør fjorden, som følge av at jarositt inneholder 1-3% bly (Dyvik, 1977).

Utslippene fra bedriften i årene 1964 - 1967 inneholdt 12-15% bly (Miljøvernkomitéen i Odda, 1973). Det ble således målt høyere konsentrasjoner 4-6 cm nede i sedimentet i havnebassenget enn i overflaten (3.4% bly ved 4-6 cm dyp, - Tabell 2).

Hvis vi sammenligner overflatesedimentene i 1972 og 1978 og deres blyinnhold (Fig. 10), er det klart at konsentrasjonene har økt, på samme måte som for sink. Nesten 100% av all bly som slippes ut er knyttet til jarositt, og økningen må derfor skyldes at utslippene av jarositt faktisk har økt de siste årene. Det er ellers verdt å merke seg den kraftige økningen i blyforurensning fra Digraneset og innover til Odda (Fig. 10).

Vertikalt i sedimentet er det også store bly-gradienter (Fig. 8), spesielt etter andre verdenskrig, som for sink.

Den årlige mengden av bly som ble avsatt i sedimentene i dypbassenget i fjorden er beregnet til  $463 \text{ mg/m}^2$ . Med et naturlig bidrag på  $26 \text{ mg/m}^2/\text{år}$ , tilsvarende dette en "forurensningsbelastning" av bly på  $437 \text{ mg/m}^2/\text{år}$ . Ut fra samme beregningsgrunnlag som for kvikksølv og sink gir dette en årlig avsetning på  $\sim 240$  tonn bly i sedimentene i Sør fjorden. Med et utslipp på 1-2 tonn pr dag eller 365 - 730 tonn pr år, er det klart at en betydelig del av bly-mengden forholder seg løst og ikke blir en del av bunn-sedimentet. Dette stemmer også med vannanalyser som ble gjort i begynnelsen av 70-årene, som viste svært høye konsentrasjoner av løst bly (Skei, 1975). Løsligheten av bly-sulfat ( $\text{PbSO}_4$ ) er forøvrig nokså høy i sjøvann, pga. dannelsen av klorkomplekser.

Det siste metallet som er behandlet i denne rapporten er kopper. Dette metallet spiller en noe mer beskjeden rolle enn de øvrige som er behandlet her. Ca 90% av kopper som ble sluppet ut fra sinksmelteverket var knyttet til jarositt, mens de øvrige 10% opptrådte i spillvann. Etersom spillvannet er tatt hånd om (1976), er det kun kopper i jarositt som er av noen betydning (0.2 - 0.5% Cu).

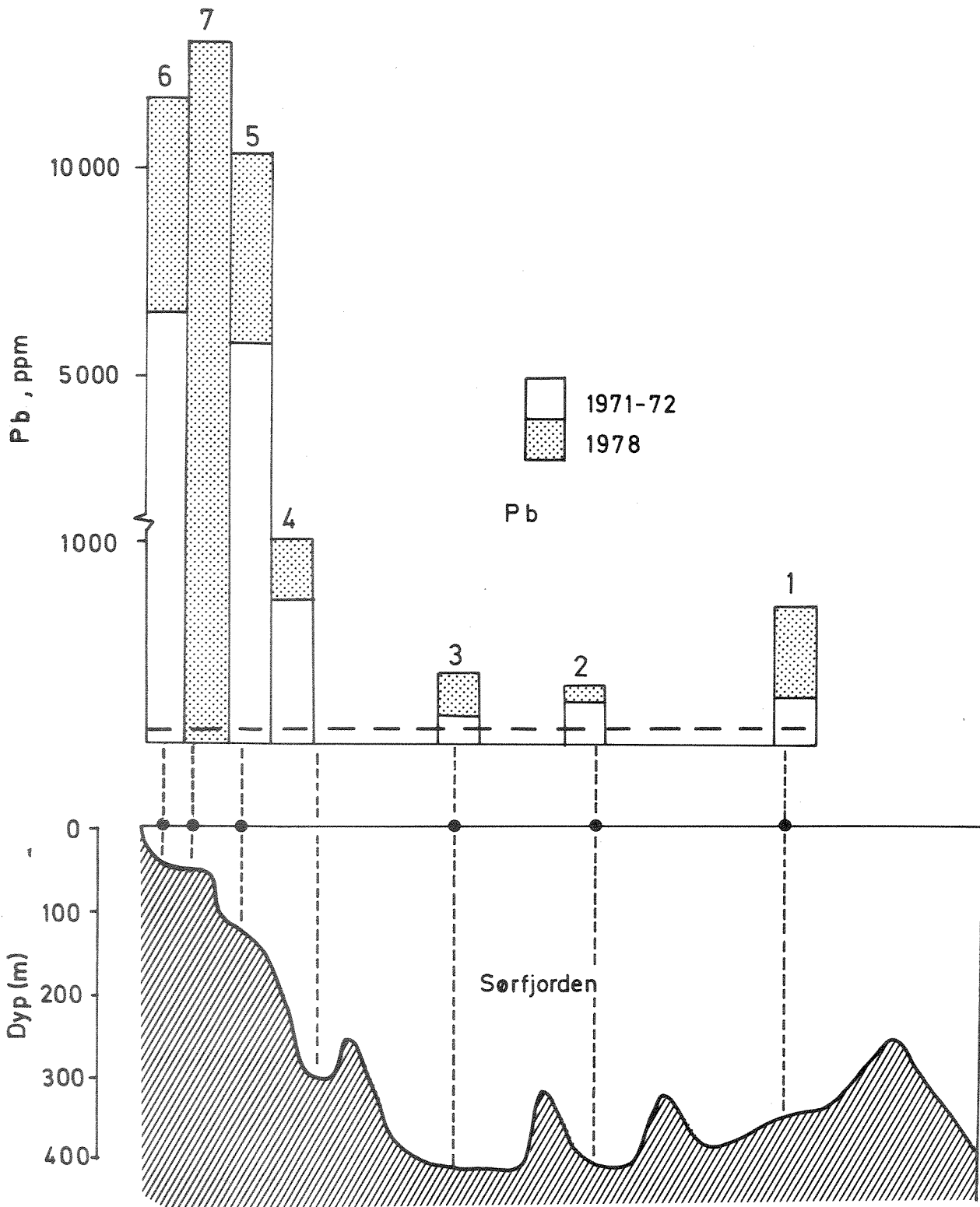


Fig. 10. Bly i overflatesedimenter i Sørfjorden i 1971-72 og i 1978 (høyden på de respektive søylene representerer konsentrasjonen målt ved de forskjellige tidspunktene. På stasjon 7 ble det ikke gjort målinger i 1971-72). (Stiplet linje angir normalkonsentrasjonen, 60 ppm).

Den geografiske fordelingen vist på Fig. 11, viser at kopperkonsentrasjonene i overflatesedimentene i indre deler av fjorden har avtatt noe, mens de har økt ytterst i fjorden fra 1972 - 1978. Forskjellene er ikke store, men resultatene kan tyde på at utslippene av kopper har avtatt noe og at forskjellene mellom ytre og indre fjord skyldes forskjeller i sedimenttilvekst.

De beregningene som er gjort ovenfor omfatter tilførsler eller fluks av metaller til sedimentene i Sørfjorden. På grunn av de usedvanlig høye konsentrasjonene av metaller i sedimentene er det også grunn til å forvente en fluks fra sedimentene til vannmassen. Denne sekundære tilførselen av metaller til vannmassen vil bli av større betydning dersom de primære tilførselene av metaller fra industrien reduseres.

Undersøkelser utført av Statens Naturvårdsverk (Edgren & Notter, 1979) i Skelleftebukten ved Rönnskärsverket (smelteverk), viser en betydelig frigivelse av metaller fra sedimentene. Laboratorieforsøk på sedimenter som inneholdt gjennomsnittlig 2600 ppm Pb, 1300 ppm Cu, 1250 ppm Zn og 7 ppm Cd ble utført for å studere utløsningshastigheten av metaller. Disse forsøkene viste en frigivelse av:

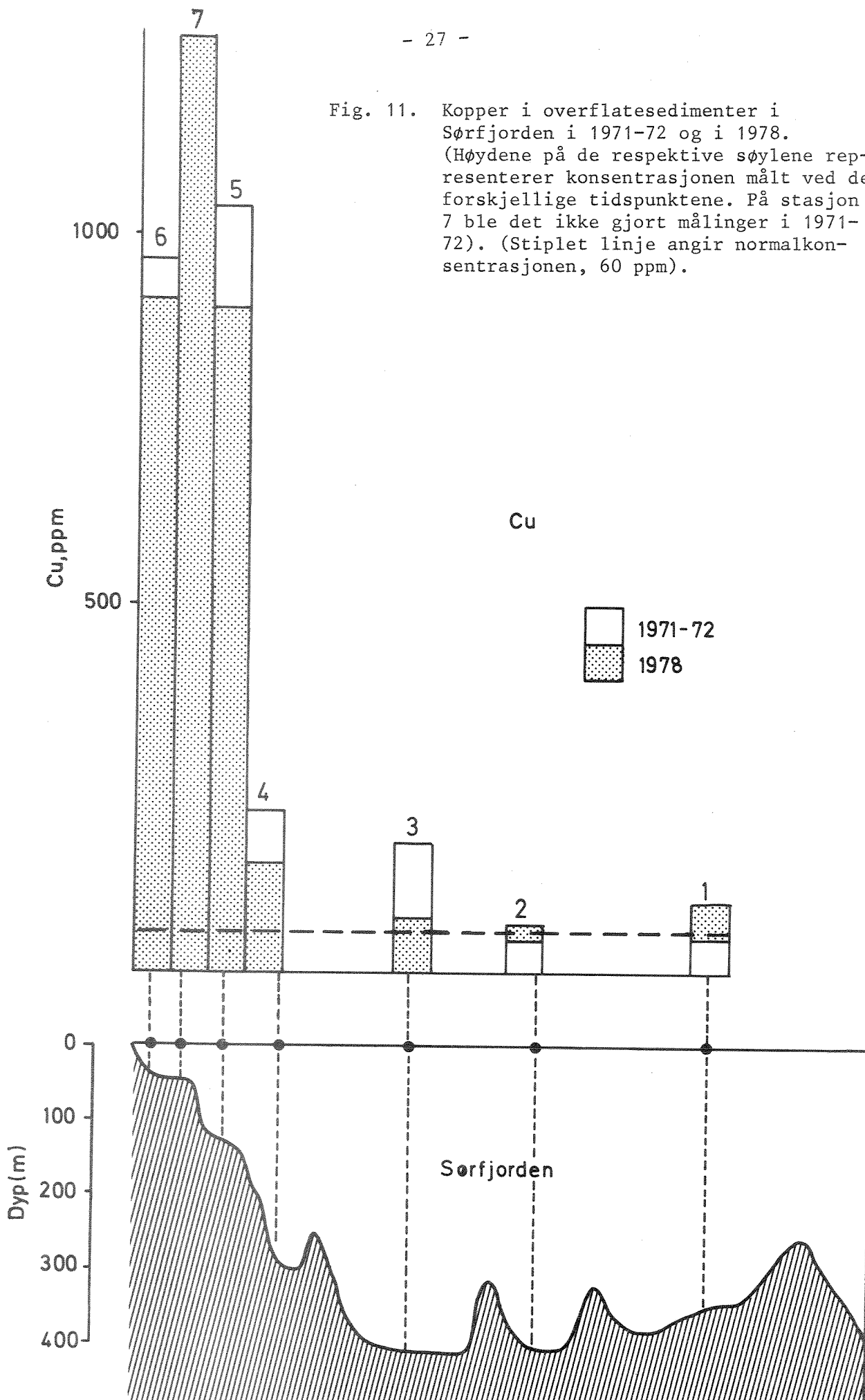
Pb: 95 kg/km<sup>2</sup>/år  
Cu: 100 kg/km<sup>2</sup>/år  
Zn: 1045 - " -  
Cd: 6 - " -

Selv om konsentrasjonene sør for Digraneset i Sørfjorden er betydelig høyere enn i Skelleftebukten kan vi likevel sammenligne for å få et minimumsanslag på hva sedimentene fra Odda til Digraneset (8.6 km<sup>2</sup>) kan forventes å bidra med:

Pb: 810 kg/år  
Cu: 860 - " -  
Zn: 9000 - " -  
Cd: 50 - " -

Disse mengdene er små i forhold til dagens utslipp til Sørfjorden, selv om man tar i betraktning at kun 1/5 av fjordens bunnareal er vurdert. Ved ytterligere reduksjon i utslippene i fremtiden, kan imidlertid sedimentene bety noe som bidragsyter.

Fig. 11. Kopper i overflatesedimenter i Sjørfjorden i 1971-72 og i 1978. (Høyden på de respektive søylene representerer konsentrasjonen målt ved de forskjellige tidspunktene. På stasjon 7 ble det ikke gjort målinger i 1971-72). (Stiplet linje angir normalkonsentrasjonen, 60 ppm).





#### 4.4 Kvikksølv i vannprøver fra Oddas havnebasseng

Et antall av 6 vannprøver fra overflaten til bunnen ble tatt for å se på eventuell gradient ned mot sedimentflaten. Resultatene er illustrert på Fig. 12. I de øvre 20 m av vannmassen var kvikksølvkonsentrasjonen konstant og relativt lav (0.08 ppb). Fra 20 m dyp og ned mot bunnen derimot, økte konsentrasjonene til det doble (Fig. 12). Det underliggende sediment hadde en kvikksølvkonsentrasjon i overflaten på 46 ppm. Det bør påpekes at vannprøvene ikke var filtrert og at det ikke med sikkerhet kan sies at kvikksølvet i bunnvannet er løst. Men det er likevel tegn på at det skjer en viss transport av kvikksølv fra de sterkt forurensede sedimentene til vannmassen over.

#### 4.5 Kvikksølv i plankton

Det ble tatt 4 planktonprøver i området fra Lofthus til Digraneset til kvikksølvanalyser for å sammenligne med resultater fra 1972 (Skei et al., 1976). Denne sammenligningen er skjematisk framstilt på Fig. 13.

Det ble påvist en klar nedgang i kvikksølvkonsentrasjoner fra 1972, men selv i 1978 er det en svak økning innover fjorden. Dessuten var kvikksølvnivået i plankton (1.5-4.1 ppm) i 1978 fortsatt høyere enn normalt, selv om det har gått ned.

Det er her ikke tatt hensyn til forskjellige planktonarters evne til å ta opp kvikksølv, men prøvene er tatt på samme måte og samme årstid som i 1972.

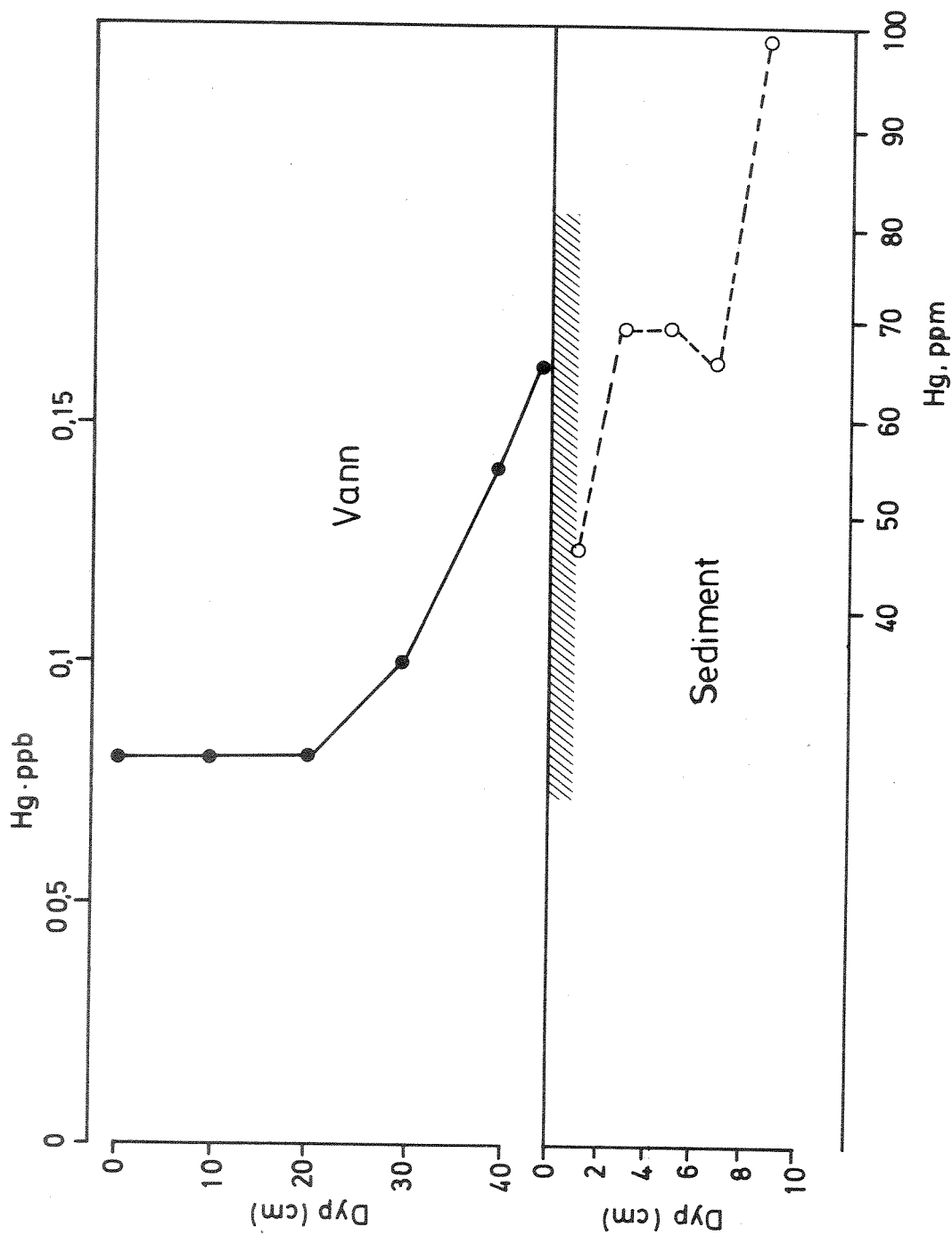


Fig. 12. Vertikal fordeling av total kvikksølv i vannprøver og sedimenter fra samme stasjon (SØR 6), april 1978 (Skravert felt indikerer overgang fra vann til sediment).

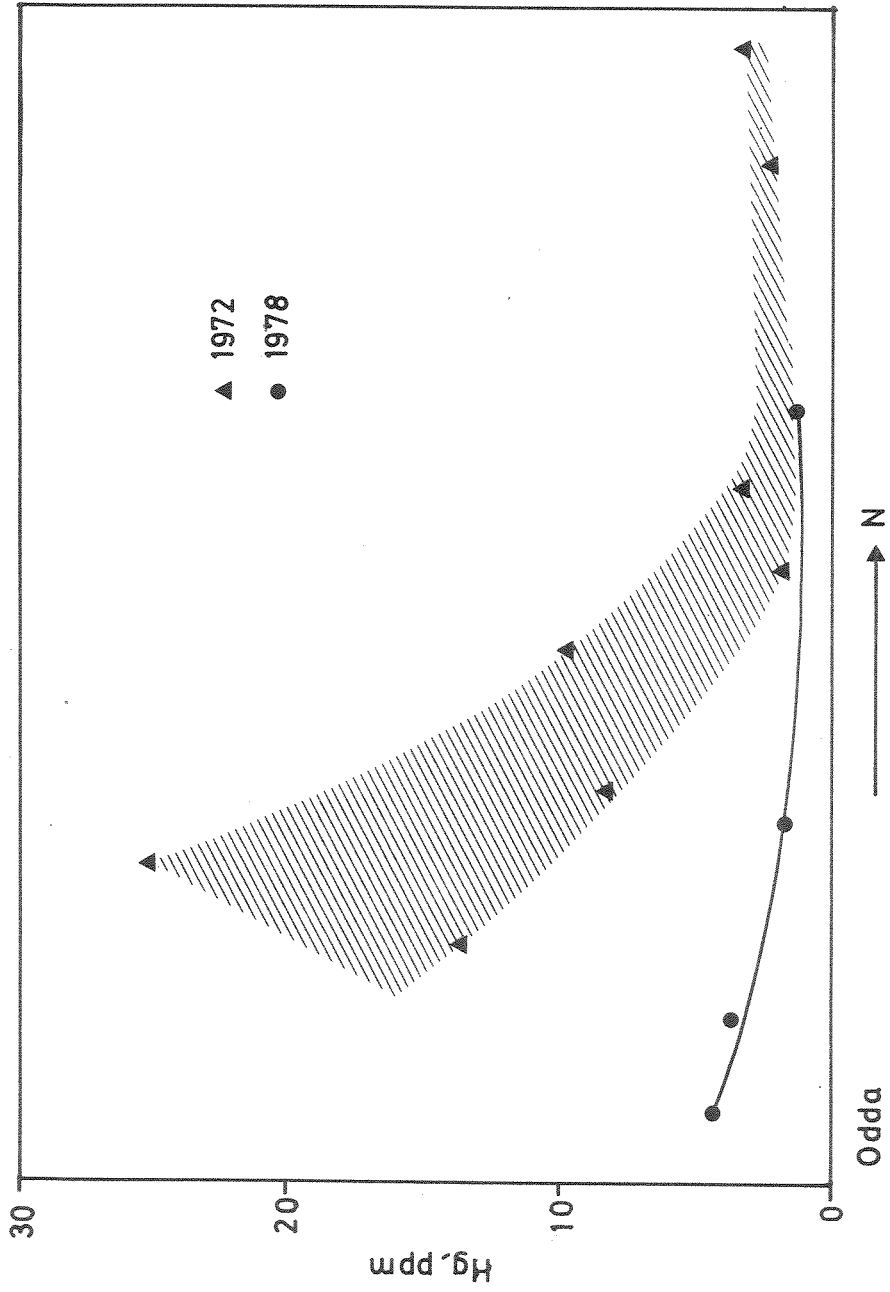


Fig. 13. Innhold av kvikksølv i plankton tatt i 1972 og 1978 i økende avstand fra Odda. (Skravert felt indikerer variasjonsbredden i 1972).

5. REFERANSER

- Dyvik, F. (1977). Utslipp av tungmetaller fra Norzinc A.S. Miljøverntiltak for utslippsbegrensning.  
Foredrag ved Sentralinstitutt for Industriell Forskning, 2. Symposium i Miljøkjemi, Kongsberg 11-13. desember 1977.
- Edgren, M. & Notter, M. (1979).  
Flødet av metaller frå kontaminerte botten i Skelleftebukten. Statens Naturvårdsverk, 1081, 15 s. + tabeller + figurer.
- Haug, A., S. Melsom & S. Omang (1974).  
Estimation of heavy metal pollution in two Norwegian fjord areas by analysis of the brown algae *Ascophyllum nodosum*.  
Environ. Poll., 7, 179 - 192.
- Havre, G.N., B. Underdahl & C. Trosdahl (1973)  
Analyse av elementene kvikksølv, kadmium, bly og sink i marint animalsk materiale fra Sørfjorden i Hardanger.  
I Miljøvernkomiteén i Odda, Resipientundersøkelse i Sørfjorden 1972, 14 s.
- Koide, M., K.V. Bruland & E.D. Goldberg (1973).  
Th-228/Th-232 and Pb-210 geochronologies in marine and lake sediments.  
Geochim. Cosmochim. Acta, 37, 1171-1187.
- Kudo, A, H. Akagi, D.C. Mortimer & D.R. Miller (1977).  
Equilibrium concentrations of methylmercury in Ottawa River sediments.  
Nature, 210, 419-420.
- Melhuus, A, K.L.Seip & H.M.Seip (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.
- Melhuus, A, P.Paus & H.M.Seip, (1979).  
Concentrations of zinc, cadmium, copper and lead in Sørfjorden, Norway. Vatten, 2, 89-95.
- Miljøvernkomiteén i Odda (1973).  
Resipientundersøkelser i Sørfjorden 1972.  
Ed. Eigil Sigvartsen.
- Niemistö, H. (1974).  
A gravity corer for studies of soft sediments.  
Havforskningsinst. Skr. Helsinki, 238, 33-38.
- NIVA (1977).  
Sedimentundersøkelse i Bekkelagsbassenget. Januar 1977. 0-34/76.  
Saksbeh.: J. Skei. Stensilert 45 s.
- SINTEF (1979).  
Materialstrømanalyse for kvikksølv. Forprosjekt. Rapport for Statens Forurensningstilsyn.  
Saksbearb.: R. Romslo og T. Syversen, 49 s.

- Skei, J.M., N.B. Price, S.E. Calvert & H. Holtedahl (1972)  
The distribution of heavy metals in sediments of Sør fjord, West Norway.  
Water, Air & Soil Poll., 1, 452-461.
- Skei, J.M., N.B. Price & S.E. Calvert (1973)  
Particulate metals in waters of Sør fjord, West Norway.  
Ambio, 2, 122-124.
- Skei, J.M. (1975)  
The marine chemistry of Sør fjorden, West Norway.  
Unpubl. Ph.D. thesis, University of Edinburgh, 207 s.
- Skei, J.M., M. Saunders & N.B. Price (1976)  
Mercury in plankton from a polluted Norwegian fjord.  
Mar. Poll., 7, 34-36.
- Skei, J.M. & P.E. Paus (1979)  
Surface metal enrichment and partitioning of metals in a dated sediment core from a Norwegian fjord.  
Geochim. Cosmochim. Acta, 43, 239-246.
- Skei, J.M. (1979)  
Eksempel på bruk av sedimenter i overvåking av norske fjorder.  
Det Femtonde Nordiska Symposiet om Vattenforskning "Övervakning av vattenområden", Ellivuori, Finland, 24-26.4.1979, in press.