

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

Oslo

0-8000312

OVERVÅKING AV FORURENSNINGER I GREN-
LANDSFJORDENE OG NEDRE DEL AV SKIENS-
ELVA 1980.

Delrapport 3

SEDIMENTER

22. oktober 1981

Saksbehandler: Cand. real. Brage Rygg

Forfatter: Jens Skei, Ph. D.

For administrasjonen: J. E. Samdal

Lars N. Overrein

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:
0-80003-12

Undernummer:
III

Løpenummer:
1329

Begrenset distribusjon:

Rapportens tittel: OVERVÅKING AV FORURENSNINGER I GRENLANDSFJORDENE OG NEDRE DEL AV SKIENSELVA 1980. Delrapport 3. SEDIMENTER	Dato: 21. oktober 1981
	Prosjektnummer: 8000312
Forfatter(e): Jens Skei, Ph.D.	Faggruppe: Fjordseksjonen
	Geografisk område: Telemark
	Antall sider (inkl. bilag): 30

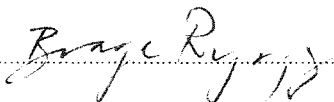
Oppdragsgiver: Fylkesmannen i Telemark og Statens forurensningstilsyn (Statlig program for overvåking av forurensninger)	Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.):
--	----------------------------------

Ekstrakt:
I 1980 var det 5 år siden forrige sedimentundersøkelse ble utført i Frierfjordområdet. Sedimentprøver fra 8 stasjoner ble innsamlet og analysert for vanninnhold, organisk materiale, kvikksølv, sink, jern, kopper, mangan, kadmium, bly, PAH og klorerte forbindelser. Sedimentenes innhold av metaller har endret seg lite siden 1975. I selve Frierfjorden avsettes 30-50 kg kvikksølv årlig på bunnen. Innholdet av klorerte organiske forbindelser er fortsatt høyt, tross utslippsreduksjoner. PAH-forurensningen ser ut til å ha avtatt de senere år.

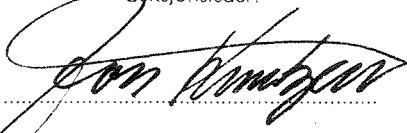
4 emneord, norske:
1. Overvåking
2. Grenlandsområdet
3. Sedimenter
4. Metaller
5. Organiske miljøgifter

4 emneord, engelske:
1. Monitoring
2. Grenland fjords
3. Sediments
4. Metals
5. Organic pollutants

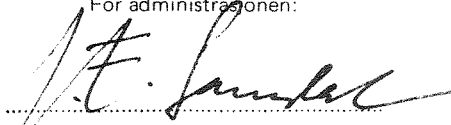

Prosjektleder:



Seksjonsleder:



For administrasjonen:

ISBN 82-577-0432-6

Forord

Overvåkingen av forurensninger i Grenlandsfjordene og nedre del av Skienselva er i første omgang lagt opp som en 10 års undersøkelse (1977-1986). Oppdragsgivere er SFT/Statlig program for forurensningsovervåkning og Fylkesmannen i Telemark.

Flere institusjoner deltar i overvåkingsarbeidet. Fra og med 1980 ble det en økt innsats fra det fylkeskommunale analyselaboratoriet ved prøveinnsamling og vannanalyser.

Kontaktutvalget for fjordundersøkelser i Grenland samordner overvåkingen. Utvalget er nedsatt av fylkesmannen i Telemark, og består av representanter for fylke og fylkeskommune, Statens forurensningstilsyn, helse- og veterinærmyndigheter, Fiskeridirektoratet, industrien og NIVA.

Rapporteringen av resultatene av overvåkingen i Grenlandsfjordene og Skienselva i 1980 skjer i form av delrapporter, hvorav tidligere fremlagte rapporter omfatter:

Rapport nr. 1. Miljøgifter i organismer.

Rapport nr. 2. Vannutskiftning og vannkvalitet.

Den foreliggende rapport gir en presentasjon av resultatene fra sedimentundersøkelsen høsten 1980. Det er lagt vekt på å jevnføre resultatene med resultater fra undersøkelsen i 1975.

Oslo, 2. oktober 1981



Jens Skei

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

	Side:
FORORD	2
1. INNLEDNING	5
2. FELTARBEID OG METODER	7
3. RESULTATER OG DISKUSJON	9
3.1 Sedimentbeskrivelse	9
3.2 Vanninnhold	15
3.3 Organisk materiale	15
3.4 Kvikksølv	15
3.5 Kopper, sink, bly og kadmium	23
3.6 Jern og mangan	25
3.7 Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH)	26
3.8 Klorerte hydrokarboner og klorerte bifenyler	26
4. SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER	28
5. LITTERATUR	30

TABELLFORTEGNELSE:

Side:

Tabell 1.	Visuell beskrivelse av sedimentkjerner fra Grenlandsfjordene - september 1980	9
2.	Resultater fra analyser av vanninnhold, organisk materiale og metaller i sedimenter tatt i Frierfjord-området, september 1980 (saltkorrigert, tørt sediment)	11
3.	Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) i sedimenter fra Frierfjord-området (saltkorrigert, tørt sediment)	12
4.	Klorerte hydrokarboner og klorerte bifenyler i sedimentprøver fra Frierfjord-området (saltkorrigert, tørt sediment)	14
5.	Innhold av metaller og organisk materiale i en uforurenset anoksisk fjord (Bygdevågen i Sogn) og en uforurenset oksisk fjord (Amblabukta i Sogn). Resultatet i ppm tørrvekt, bortsett fra Fe og organisk materiale, som er oppgitt i prosent. Resultatene omfatter de øvre 10 cm av sedimentene	24

FIGURFORTEGNELSE:

Fig. 1.	Sedimentstasjoner i Frierfjord-området - september 1980	8
2.	Sedimentenes vanninnhold på stasjon F4 og F5 (stiplet linje markerer overgang mellom muddermasse og naturlig sediment)	16
3.	Sedimentenes innhold av organisk materiale på St. F4 og F5 ..	17
4.	Sedimentenes innhold av kvikksølv på St. F4 og F5	21
5.	Årsmidler av utslipp til Skienselva og Frierfjorden For organisk stoff er befolkningens bidrag angitt med mørk skravur. For kvikksølv er en tilførsel på ca. 100 kg/år fra Gunnekleivfjorden angitt med mørk skravur.....	22

1. INNLEDNING

Bruk av sedimenter i tilknytning til resipientundersøkelser og overvåking av vannressurser har tiltatt de senere år. Dette skyldes at slike undersøkelser viser seg å være nyttige ved (1) kartlegging av forurenset bunn, (2) oppsporing av forurensningskilder, (3) overvåking av effekter av nye utslipp eller iverksatte rens tiltak og (4) ved studier av langsiktige endringer (historisk utvikling). Spesielt velegnet er sedimenter i fjorder med oksygenmangel hvor sedimentene ikke er forstyrret av bunnfauna. Dette er tilfelle i Frierfjorden hvor sedimenter under 40 m dyp i lange perioder er anoksiske ("råtne").

I 1975 ble det utført en større sedimentundersøkelse hvor sedimenter fra 22 lokaliteter i Grenlandsområdet ble innsamlet (NIVA, 1976). Dette ble supplert med prøvetaking i Volls fjorden i 1976 og 1978 (NIVA, 1979, 1980) og i Gunnekleivfjorden i 1976 (Skei, 1978). Generelt viste resultatene høye konsentrasjoner av kvikksølv, kadmium, sink og bly. Det ble dessuten påvist høye konsentrasjoner av polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) og klorerte hydrokarboner (HCB, OCS etc.) (NIVA, 1979, 1980).

Videre viste undersøkelsen at dumping av silt i Frierfjordbassenget i 1974-75 (ca. 600 000 m³ silt/leire) førte til en reduksjon i innhold av forurensede stoffer i de øvre 5-10 cm av sedimentene i selve bassenget. I tillegg til denne dumping ble det våren 1976 og 1977 mudret henholdsvis 14 000 m³ og 3 000 m³ utenfor kaiene på Herøya. De sterkt forurensede massene ble dumpet midt i Frierfjord-bassenget. Aldersdatering av en sedimentkjerne fra dypbassenget antydte en gjennomsnittlig "naturlig" sedimenttilvekst på 2 mm/år. Anoksiske (råtne) sedimenter har vært avsatt i Frierfjorden siden 1850 - 1870, trolig på grunn av etablering av treforedlingsbedrifter og økt organisk belastning på fjorden. Den største belastningen med kvikksølv inntraff etter 1950, som et resultat av utslipp fra treforedlingsindustrien og fra klor-alkali-bedriften på Herøya.

For å vurdere eventuelle endringer i forurensningen av bunnen i undersøkelsesområdet ble det besluttet å foreta en ny sedimentundersøkelse etter en 5-årsperiode (1975-80). Det ble antatt at i løpet av 5 år ville det i store deler av området være avsatt minimum 1 cm sediment (dvs. 2 mm/år, se NIVA, 1979). Lokalt må man gå ut fra at sedimenttilveksten har vært betydelig større.

Det kan også være verdt å merke seg at i perioden 1975-80 var det omtrent 2 år sammenhengende med oksygen i bunnvannet og 3 år med hydrogensulfid. Dette kan ha hatt en innvirkning på de kjemiske forholdene i overflate-sedimentene. Under prøvetakingen av sedimenter i 1975 var det ca 0.5 ml/l oksygen i bunnvannet, mens i september 1980 var det hydrogensulfid i vannet.

2. FELTARBEID OG METODER

Ved tokt med "H.H.Gran", 16. september 1980 ble sedimentkjerner fra 8 stasjoner (6 i Frierfjorden, 1 i Eidangerfjorden og 1 i Brevikfjorden, Fig. 1) innsamlet ved hjelp av Niemistö gravity corer. Dette er den samme prøveredskapsen som ble brukt i 1975 (NIVA, 1976). På samme tokt ble parallelle sedimentkjerner innsamlet av student Torgrim Jacobsen i forbindelse med hovedfagstudium ved Geologisk Institutt, Universitetet i Oslo.

Sedimentkjernene ble umiddelbart snittet i 1 cm tykke skiver for analyser av vanninnhold, organisk materiale og metaller og 2 cm skiver for analyser av polysykliske aromatiske hydrokarboner og klorerte forbindelser (nødvendig med 2 cm skiver for å få nok materiale). De organiske miljøgiftene ble kun analysert i prøver fra stasjonene F1, F3, F5 og F8 (Fig. 1).

Vanninnhold i prøvene ble bestemt ved tørking ved 105^oC i 24 timer og organisk materiale ved glødetapsmålinger (550^oC). Metallene ble analysert ved NIVAs laboratorium ved atomabsorpsjon etter trykkoppslutning med kons. salpetersyre. I 1975 ble sedimentene analysert ved Sentralinstituttet for industriell forskning (SI). Eneste forskjell i metodikk var at oppslutningen foregikk ved en kombinasjon av salpetersyre og hydrogenbromid. Parallellanalyser ved SI har senere vist at dette fører til små forskjeller.

Organiske miljøgifter (PAH, PCB, HCB etc.) er analysert ved NIVA i henhold til rutinemetoder. Det har også her vært utført interkalibrering med SI med tilfredsstillende resultat.

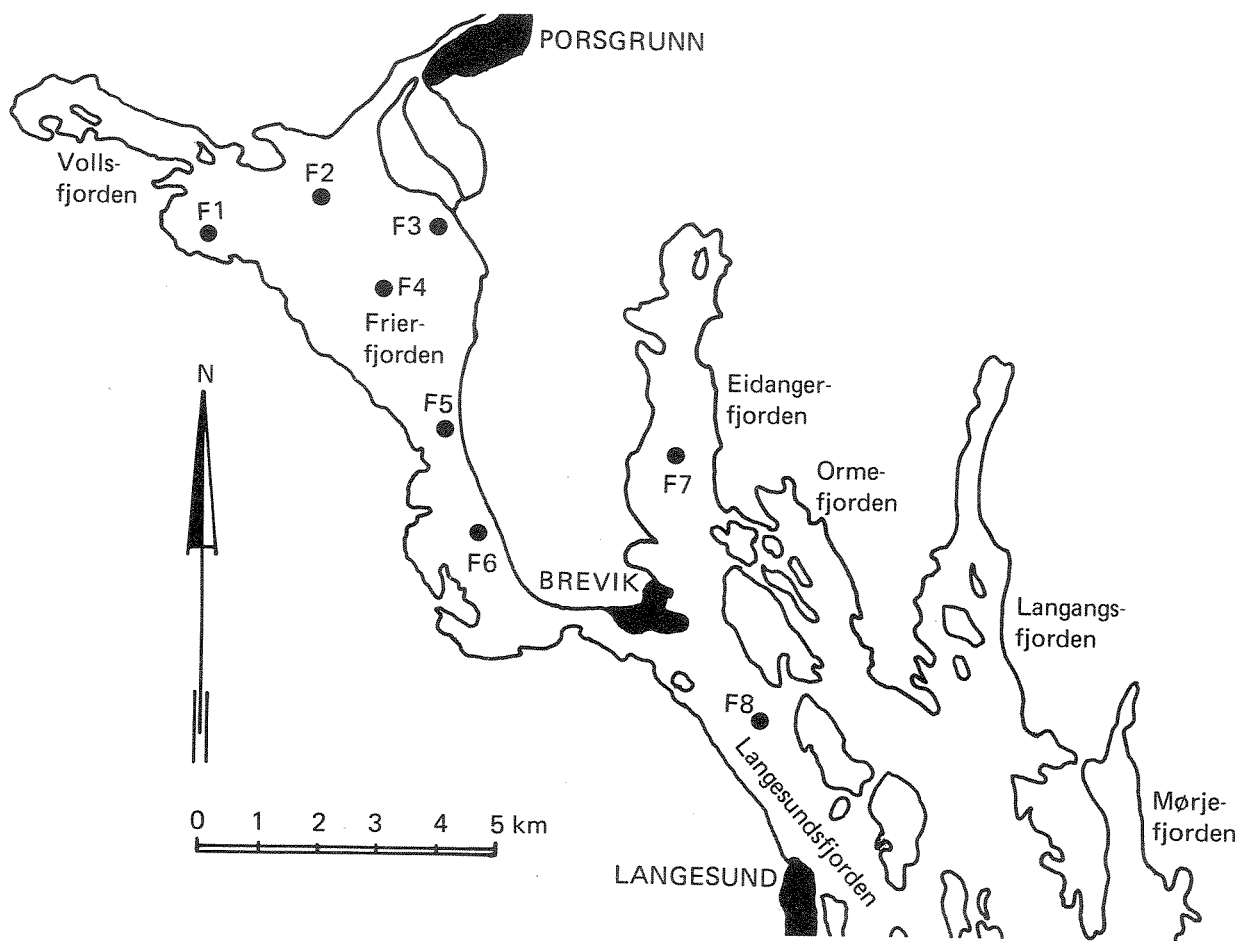


Fig. 1 Sedimentstasjoner i Frierfjord – området, september 1980

3. RESULTATER OG DISKUSJON

Resultatene av målinger av vanninnhold, organisk materiale og metaller er vist i Tabell 2 og organiske miljøgifter i Tabell 3 og 4. På grunn av høyt vanninnhold (> 90%) vil et tørket sediment inneholde betydelige mengder sjøsalt. Disse vil fortynne sedimentprøven og redusere konsentrasjonen av målte komponenter. Resultatene i Tabell 2, 3 og 4 er derfor saltkorrigert. Dette ble ikke gjort i 1975 og resultatene fra den undersøkelsen viser trolig for lave konsentrasjoner i de øvre 1-5 cm av kjernene. Ved et vanninnhold på 93.4% må f.eks. en korreksjonsfaktor på 2.0 innføres, for å korrigere for saltmengden i prøven.

3.1 Sedimentbeskrivelse

En visuell beskrivelse av sedimentkjernene er gitt i Tabell 1.

Tabell 1. Visuell beskrivelse av sedimentkjerner fra Grenlandsfjordene - september 1980.

Stasjon	Vanndyp (m)	Kjernelengde (cm)	Beskrivelse
F1	58	66	Sort, anoksisk fiberholdig sediment (0-20 cm) over lys siltig leire. En del lamine-ring i dypere deler av kjernen (lyse lag ved 25-26 og 36-37 cm dyp). Flislag ved 55 cm.
F2	82	80	Fiberholdig sediment med stor gassansam-ling. Store gasslommer fra 20 cm dyp og nedover (bare gass mellom 37 og 41 cm dyp). Lyst sedimentlag ved 18-20 cm.
F3	24	37	Oksisk sediment med børstemark i overflaten. Overgang til svært lys leire fra 14 cm og nedover.
F4	94	44	Et tynt (1-1.5 cm) sort topplag over lys silt (dumpemateriale fra 1974-75). Ser ut til å være minst 40 cm med dumpemateriale. De øverste 10 cm av dette materialet har skiftet farge fra lys til mørkegrå. Dumpe-materiale inneholder også stein (3x1.5 cm). Overgang til beksort sediment ved ca. 40 cm dyp.

forts.

Tabell 1 forts. ...

Stasjon	Vanndyp (m)	Kjernelengde (cm)	Beskrivelse
F5	97	73	3 cm sort, topplag over grå dumpemasse (3-6 cm) Overgang fra sort sediment til "oksisk" sediment ved 35 cm dyp. Det sorte sedimentet er tydelig varvig (lagdelt).
F6	62	40	Sort, anoksisk sediment med lyse partikler i overflaten (heterotrof vekst?). Overgang til lysere sedimenter ved 10 cm dyp. Skjellrester under 10 cm. Gradvis lysere nedover.
F7	106	36	Oksisk sediment med brunt topplag. Mørk leire under med overgang til lys, fast leire.
F8	105	37	Brun oksyderende overflate. Grå leire under (topplaget var 1-2 cm tykt).

Det som spesielt er verdt å merke seg er identifiseringen av dumpemasse fra 1974-75 i sedimentkjerner fra Frierfjordens dybbasseng (F4 og F5). Her ble det påvist henholdsvis 1 og 3 cm sort, anoksisk sediment avsatt på toppen av dumpemassen. Dette skulle tilsi at sedimenttilveksten på stasjon F4 og F5 er henholdsvis 2 og 6 mm/år i perioden 1975-80. Tidligere aldersdatering av sedimenter fra omtrent samme sted som F4 viste 2 mm/år i sedimenttilvekst og stemmer således overens med registreringen i 1980. Stasjon F5 (Fig. 1) ligger i den sørligste og dypeste del av bassenget, hvor også bassenget er på det smaleste. Her ser det ut til at sedimenttilveksten er betydelig større (6 mm/år). Undersøkelsen i 1975 indikerte også at sedimenttilveksten øker sørover i bassenget ved at tykkelsen av det anoksiske sedimentet var størst lengst sør (NIVA, 1976).

Sedimentene på stasjon F1 og F2 var sterkt fiberholdige, som skyldes avsetning av fiber som transporteres fra treforedlingsindustrien i Skiens-elva og tidligere utslipp fra Bamble Cellulosefabrikk. Overflatestrømmene i dette området er i overensstemmelse med en slik forklaring (NIVA, 1979, s. 44). Sedimentene på denne lokaliteten viser at akkumulasjonshastigheten her er stor og at gass dannes (trolig hydrogensulfid, metan, karbondioksyd).

TABELL 2 Resultater fra analyser av vanninnhold, organisk materiale og metaller i sedimenter tatt i Frierfjord-området, september 1980 (saltkorrigert, tørt sediment).

Stasjon/dyp (cm)	% H ₂ O	Salt korr.	% org.	Hg ppm	Zn ppm	Fe %	Cu ppm	Mn ppm	Cd ppm	Pb ppm	
F1	0-1	93.2	1.9	40.7	6.9	1277	2.5	91	914	4.0	196
	1-2	91.6	1.6	37.0	3.4	531	2.8	100	1133	7.8	258
	2-3	90.3	1.5	32.7	2.8	492	2.3	89	854	8.0	201
	3-4	90.1	1.5	29.3	2.6	537	2.3	83	1151	6.6	245
	4-5	88.3	1.4	25.3	3.0	685	2.7	87	1477	8.8	286
F2	0-1	93.4	2.0	51.2	2.6	822	2.0	84	1244	4.6	228
	1-2	87.3	1.3	48.8	2.5	500	1.9	102	1126	6.4	390
F3	0-1	76.2	1.1	23.4	5.3	482	2.5	75	2495	3.2	317
	1-2	69.6	1.1	21.3	5.8	481	2.2	79	1661	4.3	312
	2-3	64.2	-	18.0	5.5	427	2.1	73	1388	4.2	311
	3-4	59.6	-	13.7	4.5	293	2.0	63	965	2.3	269
	4-5	60.4	-	10.4	4.8	261	2.3	67	706	1.7	313
F4	0-1	90.3	1.5	29.4	3.4	494	2.6	89	43950	5.1	260
	1-2	54.3	-	3.2	0.3	63	0.9	12	1568	0.3	44
	2-3	42.7	-	2.6	0.3	61	0.9	11	1539	0.3	40
	3-4	50.3	-	3.9	0.6	133	1.2	22	576	1.4	45
	4-5	51.9	-	3.5	0.5	114	1.4	22	512	0.8	40
F5	0-1	92.6	1.8	34.0	4.6	529	2.6	78	1390	3.8	214
	1-2	88.4	1.4	30.7	2.8	339	2.2	59	83580	2.9	171
	2-3	84.3	1.2	24.1	2.6	396	2.1	62	58440	3.2	198
	3-4	63.0	-	5.7	1.4	184	1.4	47	2195	1.5	89
	4-5	61.4	-	6.9	1.6	171	2.0	47	844	1.0	108
F6	0-1	82.6	1.2	37.9	4.4	497	3.4	77	7032	5.2	290
	1-2	78.7	1.1	16.9	5.8	554	3.2	79	8690	6.9	352
	2-3	80.2	1.2	20.2	11.1	716	3.8	105	7476	11.0	486
	3-4	82.7	1.2	20.5	12.7	613	4.5	113	6168	7.6	664
	4-5	79.3	1.2	19.7	13.1	424	4.4	136	17316	1.9	1048
F7	0-1	72.1	1.1	12.2	1.3	221	2.8	38	3784	0.3	152
	1-2	71.9	1.1	11.3	1.3	230	3.0	40	3454	0.4	155
	2-3	67.5	1.1	10.7	1.4	233	2.8	40	1199	0.4	157
	3-4	63.3	-	8.1	1.4	198	2.6	35	928	0.4	146
	4-5	63.3	-	9.6	1.3	198	2.5	34	685	0.4	138
F8	0-1	76.7	1.1	15.4	1.2	266	3.0	61	11627	0.4	188
	1-2	74.8	1.1	13.8	1.4	233	3.0	57	6248	0.3	190
	2-3	67.9	1.1	12.9	1.6	278	2.9	267?	1126	0.8	208
	3-4	67.8	1.1	12.9	1.8	243	2.7	64	565	0.6	190
	4-5	64.9	1.1	12.8	2.5	231	2.6	54	472	0.6	209

Tabell 3. Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH i sedimenter fra Frierfjordområdet, (saltkorrigert, tørt sediment).

PAH	Prove mrk.	mg/kg								
		F1 0-2 cm	F1 2-4 cm	F1 4-6 cm	F 3 0-2 cm	F 3 2-4 cm	F 3 4-6 cm	F 5 0-2 cm	F 5 2-4 cm	F-5 4-6 cm
Naftalen										
2-Metylnaftalen						0.31				
1-Metylnaftalen						0.36				
Bifenyl										
Acenatylen										
Acenaften			0.22	0.19		0.11				
4-Metylbifenyl										
Dibenzofuran			1.27			0.47	0.10			
Fluoren			0.09		0.06	0.23	0.06			
9-Metylfluoren										
9.10-Dihydroantracen										
2-Metylfluoren						0.10	0.03			
1-Metylfluoren										
Dibenzothiophen			0.16			0.40	0.14			
Fenantren		0.35	1.12	0.81	0.59	2.29	0.62	1.12	0.84	0.06
Antracen		0.35	1.01	0.97	0.17	1.05	0.22	0.48	0.36	0.03
Acridine										
Carbazole										
2-Metylantracen		0.18	0.62	0.39		0.28	0.05		0.08	
1-Metylfenantren			0.36			0.10				
9-Metylantracen									0.07	
Fluoranten		2.98	5.81	5.05	1.56	4.80	1.88	1.92	2.22	0.54
Pyren		2.45	5.58	4.77	1.36	6.50	1.44	1.76	2.30	0.55
Benzo(a)fluoren		0.18	1.12	1.62	0.42	1.00	0.33		0.12	
Benzo(b)fluoren		0.18	0.50	1.04	0.33	0.30	0.32			
1-Metylpyren		1.05	1.61	2.33	0.11		0.18			
Benzo(c)fenantren										
Benzo(a)antracen		3.33	6.45	6.87	1.01	4.10	1.05	2.56	2.30	0.86
Trifenylen/Chrysen		6.48	12.59	11.64	1.30	6.54	1.73	5.60	4.20	1.43
Benzo(b)fluoranten		4.03	9.72	13.12	1.39	4.13	1.34	4.64	2.94	1.81
Benzo(j,k)fluoranten			5.52	7.58	1.16	2.10		2.88	1.37	1.19
Benzo(e)pyren		3.15	6.59	8.16	1.25	2.59	0.97	3.36	2.32	1.22
Benzo(a)pyren		2.98	5.94	8.21	0.99	1.72	0.71	3.20	2.15	1.15
Perylen			1.33	1.71	0.15		0.05	0.48	0.28	0.31
0-Phenylenepyren		3.33	3.47	4.13	1.73	0.45	0.33	1.92	1.12	0.91
Dibenz(a,h)antracen										
Picen										
Benzo(ghi)perylene		3.68	5.02	6.95	1.72	0.78	0.28	2.24	1.56	0.99
Anthanthrene										
Coronen										
Sum		34.66	75.98	85.71	15.30	40.71	11.83	32.16	24.23	11.05
Derav KPAH *		~ 7.0	~18.4	~25.1	~ 3.0	~ 6.9	~ 1.6	~ 9.2	~ 5.8	~3.6

* Summen av konsentrasjonene av stoffer som er angitt å være moderat til sterkt kreftfremkallende (KPAH) av National Academy of Science i USA (NAS, 1972): Benzo(b)fluoranten, 50% av benzo(j.k.) fluoranten og benzo(a)pyren.

-forts.

PAH	Prove mrk.	mg/kg		
		F8 0-2 cm	F8 2-4 cm	F8 4-6 cm
Naftalen				
2-Metylnaftalen				
1-Metylnaftalen				
Bifenyli		0.24		
Acenaftilen				
Acenaften				
4-Metylbifenyli				
Dibenzofuran		0.04	0.11	0.12
Fluoren		0.02	0.12	
9-Metylflluoren				
9.10-Dihydroantracen				
2-Metylflluoren				
1-Metylflluoren				
Dibenzothiophen		0.07	0.14	
Fenantren		0.19	0.94	0.28
Antracen		0.07	0.10	0.12
Acridine				
Carbazole				
2-Metylantracen		0.02	0.08	
1-Metylfenantren		0.02	0.07	
9-Metylantracen				
Fluoranten		0.54	1.32	0.85
Pyren		0.34	0.88	0.65
Benzo(a)fluoren			0.08	
Benzo(b)fluoren			0.13	
1-Metylpiren			0.04	
Benzo(c)fenantren				
Benzo(a)antracen		0.30	0.53	0.63
Trifenylene/Chrysen		0.36	0.66	1.25
Benzo(b)fluoranten		0.26	0.78	1.11
Benzo(j,k)fluoranten			0.53	
Benzo(e)pyren		0.31	0.67	0.46
Benzo(a)pyren		0.30	0.53	0.35
Perylen			0.10	
0-Phenylenepyren		0.53	0.69	
Dibenz(a,h)antracen				
Picen				
Benzo(ghi)perylene		0.65	0.76	
Anthanthrene				
Coronen				
Sum		4.26	9.25	5.82
Derav KPAH		~ 0.6	~ 1.6	~ 1.1

Tabell 4. Klorerte hydrokarboner og klorerte bifenyler i sedimentprøver fra Frierfjordområdet - september 1980, (ppm saltkorrigert, tørt sediment).

Stasjon	Dyp (cm)	5 CB	HCB	OCS	10 CB
F1	0-2	5.3	19.4	0.6	1.8
	2-4	1.4	9.8	0.6	1.1
	4-6	2.4	11.0	1.9	2.7
F3	0-2	0.4	6.6	1.5	3.7
	2-4	1.2	6.4	1.1	2.2
	4-6	0.2	2.9	0.6	0.9
F5	0-2	5.6	30.8	3.1	1.3
	2-4	2.2	8.8	0.2	0.6
	4-6	0.8	4.2	0.2	0.3
F8	0-2	1.8	7.4	0.2	0.2
	2-4	0.6	3.4	0.1	0.1
	4-6	0.4	2.5	0.04	0.03

3.2 Vanninnhold

Sedimentenes vanninnhold eller innhold av porevann forteller ofte noe om sedimentenes kornstørrelse og innhold av organisk materiale. Anoksiske (råtne) sedimenter har karakteristisk høyt vanninnhold da de ofte er rike på organisk materiale. Vanninnholdet avtar vanligvis nedover i sedimentene som følge av kompaksjon (sammenpressing).

Høyest vanninnhold ble målt i overflatesedimenter fra stasjonene F1 og F2 (Tabell 2). Disse stasjonene er sterkt influert av trefiber som gir sedimentene en svært porøs og svampaktig karakter. Overflatesedimentene fra dypbassenget (F4 og F5) har også høyt vanninnhold (> 90%), mens sedimenter tatt utenfor Herøyakanalen (F3), sør for Saltbua (F6) og i Eidangerfjorden (F7) og Breviksfjorden (F8) viser mere moderat vanninnhold. De to sistnevnte lokalitetene har oksiske sedimenter.

Den vertikale fordelingen av vanninnholdet i sedimentet i Frierfjordens dypbasseng viser en markert endring ved henholdsvis 1 og 3 cm på stasjonene F4 og F5 (Fig. 2). Dette markerer overgangen mellom det øverste sorte, anoksiske sedimentet og silt dumpet i 1974-75.

3.3 Organisk materiale

Sedimentets glødetap gir et omtrentlig mål for sedimentets innhold av organisk materiale. En omregningsfaktor (0.58) kan brukes for å regne om verdiene fra organisk materiale til organisk karbon (NIVA, 1976), men Tabell 2 gjengir resultatene som glødetapsverdier. Disse varierte mellom 2 og 50 %. I 1975 ble det tilsvarende målt variasjoner mellom 2 og 40 % organisk materiale i Frierfjorden. Høyest innhold av organisk materiale hadde overflatesedimentene på stasjon F2 (Tabell 2), som også hadde høyest vanninnhold. Dette skyldes store mengder fiber. Det laveste innholdet av organisk materiale ble målt i dumpematerialet i Frierfjordbassenget (Fig.3). Dette skyldes at det materialet som ble dumpet var meget uorganisk (silt/leire).

3.4 Kvikksølv

Det knytter seg spesielt store interesser til kvikksølv i Grenlandsområdet. Årsaken er at området helt fra begynnelsen av 1950-årene er tilført kvikk-

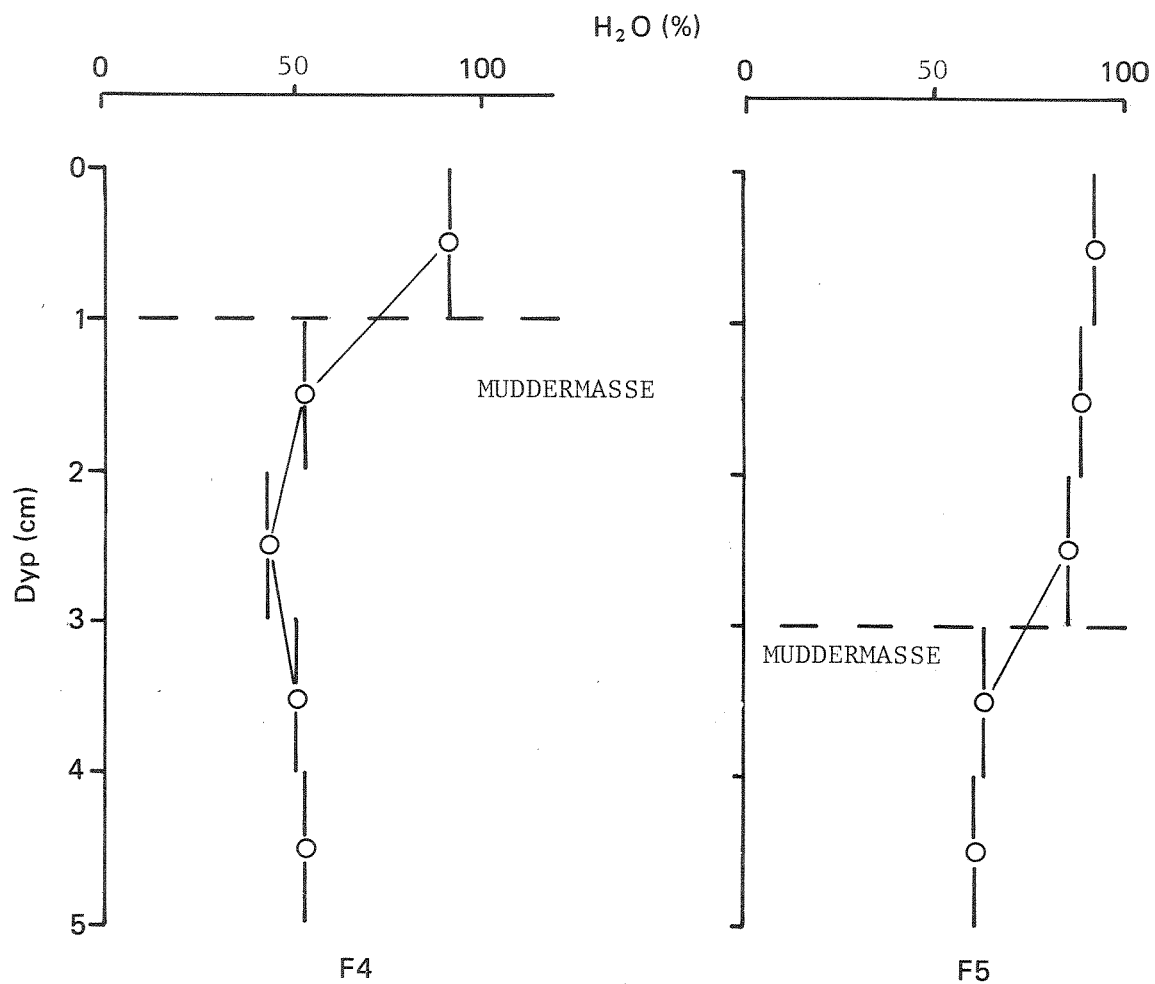


Fig. 2. Sedimentenes vanninnhold på stasjon F4 og F5
(Stiplet linje markerer overgang mellom muddermasse (dumpemasse fra 1974-75)
og naturlig sediment).

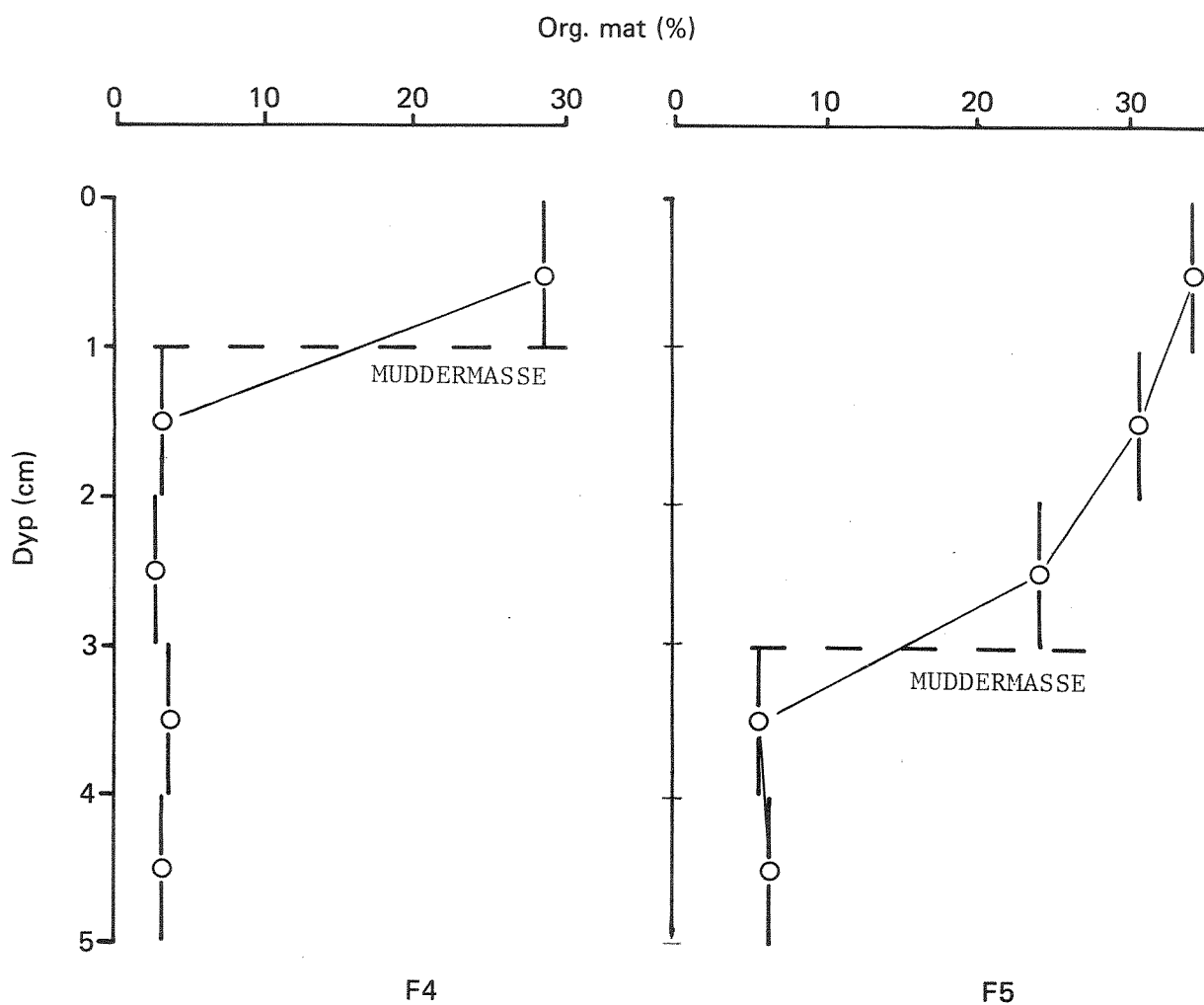


Fig. 3. Sedimentenes innhold av organisk materiale på stasjon F4 og F5.

sølv fra industriell virksomhet (treforedling fram til 1970, fra kloralkali-fabrikken på Herøya og fra PEA i Porsgrunn). Tidligere analyser av organismer, vann og sedimenter fra dette området har vist en betydelig kvikksølvforurensning (NIVA, 1979). Denne forurensningen er størst i Gunnekleivfjorden hvor sedimentene inneholder 200-300 ppm kvikksølv (Skei, 1978). Målinger av kvikksølv i kanalene som forbinder Gunnekleivfjorden med Skienselva og Frierfjorden utført i 1980 viser at Gunnekleivfjorden bidrar med betydelige mengder kvikksølv til Frierfjorden. De direkte utslippene av kvikksølv til området er ifølge utslippsoversikter små (NIVA, 1981).

Konsentrasjonene av kvikksølv i de øvre 1 cm av sedimentet varierte i Frierfjorden mellom 2.6 og 6.9 ppm (Tabell 2). Høyest var konsentrasjonene i Herrebukta og utenfor Herøyakanalen. Til sammenligning ble det i 1975 målt konsentrasjoner mellom 0.4 og 10 ppm i de øvre 0-2 cm (NIVA, 1976). Hvis vi tar i betraktning at resultatene fra 1975 ikke er saltkorrigerte er konsentrasjonene i 1980 omtrent de samme eller noe lavere enn i 1975. Når forskjellene ikke er større, trass i store reduksjoner i utslipp de senere år (se NIVA, 1981), skyldes dette den omtalte dumpingen av silt i 1974-75. Denne dumpingen forårsaket reduksjon i kvikksølvkonsentrasjonene i overflatesedimentene i 1975. I Brevikfjorden og Eidangerfjorden ble det målt henholdsvis 1.2 og 1.3 ppm (Tabell 2) i 1980 og 2.1 og 1.0 ppm i 1975.

Den vertikale fordelingen av kvikksølv på stasjonene F4 og F5 i Frierfjordbassenget (Fig. 4) viser klart den store forskjellen i kvikksølvmengder i dumpemateriaale fra 1974-75 og i sedimenter avsatt etter 1975, som har betydelig høyere kvikksølvinnhold. Dette indikerer at selv i de siste 5 årene er det avsatt betydelige mengder kvikksølv i Frierfjorden. Når kvikksølvmengden i dumpemassen på stasjon F4 er mye lavere enn på stasjon F5 (Fig. 4) skyldes dette at F4 befinner seg midt på dumpestedet. Mektigheten av muddermasse på F4 ble målt til vel 40 cm, mens den tilsvarende mektigheten på F5 var ca. 3 cm. De fleste kjernene viser et maksimum helt i overflaten. Et unntak er stasjon F6 (Tabell 2). Denne stasjonen er trolig lite influert av dumpingen i 1974-75 og allerede ved 2-5 cm dyp i sedimentet var det høye kvikksølvkonsentrasjoner (10-13 ppm). Dette tilsvarer konsentrasjonen som ble målt ved 10-15 cm dyp midt i Frierfjordbassenget i 1975 og representerer trolig materialet avsatt da kvikksølvtilførselen til fjorden var størst (på slutten av 60-tallet).

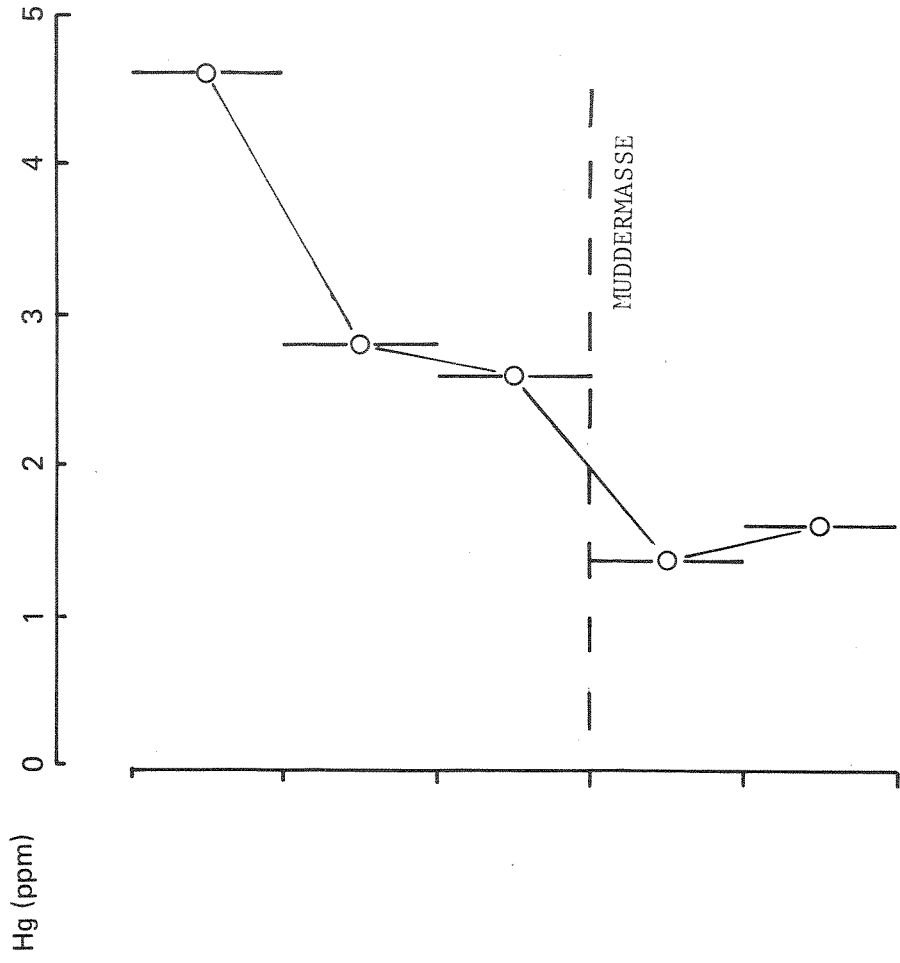
Gjennomsnittskonsentrasjonen av kvikksølv i de øvre 1 cm av sedimentene i Frierfjorden (F1-6) målt i 1980 var 4.5 ppm. Vanninnholdet var tilsvarende 88%. Sedimenttilveksten på stasjon F4 er anslått til 2 mm/år, på stasjon F5 6 mm/år og i Herrebukta er den tidligere beregnet til 3-4 mm/år (NIVA, 1979). Det er derfor realistisk å anta at den gjennomsnittlige sedimenttilveksten i Frierfjorden er ca. 3 mm/år. Hvis vi betrakter sedimentflaten under 40 m dyp i Frierfjorden, så utgjør denne ca. 9 km². Den årlige avsetningen av kvikksølv på denne sedimentflaten blir da ca. 15 kg, hvorav 3-400 gram kan antas å skyldes naturlige tilførsler.

Frierfjordens overflateareal er ca. 20 km², mens arealet ved 40 m dyp er 9 km², dvs. ca. 45% av overflatearealet. Mengden av kvikksølv som avsettes i grunnområdene (< 40 m dyp) er noe dårligere kjent og vil lokalt variere sterkt (f.eks. ved Herøya). Sannsynligvis lå den årlige sedimenteringen av kvikksølv i Frierfjorden et sted mellom 30 og 50 kg i perioden 1975-80.

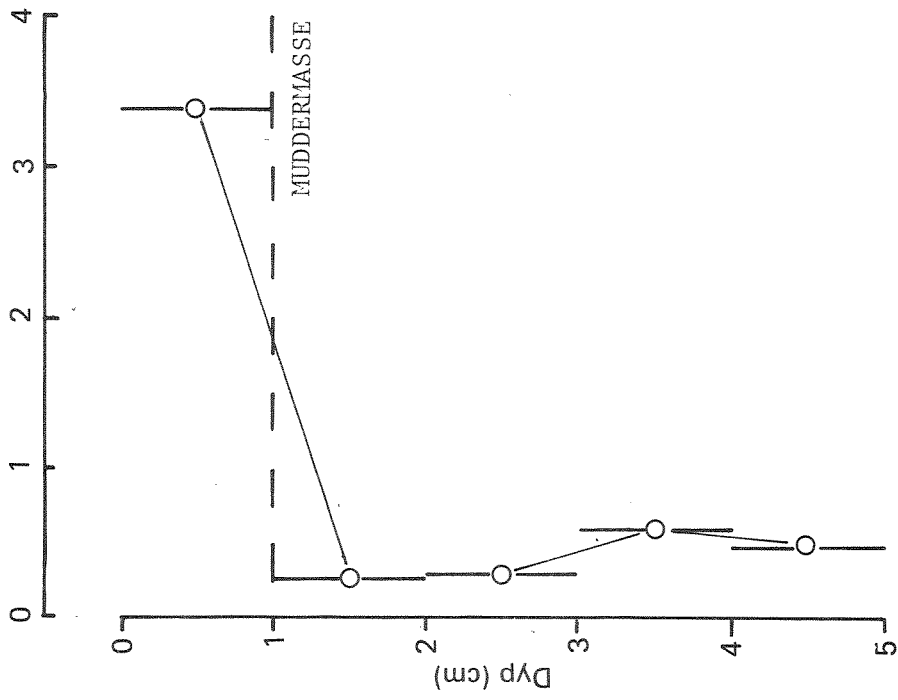
Utslippene av kvikksølv til vann fra Porsgrunn Fabrikker i perioden 1970-75 var i størrelsesordenen 600-800 kg pr. år (Fig. 5). I tillegg kommer utslipp til luft, men man vet ikke i hvor stor grad dette tilføres Frierfjorden. Ved utslippsreduksjonen i 1975 ble utslippet til vann redusert til 120 kg pr. år, hvorav halvparten gikk til Gunnekleivfjorden. I 1976 og 1977 avtok kvikksølvutslippet til henholdsvis 50 og 10 kg pr. år og siden 1978 har utslippet vært mindre enn 10 kg, ifølge opplysninger fra Norsk Hydro.

Akkumuleringen av kvikksølv i sedimentene sett i relasjon til utslippstallene viser dermed noenlunde samsvar. Gunnekleivfjorden er ikke tatt med i denne vurderingen, og hvor mye som er avsatt der i perioden 1975-80 er ikke kjent. Målinger av kvikksølv i vann som strømmer ut gjennom kanalene fra Gunnekleivfjorden har imidlertid vist at mere enn 100 kg kvikksølv tilføres Frierfjorden årlig på denne måten. Hvis beregningen som viser årlig avsetning av kvikksølv på bunnen av Frierfjorden er riktig, sedimenterer lite av dette kvikksølvet i selve Frierfjorden. Selv om vi tar med i betraktning Eidangerfjorden og Breviksfjorden (11 km², 2 ppm kvikksølv, 70% vann og 2 mm/år sedimenttilvekst), utgjør avsetningen av kvikksølv i dette området i størrelsesordenen 10-20 kg pr. år. Hvis disse beregningene er riktige og det ikke ligger noe grovt

underestimat i disse som følge av større lokal sedimentering av kvikksølv i Frierfjorden enn antatt, må (a) en betydelig del av kvikksølvet som tilføres Frierfjorden transporteres ut av området (f.eks. ved vannutskiftninger), eller (b) at kvikksølv raskt tas opp av biologisk materiale i fjorden, eller (c) at det dannes flyktige kvikksølvforbindelser som forsvinner til atmosfæren.



F5



F4

Fig. 4. Sedimentenes innhold av kvikksølv på stasjon F4 og F5.

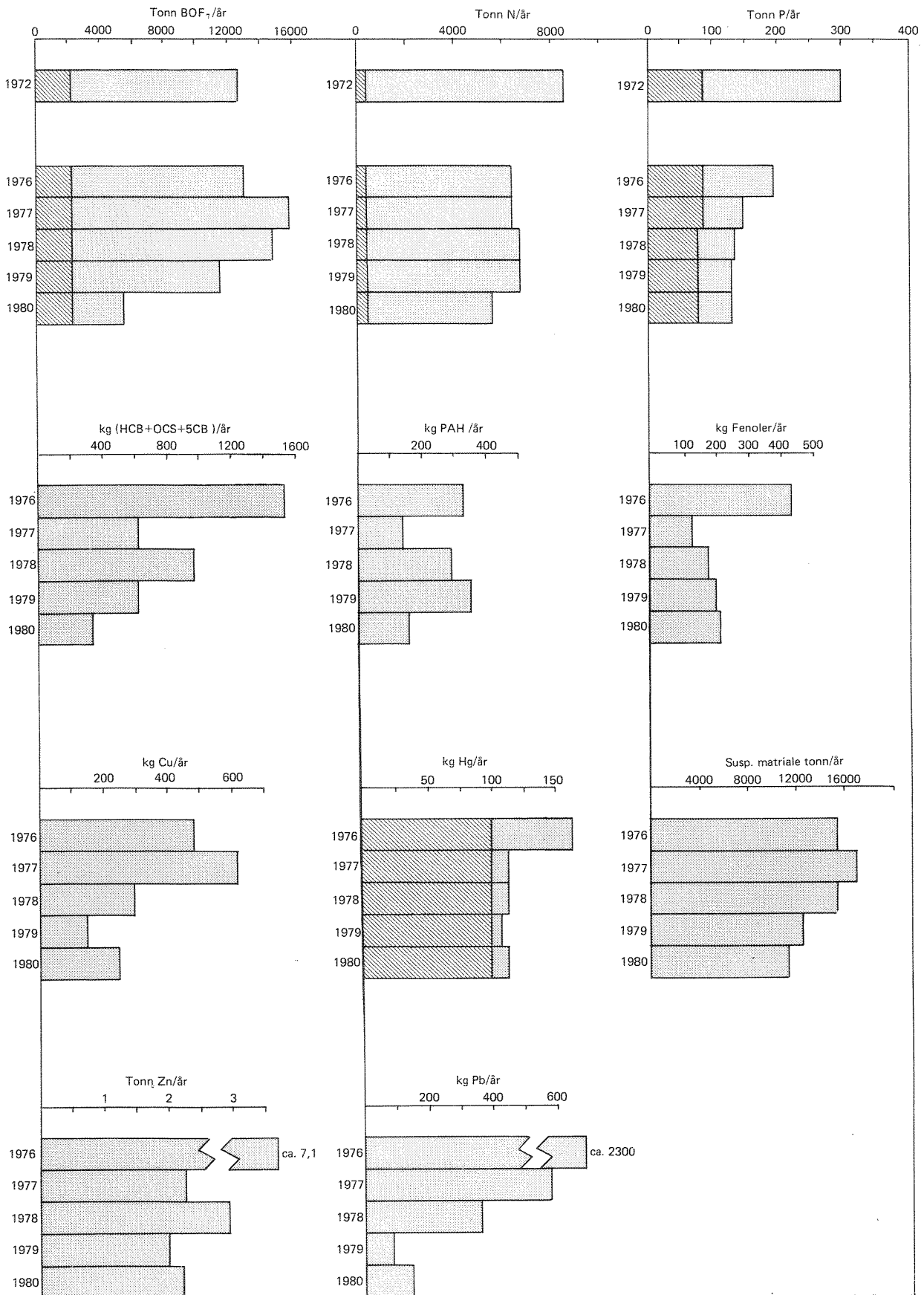


Fig. 5. Årsmidler av utslipp til Skienselva og Frierfjorden.

For organisk stoff, nitrogen og fosfor er befolkningens bidrag angitt med mørk skravur. For kvikksølv er en tilførsel på ca 100 kg/år fra Gunnekleivfjorden angitt med mørk skravur.

Det som vil bli av interesse nå er å se om kvikksølvinnholdet i overflatesedimentene vil avta i neste 5-årsperiode, som følge av de store utslippsreduksjonene.

3.5 Kopper, sink, bly og kadmium

Konsentrasjonene av kopper i sedimentene fra Grenlandsområdet er forholdsvis lave (50-100 ppm, saltkorrigert). Hvis vi sammenligner ikke-saltkorrigerte data fra 1975 og 1980, er det små forskjeller. Det tyder på at sedimenteringen av kopper har endret seg lite i denne perioden.

Utslippsdata viser noe reduksjon i kopperutslipp i perioden 1976-80 (Fig. 5).

Sink derimot viser høye konsentrasjoner i sedimenter fra Frierfjorden, spesielt i Herrebukta (F1) og utenfor munningen til Skienselva (F2). Her ble det målt henholdsvis 1277 og 822 ppm i overflatesedimentet. Lavest var sink-innholdet i dumpematerialet fra 1974-75 (~ 60 ppm, Tabell 2). Også i 1975 ble de høyeste sinkverdiene registrert nederst i Skienselva og i Herrebukta, noe som indikerer at utslipp fra PEA i Porsgrunn er en viktig kilde. Konsentrasjonsnivået i 1975 og 1980 (hvis vi sammenligner ikke saltkorrigerte data) er omtrent det samme. Utenfor Brevik er det fortsatt forhøyede sinkkonsentrasjoner, men her er nivået 1/4 - 1/5 del av nivået i Frierfjorden. Det kan være verdt å merke seg at sedimenter avsatt etter 1975 (0-1 cm) i selve dybbassenget i Frierfjorden inneholder ~ 500 ppm sink, noe som er høyt sammenliknet med uforurensede anoksiske sedimenter (Tabell 5). Utslippene av sink til Frierfjorden har endret seg lite de siste årene (2-3 tonn/år) (Fig. 5).

De høyeste blykonsentrasjonene ble i 1980 målt på stasjon F 6, sør for Saltbua, med tiltagende konsentrasjoner nedover i sedimentet. Ved 4-5 cm dyp ble det målt 1048 ppm bly og som må betraktes som meget høyt. I 1975 ble det maksimalt påvist 704 ppm bly (ikke saltkorrigert) i sedimentene fra Frierfjordbassenget. Konsentrasjonene av bly i overflatesedimentene i Frierfjorden varierte mellom 200 og 300 ppm, mens utenfor Frierfjorden ble det tilsvarende målt 150-200 ppm. Til sammenligning kan nevnes at uforurensede anoksiske sedimenter med 40% organisk materiale inneholder ca. 75 ppm bly, (Tabell 5). Utslippene av bly til Frierfjorden, hovedsaklig fra PEA, har variert svært mye i de senere år, (Fig. 5). Det er således heller ingen klar trend å spore i sedimentdata for bly.

Tabell 5. Innhold av metaller og organisk materiale i en uforurenset anoksisk fjord (Bygdevågen i Sogn) og en uforurenset oksisk fjord (Amblabukta i Sogn). Resultater i ppm tørrvekt, bortsett fra Fe og organisk materiale, som er oppgitt i prosent. Resultatene omfatter de øvre 10 cm av sedimentene.

Parameter	BYGDEVÅGEN I SOGN			AMBLABUKTA I SOGN		
	n	Variasjons- bredde	- x	n	Variasjons- bredde	- x
Cu	10	37-49	44	10	14-19	17
Zn	10	141-213	184	10	49-109	74
Pb	10	67-91	75	-	-	-
Hg	-	-	-	10	0.04-0.11	0.07
Cd	10	2.8-3.6	3.1	-	-	-
Ni	10	20-43	35	-	-	-
Cr	10	21-31	25	10	11-19	13
Mn	10	93-119	109	-	-	-
Fe	10	1.65-2.30	1.92	-	-	-
Org. mat.	10	41.0-44.7	42.6	10	4.9-5.2	5.0

Kadmium er et annet metall som krever oppmerksomhet. I 1975 ble det målt opp til 26 ppm kadmium (ikke saltkorrigert) mot 11 ppm i 1980. De høyeste kadmiumverdiene ble målt i sedimenter med høyt innhold av sink og organisk materiale. Utenfor Frierfjorden ble det målt tilnærmevis normale kadmiumverdier. Tabell 5 viser at i anoksiske sedimenter med meget høyt organisk innhold (40%) kan det naturlige innholdet av kadmium være høyt (~3 ppm). Det er likevel klart at Frierfjordens sedimenter er forurenset med kadmium.

3.6 Jern og mangan

Disse metallene kommer i en særstilling i forhold til de tungmetallene som er behandlet ovenfor. Dette skyldes at (1) jern og mangan er blant de mindre toksiske metaller, (2) at de begge er redokssensitive (dvs. skifter tilstandsform avhengig av redokspotensialet) og at de (3) opptrer i betydelig høyere konsentrasjoner enn spormetallene.

Ved sedimentundersøkelsen i 1975 ble det påpekt at sedimentene i Frierfjorden var anrikt både på jern og mangan (maks. 7.5% jern og 7% mangan). I 1980 ble det tilsvarende målt opp til 4.5% jern og 8.3% mangan, (Tabell 2). Den vertikale fordelingen av disse metallene i sedimentene varierer mellom stasjonene. Stasjon F3, F7 og F8 har alle oksiske overflatesedimenter og fordelingen av jern og mangan viser en generell økning mot overflaten. Denne anrikningen antas å skyldes geokjemiske prosesser og er således naturlig. De høye konsentrasjonene av spesielt mangan i de anoksiske Frierfjordsedimentene kan delvis forklares ut fra utslipp av mangan (spesielt fra PEA) som bindes i de sulfidiske sedimentene som mangansulfid eller mere sannsynlig som mangankarbonat. Konsentrasjonsnivåene er imidlertid så høye at det neppe kan forklares ut fra naturlige anrikningsprosesser alene. Det vanlige er at anoksiske sedimenter har et lavt manganinnhold (se Tabell 5), men det motsatte er også dokumentert bl.a. i sedimenter fra Bunnefjorden (Doff, 1969) og Østersjøen (Manheim, 1961).

3.7 Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH)

Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) er en gruppe tjærestoffer, hvorav enkelte forbindelser har kreftfremkallende egenskaper. Det siste er årsaken til at disse stoffene har tiltrukket seg stor oppmerksomhet de senere årene. Men fortsatt vet vi lite om hvordan disse stoffene oppfører seg i det marine miljø og hvilke bakgrunnsnivåer vi kan forvente i forskjellige typer sedimenter.

Sedimentprøver (0-4 og 4-8 cm sjikt) innsamlet i 1976 fra Herrebukta, i Volls fjorden og ved munningen av Skienselva ble analysert for PAH. Høye konsentrasjoner ble funnet både i Herrebukta (23 ppm PAH) og ved munningen av Skienselva (46 ppm PAH) i de øvre 4 cm av sedimentet, hvorav omtrent 10% av PAH-forbindelsene kunne karakteriseres som kreftfremkallende (NIVA, 1979). En direkte sammenlikning av totalnivåene av PAH i prøver tatt i 1975 og 1980 er vanskelig av to årsaker. For det første representerer resultatene fra 1975 ikke saltkorrigerte verdier. For det andre omfattet analysene i 1975 kun 16 PAH-komponenter, mens analysene i 1980 omfattet 40 komponenter. En ytterligere kompliserende faktor er at bakgrunnsnivået for PAH i anoksiske sedimenter med høyt organisk innhold er svært usikkert. Dette blir nå undersøkt i forbindelse med et studium av en uforurenset anoksiske fjord.

I 1980 ble sedimenter fra stasjonene F1, F3, F5 og F8 analysert for PAH i 2 cm sjikt (Tabell 3). Høyeste konsentrasjoner ble registrert i Herrebukta (F1) og lavest i Brevikfjorden (F8). Det var generelt høyere konsentrasjoner noen cm under sedimentflaten enn i selve overflatesedimentene. Dette kan tyde på at utslippene av PAH har vært betydelig større i 50-60 årene enn i 60-70 årene. De dominerende PAH-komponentene er benzofluorantener trifenylen/chrysene, fluoranthene og pyren, mens benzo(a)pyren som er en kreftfremkallende komponent, utgjør omtrent 5-10% av total PAH. Den totale mengden av kreftfremkallende komponenter (KPAH, Tabell 3) var størst i Herrebukta (F1) hvor de utgjorde 20-30% av total PAH.

3.8 Klorerte hydrokarboner og klorerte bifenyler.

Utslipp av klorerte forbindelser fra Herøya har ført til betydelig forurensning av Frierfjordområdet (NIVA, 1979). Dette gjelder også bunn-sedimentene og undersøkelsen i 1975 avslørte betydelige konsentrasjoner av

HCB, OCS og beslektede komponenter i sedimentene (NIVA, 1976). Også analyser av sedimenter tatt i 1980 bekrefter den betydelige forurensningen med klorerte forbindelser i sedimenter fra Frierfjorden (Tabell 4). Selv i Brevikfjorden (F8, Tabell 4) er konsentrasjonene av 5CB, HCB, OCS og 10CB ganske høye. Sammenliknet med konsentrasjoner funnet i 1975 og 1976 (NIVA, 1979) har konsentrasjonene generelt tiltatt i stedet for å avta til tross for reduksjon i utslippene av klorerte forbindelser (Fig. 5). Ser vi på vertikalprofilene for de enkelte komponentene, er det generelt en økning i konsentrasjoner mot sedimentoverflaten. Det skulle antyde at tilførselene av klorerte forbindelser til bunnsedimentene har økt de siste årene. Dette gjelder samtlige komponenter som ble identifisert (Tabell 4).

Det bør tilføyes at en del av reduksjonen i konsentrasjoner nedover i sedimentet også kan skyldes nedbrytning av enkelte stoffer. Dessuten bør det påpekes at dumping av silt i 1974-75 også førte til reduserte konsentrasjoner av klororganiske forbindelser i sedimentprøver tatt i 1975. Dette kan forklare noe av den registrerte økningen av disse forbindelsene i overflatesedimentene i 1980 i forhold til 1975.

Man kan heller ikke se bort fra at sedimentene i Frierfjord-området ble tilført klorerte hydrokarboner i forbindelse med mudring av forurensede sedimenter ved Herøya og dumping i Frierfjord-bassenget i 1976 og 1977.

4. SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER

Undersøkelsen i 1980 ble gjort 5 år etter den forrige. Det ble tidligere antatt at sedimenttilveksten i området minst ville være 2 mm/år og at i løpet av denne 5-årsperioden ville det avsettes minst 1 cm sediment. Av den grunn ble sedimentkjernene snittet i 1 cm interval, bortsett fra prøver til klorerte forbindelser og PAH hvor kravet til prøvemengde var større (2 cm interval).

På grunn av sedimentenes høye vanninnhold er det funnet riktig å korrigere resultatene for saltinnhold, som vil virke "fortynnende" på sedimentets innhold av stoffer.

Resultatene av analysene av organisk materiale og metaller i prøver innsamlet i 1980, viser et meget høyt organisk innhold i sedimenter fra selve Frierfjorden (Tabell 2). Unntak er sedimenter som representerer dumpet materiale på stasjonene F4 og F5 i dypbassenget. Resultatene viser også stor forskjell i sedimenttilvekst på disse to stasjonene (henholdsvis 2 mm/år og 6 mm/år). Analysene av kvikksølv viser at sedimentene som er avsatt i Frierfjorden i perioden 1975-80 inneholder stort sett 3-7 ppm, mens det tilsvarende innhold av sink, kadmium og bly er henholdsvis 400-1300 ppm, 3-5 ppm og 200-300 ppm. I Eidangerfjorden og Brevikfjorden er konsentrasjonene generelt lavere.

Analyser av PAH i sedimentene viste meget høye konsentrasjoner (70-80 ppm) i Herrebukta og 20-40 ppm ellers i Frierfjorden (Tabell 3). Selv i Brevikfjorden (F8) ble det målt 4 ppm i overflatesedimentene, noe som tyder på at forurensningen av PAH strekker seg mye lengre enn til Frierfjorden. Det bør imidlertid påpekes at konsentrasjonene avtar mot overflaten av sedimentene og at PAH-forurensningen trolig er på retur.

Når det gjelder klorerte hydrokarboner og klorerte bifenyler, er forurensningen av sedimentene betydelig. Høye konsentrasjoner i overflatesedimentene på St. F5, hvor sedimenttilveksten er antatt å være høy, tyder på at sedimentene i årene etter 1975 fortsatt tilføres mye klorerte forbindelser. Det er også verdt å merke seg at sedimenter fra Breviksfjorden også inneholdt betydelige mengder 5CB og HCB (Tabell 4) i de øverste 2 cm.

Sedimentundersøkelsen i Grenlandsområdet utført i 1980 gir grunnlag for følgende konklusjoner:

- 1) Sedimentenes innhold av organisk materiale har endret seg lite i perioden 1975-80.
- 2) Overflatesedimentenes innhold av kvikksølv er omtrent det samme som i 1975 eller noe lavere. Den årlige avsetningen av kvikksølv til sedimentene i selve Frierfjorden i den siste 5-årsperioden er grovt beregnet til 30-50 kg. Konsentrasjonene av sink, kopper, bly og kadmium har endret seg lite. Konsentrasjonene av sink og bly er fortsatt høye i overflatesedimentene, spesielt i indre deler av Frierfjorden. Konsentrasjonene av mangan er lokalt meget høye (4-8%) og antas å skyldes en kombinasjon av forurensning og naturlig anrikning. De andre metallene ser ikke ut til å være influert av mangananrikningen.
- 3) Sedimentenes innhold av polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) er meget høyt og bekrefter de preliminare analysene utført i 1976. Tilførselen av PAH til sedimentene har tydeligvis vært større før 1970 enn i de senere år. PAH-forurensningen av sedimentene strekker seg utover til Brevikfjorden og trolig lengre.
- 4) Sedimentenes innhold av klorerte hydrokarboner (5CB, HCB og OCS) og klorerte bifenyler (10CB) er høyt, spesielt i overflaten, til tross for store utslippsreduksjoner i løpet av siste 5-årsperiode.

5. LITTERATUR

Doff, D.H. (1969):

The geochemistry of recent oxic and anoxic sediments of Oslo fjord, Norway. Upubl. Ph. D. thesis, Univ. of Edinburgh, pp 212.

Manheim, F. T. (1961):

A geochemical profile in the Baltic Sea.
Geochim. Cosmochim. Acta, 25, 52-70.

National Academy of Science (1972):

Particulate Polycyclic Organic Matter. NAS, Washington D.C.,
361 s.

NIVA (1976):

Resipientundersøkelse av nedre Skienselva, Frierfjorden og til-
liggende fjordområder. Rapport nr. 3. Fremdriftsrapport fra de
sedimentgeokjemiske undersøkelsene i juli 1975. 0-70111.
Forfatter: Jens Skei, 60 s. stensilert.

NIVA (1979):

Resipientundersøkelse av nedre Skienselva, Frierfjorden og til-
liggende fjordområder. Rapport nr. 8. Sluttrapport. 0-70111.
Saksbehandler: Jarle Molvær, 252 sider stensilert.

NIVA (1980):

Resipientundersøkelse av Volls fjorden, Skien kommune. 0-77114.
Saksbehandler: Jarle Molvær, 44 sider, stensilert.

NIVA (1981):

Overvåking av forurensninger i Grenlandsfjordene og Skienselva
i 1980. Delrapport nr. 2. Vannutskiftning og vannkvalitet.
Saksbehandler: Jarle Molvær, Jens Skei. 28 s. stensilert.

Skei, J.M. (1978): Serious mercury contamination of sediments in a
Norwegian semi-enclosed bay. Mar. Pollut. Bull., 9, 191-193.