

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

Blindern

0-34/76

SEDIMENTUNDERSØKELSE

I

BEKKELAGSBASSENGET,

JANUAR 1977

Blindern, 19. september 1977

Saksbehandler: Jens Skei, Ph.D.

Instituttetsjef Kjell Baalsrud

FORORD

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) ble i brev av 25.2.1977 fra Oslo kommune, Vann- og kloakkvesen (O.V.K.) bedt om å utarbeide et programforslag for en sedimentundersøkelse i Bekkelagsbassenget, utenfor Bekkelaget renseanlegg. I det utarbeidede programforslaget datert 2.4.1976 ble formålet og arbeidsoppgavene for undersøkelsen skissert, og det ble også foreslått en arbeidsdeling mellom O.V.K., Sentralinstitutt for industriell forskning (SI) og NIVA med hensyn til kjemiske analyser.

I den anledning rettes takk til overingeniør P.A. Hallberg, O.V.K., og sivilingeniør A. Bjørseth og ingeniør K. Martinsen, SI, for godt samarbeide. Metallanalysene på NIVA ble utført av fil.kand. Karin Balmér.

Blindern, 19.september 1977

Jens Skei

INNHALDSFORTEGNELSE

Side:

| | |
|---|----|
| FORORD | 3 |
| INNLEDNING | 7 |
| FORMÅL | 8 |
| PRØVETAKING OG ANALYSER | 8 |
| BESKRIVELSE AV UNDERSØKELSESONRÅDET OG SEDIMENTER | 12 |
| RESULTATER | 15 |
| Organisk materiale | 15 |
| Fosfor og nitrogen | 21 |
| Metaller | 21 |
| Persistente klorerte forbindelser | 24 |
| DISKUSJON | 24 |
| SAMMENFATTENDE VURDERING | 38 |
| REFERANSER | 41 |

FIGURFORTEGNELSE

| | Side: |
|---|-------|
| Fig. 1. Sedimentstasjoner i Bekkelagsbassenget. | 9 |
| Fig. 2. Organisk materiale i sedimentene på stasjon B2 og B13. | 20 |
| Fig. 3. Horisontal utbredelse av organisk materiale, nitrogen (N), fosfor (P), C/N- og N/P-forhold i overflatesedimentene i Bekkelagsbassenget (C-verdiene er beregnet ved å multiplisere org.mat. med 0,58, Loring, 1976). | 26 |
| Fig. 4. Forholdet mellom totalt nitrogen (Tot-N) og organisk materiale (org.mat.) i sedimentene fra Bekkelagsbassenget. | 28 |
| Fig. 5. Forholdet mellom fosfor (P) og organisk materiale (org.mat.) i sedimentene fra Bekkelagsbassenget. | 29 |
| Fig. 6. Horisontal utbredelse av krom (Cr), kopper (Cu), sink (Zn) og bly (Pb) i overflatesedimentene i Bekkelagsbassenget. | 33 |
| Fig. 7. Horisontal utbredelse av nikkel (Ni), kvikksølv (Hg) og jern (Fe) i overflatesedimentene i Bekkelagsbassenget. | 35 |
| Fig. 8. Vertikale profiler for sink (Zn), kvikksølv (Hg), krom (Cr) og bly (Pb) på stasjonene B2 og B13 i Bekkelagsbassenget. | 37 |

TABELLFORTEGNELSE

Side:

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabell 1. | Beskrivelse av sedimentene tatt i Bekkelagsbassenget januar 1977. | 14 |
| Tabell 2. | Resultater fra analysene av organisk materiale og metaller i sedimentene fra Bekkelagsbassenget (tørrvekt). | 16 |
| Tabell 3. | Klorerte hydrokarboner i overflatesedimenter fra Bekkelagsbassenget (ppb tørrvekt). | 17 |
| Tabell 4. | Metaller og organisk materiale i kystsedimenter (gjennomsnittskonsentrasjoner). (C, P, N og Fe i %, resten i ppm.) | 18 |

INNLEDNING

Sedimentenes eller bunnavsetningenes sammensetning er avhengig av en rekke faktorer, hvor de viktigste er:

1. Sedimentenes opprinnelse
2. Sedimentasjonshastighet
3. Redoksforhold ved sedimenteringen
4. Kjemiske/fysiske forandringer som skjer etter at sedimentene er avsatt

Disse faktorene influerer på sedimentenes innhold av organisk materiale og metaller, eventuelt naturfremmede miljøgifter. Opphavsmaterialets sammensetning er av største viktighet. Sedimenter tilføres et fjordbasseng via elver, ved erodring av fjordens grunnere partier, ved sedimentering av organisk materiale produsert i vannmassen, ved transport via innstrømmende sjøvann (f.eks. tidevann), ved kjemiske fellingsreaksjoner i vannmassen og ved atmosfærisk nedfall. I tillegg kommer tilførsler via forurensning. Disse kildene preger sedimentenes sammensetning på hver sin måte. Informasjon om opphavsmaterialet lagres i sedimentene, som - hvis de er uforstyrret - på mange måter kan sammenliknes med en databank hvor data ligger lagret i kronologisk orden; de eldste underst og de yngste øverst.

Sedimentasjonshastigheten spiller en stor rolle mht. sedimentenes sammensetning. En rask akkumulering av organiske sedimenter vil ikke gi tid nok for de bakteriologiske nedbrytningsprosessene, slik at organisk materiale hoper seg opp og blir overleiret av nye sedimenter. Den videre nedbrytning må derfor foregå under oksygenfrie (anoksiske) forhold og det utvikles hydrogensulfid. Jo lavere konsentrasjonene av oksygen er i bunnvannet jo mindre skal til for å utvikle hydrogensulfid i bunnsedimentene. Redoksforholdene spiller derfor en sentral rolle i sedimentene både når det gjelder akkumulering av organisk materiale og metaller.

Metaller som danner tungtløslige sulfider akkumuleres (Hallberg 1974) mens andre metaller (f.eks. mangan) frigis fra sedimentene under anoksiske forhold (Lynn & Bonatti 1965). Utvekslingen mellom sedimentflaten og vannet over er av stor betydning når det skal vurderes om sedimentene representerer en sekundær forurensningskilde. Dette vil avhenge av elementenes konsentrasjonsnivå og bestandsform i sedimentene. Spørsmålet gjelder også i høyeste grad sedi-

mentene som kilde for fosfor- og nitrogenforbindelser, som kan virke gjødselende på vannmassen. Slike prosesser er ofte kontrollert av redoksforholdene og av mikrobiologisk aktivitet i sedimentene.

Ved tolkning av geokjemiske resultater er det viktig å vurdere de naturlige mekanismer som bidrar til å bestemme sedimentenes sammensetning. Deretter er det mulig å anslå i hvilken grad forurensning spiller en rolle.

Horisontale konsentrasjonsvariasjoner i sedimentene vil ofte avsløre kilder for forurensning og størrelsen på influensområdet. Dessuten gir vertikalgradienter et godt inntrykk av en tilstandsutvikling over et langt tidsrom, enten utviklingen er positiv eller negativ sett fra et forurensningssynspunkt.

FORMÅL

I henhold til programforslaget av 2.4.1976 var formålet med sedimentundersøkelsen i Bekkelagsbassenget å:

1. Registrere og kartlegge utbredelsen av metaller (jern, mangan, kopper, sink, bly, nikkel, kadmium, kvikksølv og krom), klorerte hydrokarboner, fosfor, nitrogen og organisk materiale i overflatesedimenter i Bekkelagsbassenget.
2. Ut fra de foreliggende resultater påpeke eventuelle lokaliteter hvor forurensningsstoffer akkumuleres og vurdere om konsentrasjonene er så høye at de gir grunn til bekymring.
3. Belyse hva som skjer med metaller og organiske forbindelser når avløpsvann fra et renseanlegg blandes med sjøvann.
4. Studere vertikalgradienter til de nevnte analysekomponenter (punkt 1) for å belyse den historiske utviklingen (sivilisatorisk påvirkning).

PRØVETAKING OG ANALYSER

13 sedimentkjerner fordelt over hele Bekkelagsbassenget (fig. 1) ble tatt fra "H. H. Gran", 17.-18. januar, ved hjelp av "gravity corer" (Niemistö

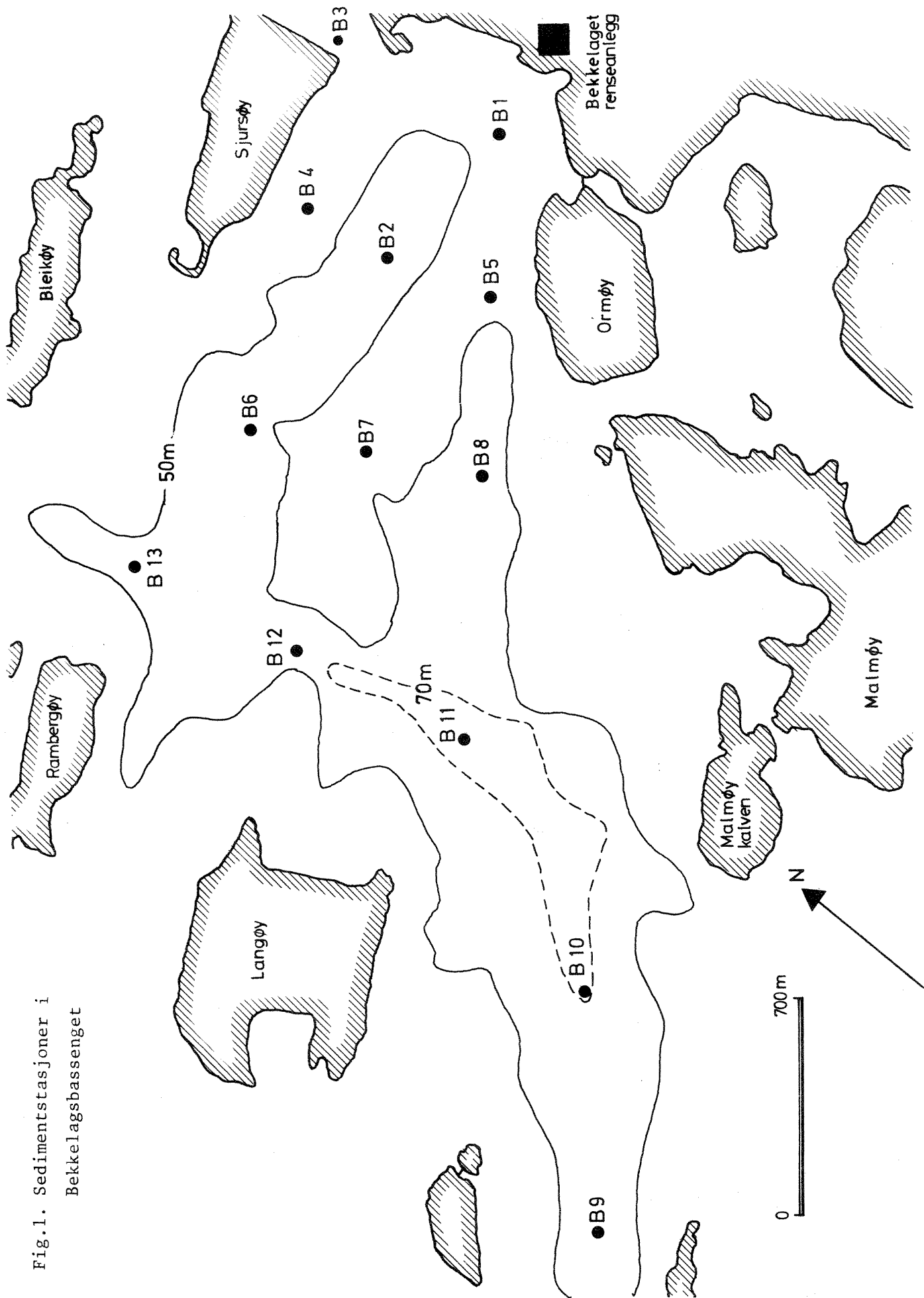


Fig.1. Sedimentstasjoner i Bekkelagsbassenget

1974). Denne prøvetakeren er spesielt konstruert for bløte sedimenter og var således ideell for prøvetaking i Bekkelagsbassenget. Den maksimale lengden på sedimentkjerner som det er mulig å ta med denne prøvetakeren er ca. 80 cm.

Kjernene ble snittet umiddelbart i 2 cm sjikt og prøvene ble overført til petriskåler. På laboratoriet ble prøvene tørket ved 80°C i 24 timer. Ved denne temperaturen er risikoen for å tape f.eks. kvikksølv liten (Bothner & Carpenter 1973).

Prøvene ble knust og homogenisert og gløderest ble målt ved gløding ved 550°C i 2 timer. Mengden organisk materiale ble estimert ut fra differansen mellom tørrvekt og gløderest (Grieve & Fletcher 1976).

Analysen av jern, sink, kadmium, nikkel, kopper, krom og mangan ble utført ved O.V.K.s egne laboratorier. Bortsett fra mangan som ble bestemt fotometrisk med Technicon Autoanalyzer, ble de øvrige metallene bestemt ved atomabsorpsjon (Perkin Elmer 460). Oppslutning av prøvene skjedde i henhold til NORDFORSK (1975:6). NIVA utførte parallellanalyser på 4 prøver og disse viste:

| | |
|---------|-----------------------------|
| jern: | 15% høyere enn O.V.K. |
| sink: | 3% avvik |
| nikkel: | 41% avvik |
| kopper: | 6% avvik |
| krom: | 12% avvik |
| mangan: | ~5 ganger lavere enn O.V.K. |

Uoverensstemmelsen var størst for mangans vedkommende, hvor NIVAs verdier var 5 ganger lavere. Det er grunn til å tro at fotometrisk bestemmelse av mangan i sedimenter ikke er tilfredsstillende. Ellers må man anta at noen av avvikene i resultatene kan skyldes lite homogene prøver. Sedimenter med svært høyt innhold av organisk materiale er vanskelig å homogenisere.

Tre prøver som ble oppsluttet og analysert ved O.V.K.s laboratorium ble oversendt NIVA i oppsluttet form for parallellanalyse. Disse analysene ga følgende resutater:

jern: 5% høyere enn O.V.K.
sink: 9% høyere enn O.V.K.
nikkel: 31% høyere enn O.V.K.
kopper: 15% lavere enn O.V.K.
krom: 7% avvik
mangan: ~4 ganger lavere enn O.V.K.

For en del elementer (jern, nikkel, krom og mangan) var avviket mindre enn ved analyser av prøver oppsluttet separat ved de respektive laboratorier. Dette kan tyde på problemer med homogeniseringen av prøvene som nevnt ovenfor. Sink og kopper derimot viste større avvik enn ved separate oppslutninger. Årsaken til dette er ikke fastlagt, men det bør tilføyes at prøvene hadde stått oppsluttet i meget lang tid og det er uvisst hvordan dette influerer på de enkelte metaller.

Forsøket viste dessuten at uoverensstemmelsen i mangan-resultatene ikke skyldes oppslutningen, men deteksjonen, slik som antydnet.

Kadmium ble også bestemt i prøvene, men den høye deteksjonsgrensen (10 ppm) utelukker en beskrivelse av dette metalllets fordeling i sedimentene.

7 av prøvene ble analysert for kadmium på NIVA og konsentrasjonene varierte mellom 0,6 og 5,4 ppm. Den høyeste konsentrasjonen som er ca. 10 ganger høyere enn normalt i sedimenter ble målt nær reseanleggets avløp (B1).

Analyser av kvikksølv og bly ble utført ved NIVA ved oppslutning i salpetersyre i ett døgn ved 60°C. Metaller bundet i silikatmineraler blir ikke løst på denne måten, men denne metallfraksjonen er av mindre betydning i forurensningssammenheng ettersom den ikke inngår i noen vesentlig form for syklring i miljøet (Gupta & Chen 1975). Kvikksølv ble bestemt ved flammeløs atomabsorpsjon og bly ved grafittovn.

Nitrogen ble bestemt ved reduserende Kjellidal og fosfor ved persulfatopp-
slutning (NORDFORSK 1975:6).

Analyser av polyklorerte bifenyler (PCB), pentaklorbenzen (5CB) og

hexaklorbenzen (HCB) ble gjort på 4 overflateprøver ved Sentralinstitutt for Industriell Forskning (SI). Ca. 25 gram vått sediment ble ekstrahert 2 ganger med like deler cyclohexan/isopropanol. Cyclohexanekstraktet ble vasket, tørket, inndampet og behandlet med svovelsyre (for å skille persistente fra ikke-persistente forbindelser). Forbindelsene ble bestemt ved gasskromatografi og electron capture detector.

BESKRIVELSE AV UNDERSØKELSESOMRÅDET OG SEDIMENTENE

Sedimentprøvene ble tatt innenfor et 7,5 km² stort område, begrenset av Sjursøya - Rambergøya i nord, Langøya i vest, Malmøya - Skjerholmen i sør og fastlandet mot øst (fig. 1). Bunntopografien er karakterisert ved et 50 m dypt basseng og et grunnområde sørvest for renseanlegget. Den dypeste delen av bassenget (70-72 m) befinner seg mellom Langøya og Malmøykalven.

En sedimentundersøkelse i Oslofjorden 1966-67 (Doff 1969) omfattet også prøvetaking i Bekkelagsbassenget (4 stasjoner). Sedimentene ble her beskrevet som sort, anoksisk sapropel. Den intense sortfargen skyldes utfelling av jern-monosulfid (hydrotroilitt). Overgangen mellom sort organisk sediment og underliggende lysere leire ble funnet i 5-10 cm dyp i Bekkelagsbassenget (Doff 1969).

I 1975 utførte A/S Geoteam undersøkelser av grunn- og fundamenteringsforholdene i Bekkelagsbassenget (A/Geoteam 1975-76). Sedimentkjernene viste et sort organisk lag i de øvre desimetrene og bløt organisk leire med stor kompressibilitet under. Akustiske registreringer viste tydelig lagdeling i sedimentene. Markerte horisonter ble observert ved 1,5 og 7,5 m dybde i sedimentene. Den totale sedimenttykkelsen ble målt til \approx 44 m.

En visuell beskrivelse av sedimentprøvene innsamlet av NIVA i januar 1976 er gitt i tabell 1.

Generelt viste sedimentene et sort organiskholdig, og geléaktig overflatelag som varierte i tykkelse. Bare på en stasjon var overflatesedimentene oksy-

generte (B3). Det tykkeste laget av hydrogensulfidholdig sediment ble observert i området like utenfor utslippet fra renseanlegget og i den dypeste delen av Bekkelagsbassenget (B11). Mektigheten av de sorte anoksiske sedimentene var her 20-26 cm. De underliggende sedimentene besto av organiskholdig leire (grå-bunn). I følge Doff (1969) er disse sedimentene avsatt under oksiske (oksygenerte) forhold, mens de sorte sedimentene er avsatt under anoksiske (oksygenfrie) forhold.

Det ble ikke observert levende organismer i noen av prøvene, bortsett fra i overflatelaget på stasjon B 3 hvor det ble registrert polychaeter-rør (børstemark). Det siste skyldes at vanddybden her er bare 13 m og at oksygenforholdene i vannet antas gode. Større strømhastigheter og mindre sedimentering av organisk materiale kan også være en medvirkende årsak.

Tabell 1. Beskrivelse av sedimentene tatt i Bekkelagsbassenget,
januar 1977

| Stasjon nr. | Vanndyp (m) | Kjernelengde (cm) | Beskrivelse |
|-------------|-------------|-------------------|--|
| B1 | 34 | 50 | Sort, H ₂ S-stinkende i de øvre 26 cm. Grå-grønt sediment under. |
| B2 | 53 | 76 | Sort, H ₂ S-holdig, geléaktig lag (17 cm). Noe vekslende i farge (lyst/mørkt). Overgang til grovt sediment ved 17 cm dyp. Brunlig leire avsatt under oksiske forhold under. |
| B3 | 13 | 43 | Sandig sediment med polychaeterrør på toppen. Oksygenert i overflaten. Et 5 cm tykt H ₂ S-holdig sort lag under de øvre 2 cm. Brunlig sand under. |
| B4 | 40 | 42 | 10 cm sort H ₂ S-lag over leire m/sand og gruskorn. |
| B5 | 39 | 48 | 16 cm sort H ₂ S-lag. Brunlig leire under. |
| B6 | 57 | 55 | 9 cm sort H ₂ S-lag over leire. |
| B7 | 39 | 37 | 5-6 cm sort lag over gårbrunt sediment. Mye sagflis og gruskorn. |
| B8 | 58 | 66 | 9 cm tykt, H ₂ S-lag |
| B9 | 64 | 73 | Noe hvitfarget i overflaten. Ellers sort H ₂ S-holdig og overgang til fast leire. |

tab. forts...

Tabell 1. forts.

| Stasjon nr. | Vann dyp (m) | Kjernelengde (cm) | Beskrivelse |
|-------------|--------------|-------------------|---|
| B10 | 70 | 24,5 | Overgang mellom anoksisk og oksisk sediment ved 11 cm dyp. |
| B11 | 71 | 73 | Sort, organisk H ₂ S-holdig sediment i de øvre 20 cm. Brun leire under. |
| B12 | 56 | 70 | - |
| B13 | 57 | 48 | Noe hvitt i overflaten (bakterier?). Sort H ₂ S-stinkende sediment i de øvre 12 cm. Overgang til brun leire under. |

RESULTATER

Resultatene fra de kjemiske analysene av sedimentene er gitt i tabell 2 og 3. For å illustrere de nivåene som er funnet er en rekke resultater fra tilsvarende undersøkelser i andre områder sammenstilt i tabell 4.

Organisk materiale

I overflatesedimentene varierte mengden av organisk materiale mellom 6,3 og 28,0 %. De høyeste konsentrasjonene ble påvist nærmest renseanlegget. Hvis vi anvender en omregningsfaktor på 0,58 fra organisk materiale til organisk karbon (Loring 1976), tilsvarer dette 3,7-16,2 % organisk karbon. Dette er betydelig høyere enn gjennomsnittsverdien for kystsedimenter. (1,4 % karbon, Trask 1939). I følge Doff (1969) har sedimentene i Bekkelagsbassenget et høyere organisk innhold enn de øvrige Oslofjord-sedimentene.

Vertikalfordelingen av organisk materiale illustrert ved dybdeprofiler på stasjon B2 og B13 viser en klar økning i de øvre lag og en markert reduk-

Tabell 2. Resultater fra analysene av organisk materiale og metaller
i sedimentene fra Bekkelagsbassenget (tørrvekt)

| Stasjon | Sediment- dyp (cm) | % Fe | ppm Zn | ppm Ni | ppm Cu | ppm Cr | ppm Mn | ppm Hg | ppm Pb | % Tot-N | % Tot-P | % org.mat. | N/P | C/N |
|---------|-----------------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|---------------|-----|-----|
| B1 | 0-2 | 2,88 | 740 | 40 | 735 | 561 | 2680 | 8,40 | 140 | 0,923 | 0,380 | 28,0 | 2,4 | 18 |
| | 2-4 | 3,56 | 591 | 32 | 710 | 293 | 2240 | 2,16 | 158 | 0,856 | 0,250 | 20,2 | 3,4 | 14 |
| | 4-6 | 3,88 | 579 | 52 | 571 | 383 | 2200 | 2,56 | 132 | 0,762 | 0,180 | 18,2 | 4,2 | 14 |
| | 6-8 | 4,07 | 524 | 38 | 510 | 244 | 2230 | 3,72 | 143 | 0,683 | 0,155 | 17,2 | 4,4 | 15 |
| | 8-10 | 4,23 | 704 | 36 | 978 | 350 | 2350 | 4,50 | 172 | 0,839 | 0,155 | 19,8 | 5,4 | 14 |
| | 10-12 | 3,49 | 770 | 45 | 500 | 299 | 2200 | 2,32 | 190 | 0,884 | 0,130 | 18,5 | 6,8 | 12 |
| | 12-14 | 3,34 | 645 | 46 | 683 | 512 | 2370 | 3,28 | 255 | 0,747 | 0,135 | 18,0 | 5,5 | 14 |
| | 14-16 | 4,11 | 712 | 47 | 368 | 338 | 1690 | 2,88 | 215 | 0,465 | 0,115 | 11,6 | 4,0 | 14 |
| | 16-18 | 3,82 | 851 | 52 | 538 | 517 | 2100 | 3,60 | 215 | 0,544 | 0,125 | 13,9 | 4,4 | 15 |
| B2 | 0-2 | 2,69 | 470 | 39 | 375 | 259 | 1470 | 2,52 | 116 | 0,531 | 0,130 | 13,2 | 4,1 | 15 |
| | 2-4 | 3,95 | 428 | 48 | 476 | 190 | 1370 | 1,80 | 122 | 0,407 | 0,100 | 10,5 | 4,1 | 15 |
| | 4-6 | 3,64 | 776 | 57 | 540 | 343 | 1570 | 2,72 | 270 | 0,562 | 0,100 | 14,9 | 5,6 | 15 |
| | 6-8 | 3,84 | 437 | 42 | 194 | 175 | 1290 | 1,72 | 136 | 0,258 | 0,090 | 7,4 | 2,9 | 17 |
| | 8-10 | 3,21 | 366 | 36 | 135 | 97 | 1460 | 1,24 | 112 | 0,208 | 0,090 | 7,5 | 2,3 | 21 |
| | 10-12 | 3,32 | 319 | 46 | 163 | 120 | 1300 | 1,84 | 114 | 0,208 | 0,085 | 5,9 | 2,4 | 16 |
| | 12-14 | 3,59 | 429 | 22 | 265 | 121 | 1180 | 2,36 | 175 | 0,271 | 0,090 | 7,7 | 3,0 | 17 |
| | 14-16 | 3,89 | 408 | 32 | 166 | 79 | 1440 | 2,54 | 145 | 0,250 | 0,090 | 6,7 | 2,8 | 16 |
| | 16-18 | 2,78 | 126 | 23 | 90 | 32 | 1030 | 1,04 | 26 | 0,102 | 0,085 | 3,3 | 1,2 | 19 |
| 18-20 | 3,28 | 113 | 38 | 55 | 38 | 920 | 0,48 | 27 | 0,095 | 0,080 | 3,9 | 1,2 | 24 | |
| B3 | 0-2 | 3,58 | 637 | 49 | 269 | 136 | 1610 | 1,16 | 154 | 0,349 | 0,275 | 8,0 | 1,3 | 13 |
| B4 | 0-2 | 3,26 | 448 | 36 | 430 | 264 | 1390 | 1,04 | 123 | 0,550 | 0,125 | 14,1 | 4,4 | 15 |
| B5 | 0-2 | 3,12 | 501 | 21 | 527 | 327 | 1360 | 3,40 | 116 | 0,651 | 0,220 | 16,1 | 3,0 | 14 |
| B6 | 0-2 | 3,57 | 713 | 64 | 593 | 163 | 1830 | 2,56 | 274 | 0,566 | 0,100 | 14,4 | 5,7 | 15 |
| B7 | 0-2 | 3,96 | 846 | 59 | 484 | 236 | 2110 | 3,97 | 368 | 0,229 | 0,085 | 7,5 | 2,7 | 19 |
| B8 | 0-2 | 3,14 | 461 | 47 | 363 | 122 | 1220 | 1,44 | 115 | 0,264 | 0,095 | 6,3 | 2,7 | 14 |
| B9 | 0-2 | 3,05 | 598 | 16 | 311 | 156 | 1350 | 3,04 | 136 | 0,577 | 0,090 | 13,1 | 6,4 | 13 |
| B10 | 0-2 | 4,55 | 1320 | 32 | 569 | 144 | 2120 | 19,60 | 900 | 0,384 | 0,088 | 11,8 | 4,4 | 18 |
| B11 | 0-2 | 3,56 | 815 | 40 | 422 | 162 | 1250 | 1,96 | 185 | 0,485 | 0,105 | 10,4 | 4,6 | 12 |
| | 2-4 | 4,39 | 1028 | 53 | 558 | 250 | 1890 | 2,92 | 276 | 0,447 | 0,100 | 12,9 | 4,5 | 17 |
| | 4-6 | 2,62 | 886 | 26 | 188 | 149 | 1000 | 1,64 | 150 | 0,269 | 0,060 | 6,6 | 4,5 | 14 |
| | 6-8 | 5,01 | 781 | 49 | 277 | 326 | 2360 | 3,26 | 230 | 0,391 | 0,090 | 10,4 | 4,3 | 15 |
| | 8-10 | 4,29 | 923 | 41 | 260 | 100 | 2340 | 3,20 | 252 | 0,483 | 0,095 | 12,1 | 5,1 | 14 |
| | 10-12 | 3,95 | 568 | 44 | 142 | 62 | 2130 | 2,35 | 170 | 0,335 | 0,090 | 9,2 | 3,7 | 16 |
| | 12-14 | 4,80 | 675 | 38 | 150 | 58 | 2270 | 2,72 | 200 | 0,358 | 0,095 | 10,4 | 3,8 | 17 |
| | 14-16 | 4,43 | 558 | 39 | 120 | 66 | 2280 | 2,42 | 173 | 0,362 | 0,090 | 8,9 | 4,0 | 14 |
| | 16-18 | 4,17 | 381 | 43 | 101 | 52 | 2060 | 2,32 | 143 | 0,291 | 0,090 | 8,2 | 3,2 | 16 |
| | 18-20 | 4,26 | 242 | 47 | 48 | 51 | 2850 | 1,51 | 108 | 0,274 | 0,095 | 7,7 | 2,9 | 16 |
| | 20-22 | 4,28 | 163 | 41 | 87 | 47 | 5240 | 3,24 | 66 | 0,237 | 0,090 | 6,1 | 2,6 | 15 |
| | 22-24 | 4,21 | 142 | 45 | 45 | 42 | 4520 | 0,18 | 42 | 0,228 | 0,085 | 5,6 | 2,7 | 14 |
| | 24-26 | 4,08 | 167 | 51 | 78 | 41 | 5130 | 0,12 | 42 | 0,217 | 0,085 | 5,3 | 2,6 | 14 |
| B12 | 0-2 | 3,52 | 648 | 34 | 395 | 171 | 1610 | 8,00 | 158 | 0,483 | 0,105 | 11,0 | 4,6 | 13 |
| B13 | 0-2 | 3,36 | 500 | 31 | 372 | 190 | 1150 | 1,36 | 157 | 0,515 | 0,095 | 11,4 | 5,4 | 13 |
| | 2-4 | 3,74 | 876 | 38 | 521 | 231 | 1450 | 2,82 | 265 | 0,505 | 0,090 | 12,3 | 5,6 | 14 |
| | 4-6 | 3,82 | 820 | 48 | 426 | 232 | 1530 | 4,00 | 330 | 0,329 | 0,095 | 9,7 | 3,5 | 17 |
| | 6-8 | 3,77 | 828 | 43 | 347 | 209 | 1210 | 4,12 | 294 | 0,368 | 0,090 | 10,5 | 4,1 | 17 |
| | 8-10 | 3,98 | 678 | 38 | 341 | 193 | 1420 | 4,00 | 252 | 0,314 | 0,090 | 9,5 | 3,5 | 18 |
| | 10-12 | 3,85 | 604 | 39 | 290 | 127 | 1360 | 3,08 | 232 | 0,294 | 0,090 | 7,9 | 3,3 | 16 |
| | 12-14 | 3,55 | 98 | 39 | 39 | 42 | 890 | 0,40 | 29 | 0,110 | 0,064 | 3,6 | 1,7 | 19 |
| | 14-16 | 2,72 | 104 | 27 | 67 | 41 | 1010 | 0,12 | 26 | 0,137 | 0,084 | 3,7 | 1,6 | 15 |

Tabell 3. Klorerte hydrokarboner i overflatesedimenter fra Bekkelagsbassenget (ppb tørrvekt)

| Stasjon | PCB | 5CB | HCB |
|---------|-----|------|-----|
| B1 | 210 | ≤0,5 | ≤3 |
| B2 | 170 | 1 | 6 |
| B11 | 210 | 2 | 9 |
| B13 | 300 | 5 | 12 |

Tabell 4. Metaller og organisk materiale i kystsedimenter (gjennomsnittskonsentrasjoner),
(C, P, N og Fe i %, resten i ppm)

| Lokalitet | Referanse | Hg | Cd | Pb | Zn | Ni | Cu | Cr | Mn | Fe | C | P | N |
|-------------------------|----------------|------|------|-----|-----|----|----|-----|------|-----|------|------|------|
| Oslofjorden | Doff (1969) | - | - | 104 | 346 | 55 | 66 | 113 | 3075 | 5,7 | 3,0 | 0,12 | 0,35 |
| Ranafjorden | NIVA (1977a) | - | - | 92 | 305 | - | 60 | 59 | - | 4,4 | 4,4 | - | - |
| Stavangerfjordene | NIVA (1977b) | 0,27 | - | 49 | 117 | 18 | 20 | 26 | - | 2,1 | 6,8 | - | - |
| Frierfjorden | NIVA (1976) | 3,43 | 4,20 | 148 | 245 | 34 | 44 | - | 4492 | 2,4 | 10,8 | - | - |
| Bolstadfjord og Mofjord | Taylor (1974) | - | - | 35 | 101 | 31 | 23 | - | 1394 | 4,3 | 4,6 | 0,13 | - |
| Østersjøen | Manheim (1961) | - | - | 25 | 110 | 43 | 78 | - | 4030 | - | - | - | - |
| Saanich Inlet | Gross (1967) | - | - | 20 | 88 | 33 | 38 | - | 370 | - | - | - | - |

sjon i det grå-brune sedimentet under det sorte overflatelaget (fig.2). Det er også verdt å merke seg at det spesielt på stasjon B2 ble observert vekselvise lyse og mørke lag (se tabell 1). Dette gjenspeiler trolig de vertikale endringene i organisk materiale nedover i sedimentet på stasjon B2 (fig. 2).

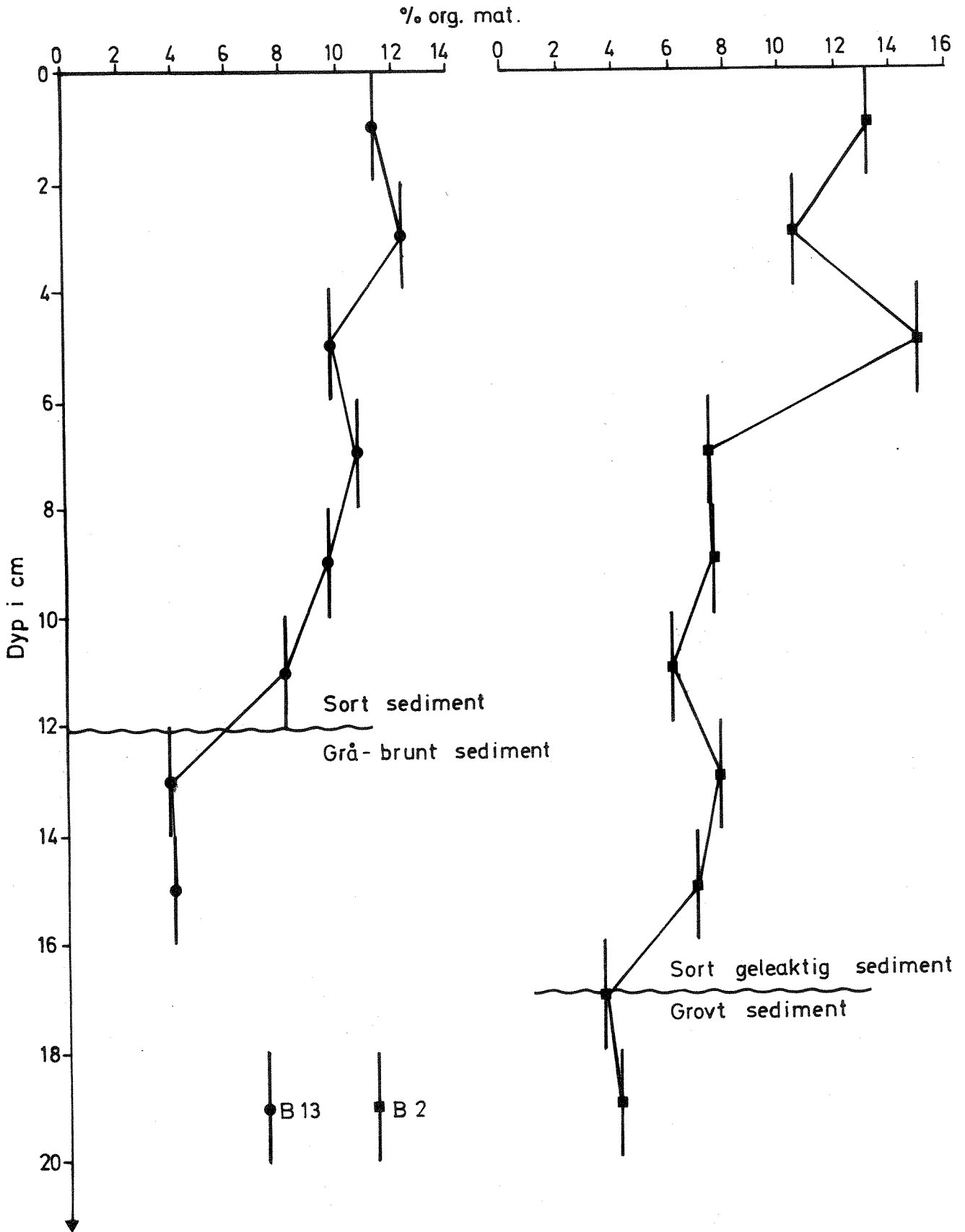


Fig. 2. Organisk materiale i sedimentene på stasjon B2 og B13.

Fosfor og nitrogen

Mengdene av fosfor og nitrogen i overflatesedimentene varierte mellom henholdsvis 0,085-0,38 % og 0,229-0,923 %. Dette betyr at bare en liten del av organisk materiale i sedimentene besto av fosfor og nitrogenforbindelser (henholdsvis 1, 3 og 3,5 %). De høyeste konsentrasjonene av fosfor i overflatesedimentene ble målt i området utenfor Bekkelaget renseanlegg. Det samme gjelder stort sett nitrogen.

Den vertikale fordelingen av fosfor og nitrogen i sedimentene fulgte generelt fordelingen av organisk materiale, spesielt nitrogen. Vektforholdet mellom nitrogen og fosfor i overflatesedimentene viser høyeste forholdstall (4-6) i de perifere områder av Bekkelagsbassenget og laveste forholdstall (1-3) nær utslippet fra renseanlegget.

Metaller

Kvikksølv

I overflatesedimentene varierte mengdene av kvikksølv mellom 1,04 og 19,6 ppm. Dette er verdier som langt overskrider normale konsentrasjoner i uforurensede sedimenter (0,05-0,1 ppm, Young et al., 1973, Skei & Paus, in prep.). Høye konsentrasjoner i overflatesedimentene ble målt ved renseanleggets utslipp (B1) og i grunnområdet vest for anlegget. Maksimumskonsentrasjonen (19,6 ppm) ble målt lengst sør i dypbassenget (B10).

Den vertikale fordelingen av kvikksølv i sedimentene i Bekkelagsbassenget viste store uregelmessigheter. Nærmest renseanlegget ble den høyeste kvikksølvkonsentrasjonen påvist i overflaten (0-2 cm), mens på de øvrige stasjoner hvor dybdeprofiler ble tatt ble maksimumskonsentrasjonene målt ved 4-10 cm dyp i sedimentet. Den mest markerte konsentrasjonsforskjellen ble registrert ved overgangen mellom anoksiske (sorte, geléaktige sedimenter) og oksiske (brunlige og siltige) sedimenter.

Bly (Pb)

Overflatekonsentrasjonene av bly i Bekkelagsbassenget varierte mellom 115 og 900 ppm og det kan derfor fastslås at hele undersøkelsesområdet er kontaminert med bly. Til sammenlikning antas gjennomsnittskonsentrasjonen av bly i uforurensede kystsedimenter å være 20 ppm (Wedepohl 1960).

Spesielt høy var konsentrasjonen av bly på stasjon B10 (900 ppm), mens de laveste konsentrasjonene ble målt i nærheten av renseanlegget (B1, B2, B4, B5 og B8).

Dybdefordelingen av bly likner mye på kvikksølv. Det er verdt å legge merke til at konsentrasjonen av bly i det tilsynelatende "normale" oksiske sedimentet i de dypeste deler av kjernen på stasjon B13 varierte mellom 26 og 29 ppm (tabell 2).

Sink (Zn)

Variasjonene i sink-konsentrasjonene i overflatesedimentene i Bekkelagsbassenget var også store (215-1320 ppm). Høye konsentrasjoner ble påvist i området vest for renseanlegget og i dypbassenget (B10). Samtlige overflatesedimenter viste høyere sinkverdier enn hva som er vanlig i uforurensede sedimenter (tabell 4).

Vertikalfordelingen av sink viste stort sett samme trend som bly.

Nikkel (Ni)

Nikkelkonsentrasjonene i overflatesedimentene var høyest rett vest for renseanlegget. I motsetning til kvikksølv, bly og sink ble det ikke påvist noe maksimum i de sørlige deler av dypbassenget. Konsentrasjonene varierte mellom 16 og 64 ppm. Doff (1969) fant en gjennomsnittskonsentrasjon i Bekkelagsbassenget på 47 ppm. Det er vanlig å finne verdier mellom 20 og 40 ppm i kystsedimenter (tabell 4).

Vertikalgradientene for nikkel i sedimentene er små.

Kopper (Cu)

Det ble funnet høye konsentrasjoner av kopper i overflatesedimentene i hele undersøkelsesområdet (269-735 ppm). Den høyeste konsentrasjonen ble målt like ved utslippet fra renseanlegget (B1).

Vertikalt er det en klar sammenheng mellom kopper, bly og sink.

Krom (Cr)

Mengdene av krom i overflatesedimentene varierte mellom 122 og 561 ppm. Dette er meget høye konsentrasjoner sammenliknet med andre fjordsedimenter (tabell 4). Konsentrasjonene var spesielt høye i området nær renseanleggets utslipp. Vertikalt ble det også påvist store gradienter og den brune leiren under det sorte organiske laget inneholdt ca. 40 ppm krom.

Mangan (Mn)

Som nevnt innledningsvis (s.10) så er resultatene fra mangan-analysene lite pålitelige og lar seg derfor ikke diskutere i detalj. I følge parallell-analysene utført på NIVA inneholdt 4 prøver mellom 230 og 570 ppm mangan. Til sammenlikning kan nevnes at Doff (1969) fant gjennomsnittlig 500 ppm mangan i sedimenter fra Bekkelagsbassenget. Dette er lave verdier sammenliknet med hva som er vanlig å finne i oksiske sedimenter (tabell 4).

Jern (Fe)

Mengdene av jern i overflatesedimentene varierte mellom 2,69 og 4,55 %. Dette må anses som relativt normale verdier for fjordsedimenter (tabell 4). De høyeste verdiene ble stort sett funnet i selve bassenget, mens verdiene i området rundt utslippet var forholdsvis lave.

Vertikalt i sedimentene ble det ikke påvist signifikante gradienter i jern-konsentrasjonene.

Persistente klorerte forbindelser

Resultatene (tabell 3) viste at de fire overflateprøvene (B1, B2, B11 og B13) inneholdt PCB som stemmer godt overens med en Clophen A60 standard-løsning (dvs. 60% kloreringsgrad). I tillegg inneholdt prøvene PCB-forbindelser som tilsvarer Aroclor 1254 (54% kloreringsgrad). Totalkonsentrasjonen av PCB var høyest på stasjon B13 (300 ppb), mens de øvrige prøvene viste noe lavere verdier. Tre overflateprøver fra fjorder omkring Stavanger viste gjennomsnittlig 120 ppb (NIVA 1977b), mens gjennomsnittet i Bekkelagsbassenget var 220 ppb.

I tillegg til PCB ble det også påvist pentaklorbenzen (5CB) og heksaklorbenzen (HCB) i prøvene fra Bekkelagsbassenget. Disse komponentene kunne ikke påvises i prøver fra Stavangerfjordene. Til sammenlikning ble det målt konsentrasjoner mellom 2 og 5500 ppb 5CB og 6 og 10910 ppb HCB i sedimenter fra Frierfjorden (NIVA 1976a).

DISKUSJON

Analysene av sedimentprøvene omfatter tre kategorier:

- 1) organisk materiale (glødetap, fosfor og nitrogen)
- 2) metaller og
- 3) persistente organiske forbindelser (klorerte hydrokarboner).

Utbredelsen av disse stoffene bør ses i sammenheng for om mulig å påvise sikre kilder og for å kunne forklare hvilke mekanismer som fører til akkumulering av disse stoffene i sedimentene i Bekkelagsbassenget. Problemet man i første rekke støter på er de store horisontale variasjonene i konsentrasjonsnivå i Bekkelagsbassenget. For å kunne utjevne de lokale variasjonene vil det være hensiktsmessig å inndele stasjonene områdevis og beregne gjennomsnittskonsentrasjonen for hvert område, for å kunne påvise trend i resultatene. Hvis vi antar at utslipp fra Bekkelaget renseanlegg i store trekk er bestemmende for sammensetningen av overflatesedimentene i bassenget, kan vi dele stasjonene i fire områder: 1) ved utslippsstedet (B1), 2) indre basseng (B2, B4 og B5), 3) midtre basseng (B6, B7 og B8) og 4) ytre basseng (B11, B12 og B13). De øvrige stasjoner (B3, B9 og B10) antas å være såpass perifere mht. den direkte påvirkningen av utslippet

fra renseanlegget at de bør diskuteres separat.

Organisk materiale

De faktorer som i første rekke bestemmer innholdet av organisk materiale i sedimentene er:

1. Tilførsel (produksjon av organisk materiale i vannmassen og transport av terrestrisk organisk materiale - naturlig og via forurensning).
2. Nedbrytning (avhenger av oksygeninnholdet i bunnvannet, sedimentenes kornstørrelse og kvaliteten på det organiske materialet).
3. Fortynning (tilførsel av uorganiske sedimenter).

Tilførsel av organisk materiale til sedimentene i Bekkelagsbassenget må antas å skje ved planktonproduksjon i vannmassen og ved utslipp fra Bekkelaget renseanlegg. I hvilken grad tilførsler fra indre deler av Oslo havnebasseng influerer på sedimentene i Bekkelagsbassenget er ikke kjent. Målinger av oksygen i dypvannet i Bekkelagsbassenget har vist at for store deler av året eksisterer oksygenfrie (anoksiske) forhold ved dyp større enn 50 m (NIVA, upubl.). Dette tilsier at alt organisk materiale som synker til bunns i selve bassenget må nedbrytes ved anoksiske nedbrytningsprosesser som skjer når fritt oksygen er ikke tilstede. Resultatet er en akkumulering av organisk materiale i sedimentene. Undersøkellesområdet er ikke videre influert av elvetransportert materiale, slik at fortynningen med uorganiske sedimenter blir liten i Bekkelagsbassenget. Diverse aktiviteter på land i det aktuelle området (byggeaktiviteter, utfyllinger etc.) vil imidlertid lokalt kunne bidra med uorganiske sedimenter.

Utbredelsen av organisk materiale uttrykt som glødetap viser generelt avtakende konsentrasjon fra utslippsstedet til ytre basseng (fig.3). Årsaken til at sedimentene i midtre basseng inneholdt noe mindre organisk materiale enn ytre basseng har trolig sammenheng med at midtre basseng er grunnere (spesielt stasjon B7) og således mindre utsatt for hydrogensulfid i vannmassen over.

Den horisontale fordelingen av nitrogen og fosfor viser samme trend som organisk materiale (fig. 3) med avtakende konsentrasjoner fra utslippet mot ytre basseng. Den sterke korrelasjonen mellom totalt nitrogen og organisk

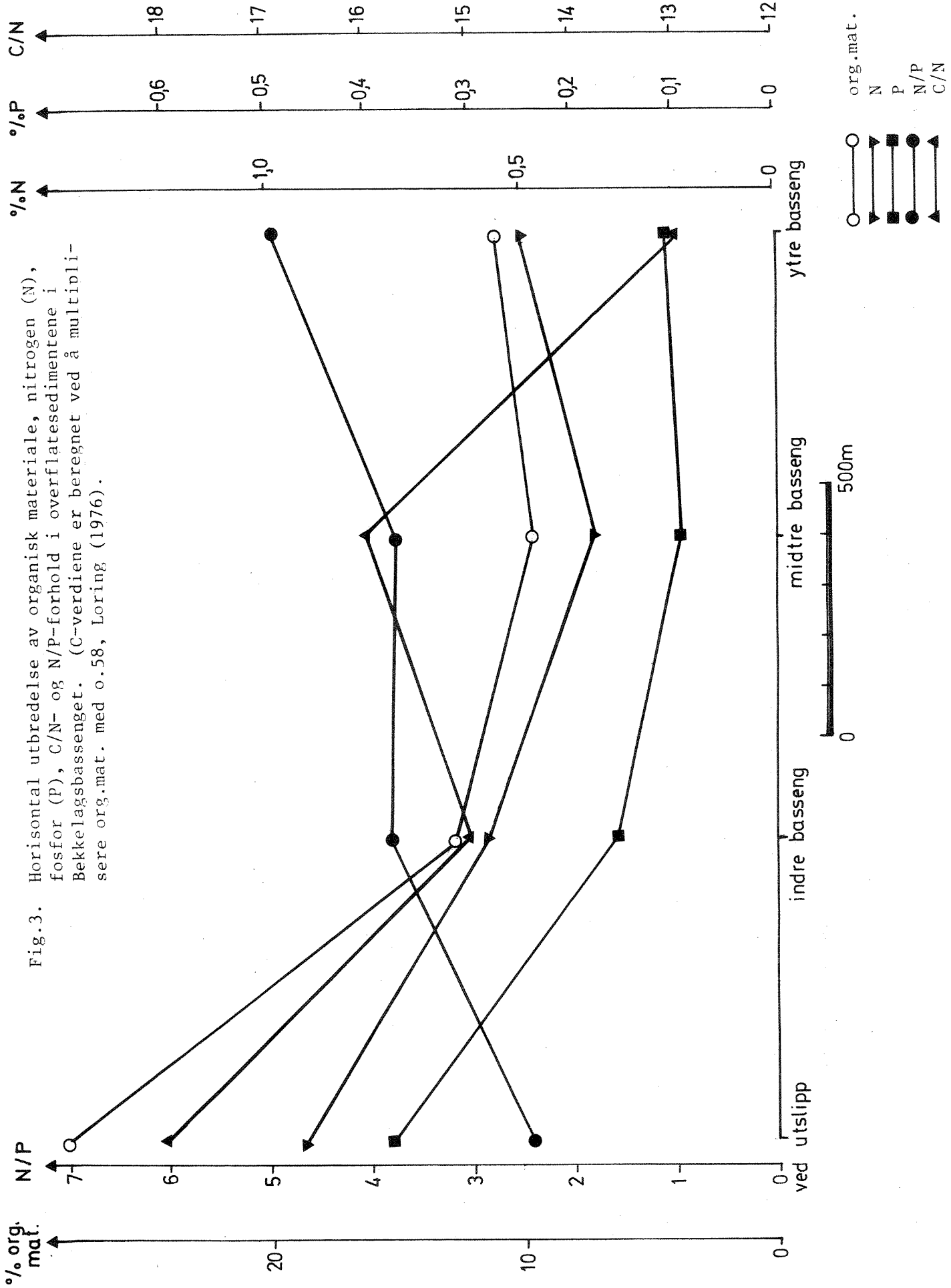


Fig.3. Horisontal utbredelse av organisk materiale, nitrogen (N), fosfor (P), C/N- og N/P-forhold i overflatesedimentene i Bekkelagsbassenget. (C-verdiene er beregnet ved å multiplisere org.mat. med 0.58, Loring (1976)).

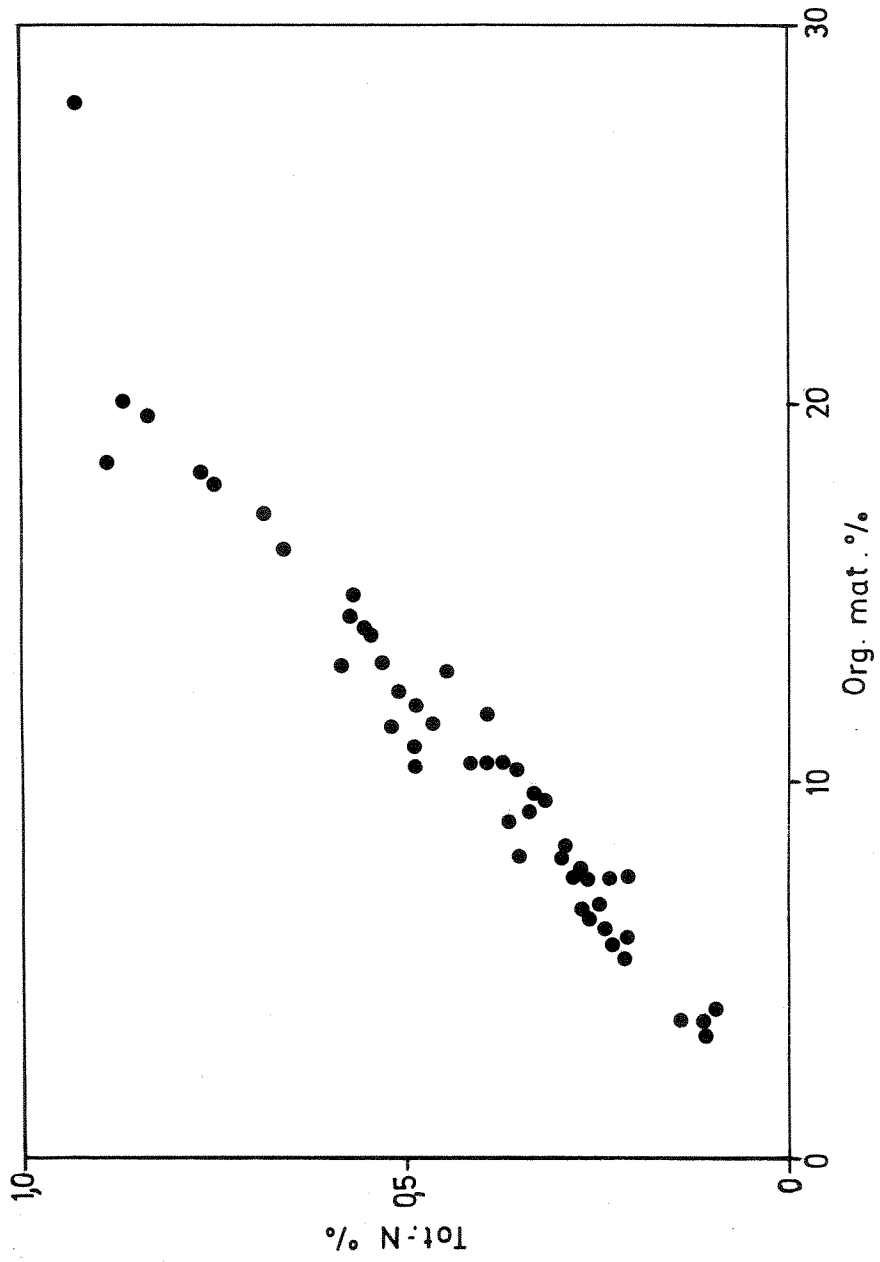
materiale vist i fig. 4 indikerer at mesteparten av nitrogenet er organisk bundet. I følge Poon & Sheih (1976) er 90% av totalt nitrogen i marine sedimenter assosiert med organisk materiale, mens en liten fraksjon av nitrogenet kan være til stede som ammonium bundet til leirmineraler (Stevenson 1962). Når organisk materiale i anoksiske sedimenter nedbrytes, frigis nitrogen som ammonium. Dette kan til en viss grad akkumuleres oppløst i sedimentets porevann (Rittenberg et al. 1955).

I motsetning til nitrogen foreligger fosfor hovedsakelig i uorganisk form i marine sedimenter (80-85% uorganisk iflg. Poon & Sheih 1976). Dette skyldes frigjøring av fosfor i organisk materiale og tilstedeværelse av fosfor i apatitt og jernfosfater. Ved å plote fosfor mot organisk materiale for prøvene fra Bekkelagsbassenget framkommer et bilde som er noe forskjellig fra nitrogen og organisk materiale (fig. 5). Prøver fra området nær renseanleggets utslipp viser høyere fosfor konsentrasjoner relativt til organisk materiale enn de øvrige prøvene. Forskjellen i fordelingen av nitrogen og fosfor i sedimentene kan også illustreres ved N/P-forholdet. Dette forholdet er mye lavere i umiddelbar nærhet av renseanlegget enn i ytre basseng (fig. 3). Forklaringen på dette kan være at materialet som sedimenterer nær utslippet er rikere på fosfor enn det som sedimenterer i de perifere deler av Bekkelagsbassenget. I så fall kan det bety at i de indre deler av Bekkelagsbassenget er renseanlegget den viktigste kilden for det organiske materialet, mens i de øvre deler av bassenget er det organiske materialet sterkere influert av marint organisk materiale som følge av planktonproduksjon.

N/P-forholdet i det partikulære organiske materialet i renseanleggets avløpsvann er ikke kjent, men ettersom mye av nitrogenet i avløpsvannet antas å foreligge som løst ammonium er dette forholdstallet trolig lavt. Fosfor som ikke er blitt tatt ut under renseprosessen vil sannsynligvis foreligge i form av jernfosfat-partikler og dette vil også kunne medføre en reduksjon i N/P-forholdet i sedimentene.

I tillegg til N/P-forholdet viser C/N-forholdet i overflatesedimentene at det organiske materialet som sedimenterer i indre basseng har en annen sammensetning enn det man finner lenger ute i bassenget. Fig. 3 viser at C/N-forholdet i sedimentene avtar med avstanden fra utslippet. Organisk materiale med høye C/N-forhold er karakteristisk for materiale av terrestrisk opprinnelse og som har høyt humusinnhold (Doff 1969, Loring 1976).

Fig.4. Forholdet mellom totalt nitrogen (Tot-N) og organisk materiale (org.mat.) i sedimentene fra Bekkelagsbassenget.



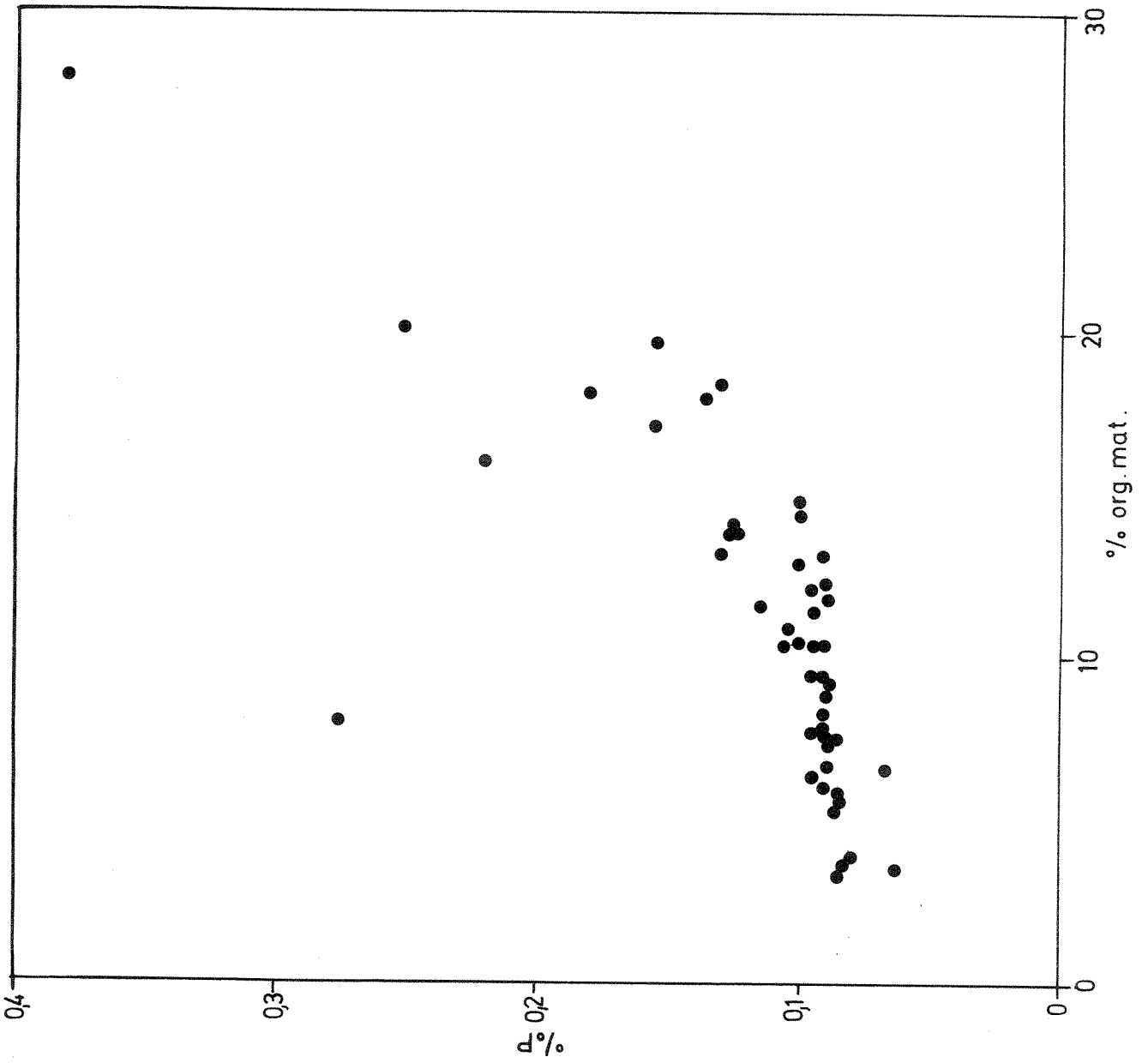


Fig. 5. Forholdet mellom fosfor (P) og organisk materiale (org.mat.) i sedimentene fra Bekkelagsbassenget.

Dette støtter antakelsen om at det organiske materialet som sedimenterer i indre basseng stammer hovedsakelig fra renseanlegget, men at det organiske materialet i ytre deler av bassenget er sterkt iblandet organisk materiale av marin opprinnelse.

Av andre faktorer som kan virke inn på konsentrasjonene av fosfor og nitrogen i sedimentene er redoksforholdene og de organiske komponentenes forskjellige evne til å frigis og fikseres i sedimentene. Frigivelse av fosfor på grunn av oppløsning av jernfosfater, er et kjent fenomen (Lee & Chen 1977). Dette kan også virke inn på N/P-forholdet i sedimentene i Bekkelagsbassenget. Variasjoner i sedimentasjonshastigheten innen undersøkelsesområdet kan også ha en betydning. I følge driftsanalyser på renseanlegget for 1976 slippes det daglig ut ca. 3 tonn partikulært organisk materiale. Det er derfor grunn til å tro at sedimentasjonshastigheten i utslippsområdet er betydelig større enn ellers i bassenget. Det kan bety at labile fosfor-forbindelser har en større tendens til å akkumulere nær utslippet enn i ytre deler av Bekkelagsbassenget.

Mens den horisontale utbredelsen av organisk materiale, nitrogen og fosfor, som hittil er omtalt, gir informasjon om den resente sedimentasjonen av organisk materiale og sammensetningen og opphavet til dette materialet, gir den vertikale fordelingen informasjon om den historiske utviklingen i sedimentet og hvordan nedbrytningen av organisk materiale skjer.

De øvre deler av sedimentkjernene (B1, B2, B11 og B13) viste alle høyere innhold av organisk materiale enn dypere sjikt. Ved utslippet var konsentrasjonene av organisk materiale høyere enn 11,6% selv ved 16-18 cm dyp. Det sorte organiskholdige laget strakk seg her til 26 cm dyp. På stasjon B2 ble det registrert en klar overgang mellom organisk sediment og grovt uorganisk sediment ved 17 cm dyp, noe som ga tydelig utslag på dybdeprofilen for organisk materiale (fig.2). I dypbassenget på stasjon B11 ble den samme overgangen registrert ved 22-24 cm dyp og på stasjon B13 ved 12-14 cm dyp (fig. 2). Mektigheten av det sorte organiskholdige sedimentlaget er tydeligvis bestemt av sedimentasjonshastigheten og graden av anoksisitet. Den store tilførselen av organisk materiale nær renseanleggets utslipp fører til stor akkumulering av organisk slam. I dypbassenget (71 m) ventes sterkt

reduserende forhold og organisk materiale hoper seg opp som følge av sakte nedbrytning.

Doff (1969) hevder på grunnlag av målinger av sulfid og organisk materiale at de sorte sedimentene i Oslofjorden er avsatt under anoksiske forhold mens den underliggende grå-brune silten er avsatt under oksygenerte forhold. Han mener videre at overgangen til anoksiske forhold i sedimentene i Oslofjorden skjedde i nyere tid, hovedsakelig på grunn av økende organisk belastning. Tilsvarende sedimenter fra Frierfjorden er blitt datert ved bly-210 analyser og overgangen mellom oksiske og anoksiske sedimenter ble tidsbestemt til ca. 1870 (NIVA unpubl.).

Nedbrytning av organisk materiale i sedimentene kan illustreres ved N/P-forhold og C/N-forhold. For tre av N/P-profilene (B2, B11 og B13) er det en generell reduksjon i N/P-forhold nedover i sedimentet. Ved utslippet (B1) er det derimot en økning i N/P-forhold i dypere lag. Avtakende N/P-forhold antas å skyldes at nitrogenet omdannes raskere enn fosfor i sedimentene. Dette er også i overensstemmelse med Doff (1969). Når N/P-forholdet like ved utslippet øker med dybden i stedet for å minke, antas dette å skyldes rask akkumulering av labile fosforforbindelser, som lett frigis fra sedimentene.

Den vertikale fordelingen av C/N-forholdet viser små gradienter, men det er visse indikasjoner på at C/N-forholdet i overflatesedimentene er noe lavere enn lengre nede i sedimentet. Dette er også blitt konstatert av Seki et al. (1968) og Niemistö & Voipo (1974) i Østersjøen, og skyldes at nitrogenet frigjøres noe raskere enn karbon når organisk materiale nedbrytes.

Metaller

Den andre kategorien analyser som ble utført på sedimentene var metallanalyser. De parametrene som ble valgt innbefatter de metaller man vanligvis finner oppkonsentrert i forurensede fjordsedimenter. Metaller er ikke naturfremmede stoffer og forekommer derfor i små mengder i alle typer geologisk materiale. Bakgrunnsnivået for de enkelte metaller varierer

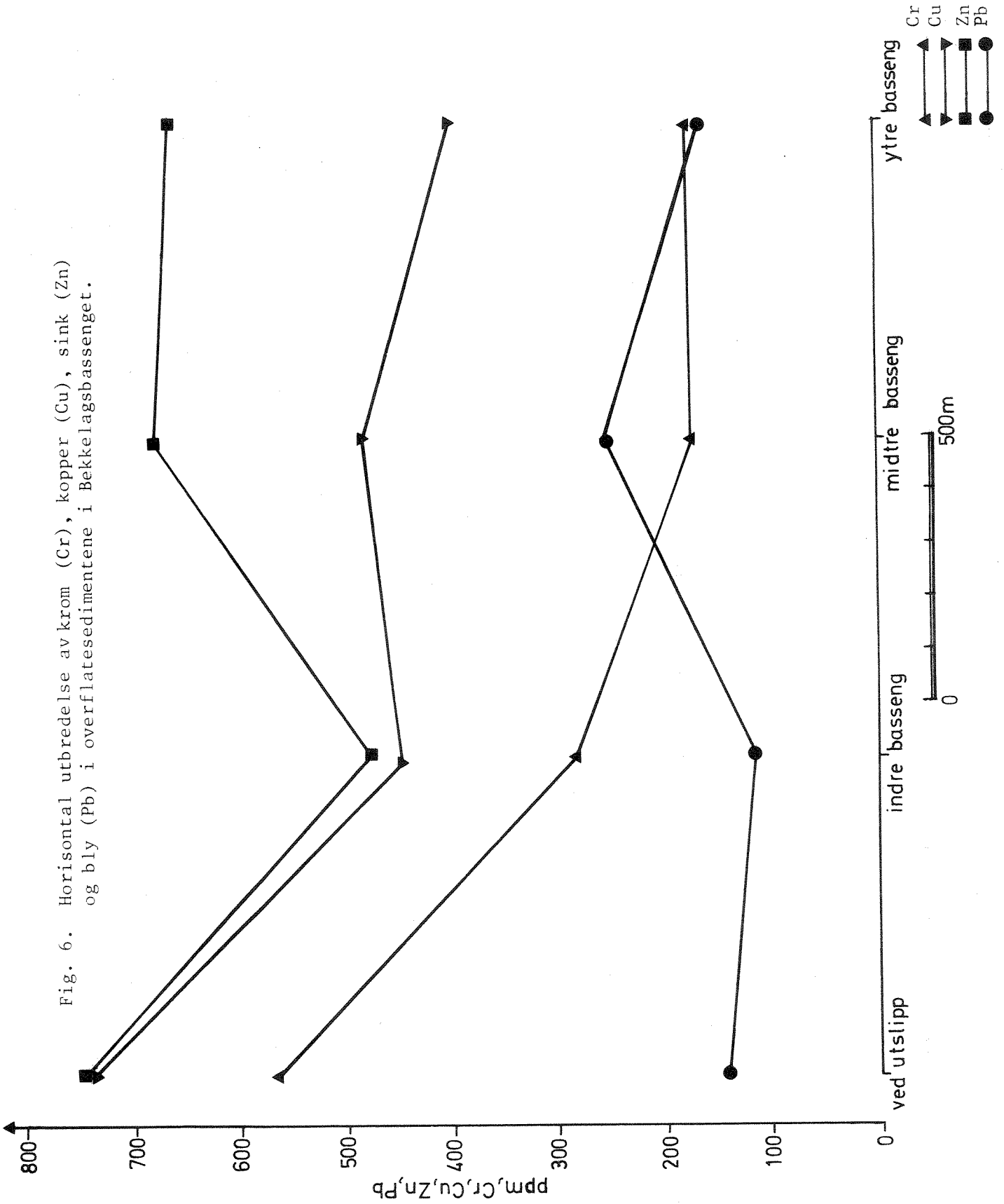
betydelig, avhengig av sedimentenes kornstørrelse, organiske innhold og redoksforhold. Sand inneholder nesten uten unntak langt mindrespormetaller enn leire, og minerogene sedimenter inneholder vanligvis lavere konsentrasjoner av metaller enn organiske sedimenter. Dette henger sammen med metallenes evne til å adsorberes til små partikler og til å danne organiske komplekser. Enkelte metaller har en tendens til å oppkonsentreres noe i anoksiske sedimenter. Dette kan til dels være et resultat av de store mengdene av organisk materiale i anoksiske sedimenter, men også på grunn av dannelser av tungtløslige metallsulfider (f.eks. kopparsulfid). Andre metaller (f.eks. mangan) viser spesielt lave verdier i anoksiske sedimenter da disse frigis til vannmassen (Lu & Chen 1977).

Disse naturlige anrikningsprosessene må vurderes når vi skal bedømme forurensningsgraden i sedimentene og i hvilken grad sedimentet kan betegnes som en potensiell forurensner.

Av de analyserte metallene viste sink, kopper, krom, kvikksølv og bly størst oppkonsentrering relativt til antatte bakgrunnsnivå. Størst anrikning viste kvikksølv hvor maksimumskonsentrasjonen var ~ 100 ganger høyere enn normalt. Alle de ovennevnte metaller opptrer i konsentrasjoner som overskrider naturlig anrikning som følge av anoksisitet og høyt organisk innhold.

Fordelingen av kopper, sink og bly i overflatesedimentene har mye til felles ved å vise høye konsentrasjoner på stasjon B10, B7 og ved utslippet (B1). Det er vanskelig å se klare avstandsgradienter for disse metallene (fig. 6) og å fastslå kilden for metallene. Det er imidlertid påfallende at maksimumskonsentrasjonene for kopper, bly og sink sammenfaller stort sett med de høyeste C/N-forholdene i overflatesedimentene (tabell 2). Det ser derfor ut til at kopper, bly og sink er assosiert med terrestrisk, humusholdig organisk materiale i sedimentene og i så fall er avløpsvann fra renseanlegget den mest sannsynlige kilden. Imidlertid kan ikke andre ukjente forurensningskilder utelukkes. Hvorvidt metallene er knyttet til organisk materiale eller er til stede som metallsulfider i de anoksiske sedimentene kan ikke forutsies uten sulfidanalyse. Men på bakgrunn av de store mengdene av organisk materiale i sedimentene er det god grunn til å tro at kopper, bly og sink hovedsakelig er organisk bundet.

Fig. 6. Horizontal utbredelse av krom (Cr), kopper (Cu), sink (Zn) og bly (Pb) i overflatesedimentene i Bekkelagsbassenget.



Krom er det metallet som klarest viser en trend med høyest konsentrasjon ved utslippsstedet og avtakende konsentrasjoner utover bassenget (fig.6). Det er vanlig å finne oppkonsentrering av krom i områder som er influert av kloakkslam (Papakostidés et al. 1975). Doff (1969) observerte en klar anrikning av krom i sedimentene fra Bekkelagsbassenget relativt til andre basseng i Oslofjorden. Når krom viser en fordeling i overflatesedimentene som skiller seg fra kopper, bly og sink kan dette ha sammenheng med forskjeller i tilstandsform i avløpsvannet. Det er sannsynlig at kopper, bly og sink foreligger hovedsakelig i løst form (organiske komplekser) i avløpsvannet mens krom er knyttet til kloakkpartikler (se Morel et al. 1975). I følge Rohatgi & Chen (1975) skyldes den lave løsligheten av krom at dette metallet ikke danner løslige komplekser. Av den grunn sedimenterer kopper, bly og sink lenger borte fra utslippsområdet enn krom.

Fordelingen av kvikksølv i overflatesedimentene viste påfallende høye konsentrasjoner i Bekkelagsbassengets søndre del (B9 og B10) og vest for utslippet. Fordelingen er ikke ulik den for kopper, bly og sink (fig. 7) og er trolig bestemt av tilstedeværelsen av organisk materiale med høyt C/N-forhold. I en forurenset fjord i Kanada ble det også funnet en sammenheng mellom sedimenter med høyt kvikksølvinnhold og organisk materiale med høyt C/N-forhold (Loring 1975). Men det bør igjen påpekes at andre kilder enn avløpsvann fra renseanlegget kan influere på nivået av kvikksølv i sedimentene i Bekkelagsbassenget. Det er så vidt man vet ikke foretatt undersøkelser av kvikksølv i sedimentene i Oslofjorden tidligere.

Verken jern eller nikkel opptrer i overflatesedimentene i konsentrasjoner som kan tyde på forurensning. Konsentrasjonene av jern er høyest i de perifere deler av Bekkelagsbassenget. Trolig skyldes dette utfelling av jernsulfid i de sterkt anoksiske sedimentene i dypbassenget. Nikkelkonsentrasjonene er høyest i det midtre bassenget (fig. 7), men selv her er de ikke høyere enn konsentrasjoner funnet i de øvrige basseng i Oslofjorden (Doff 1969). Årsaken til at det ikke kan registreres noen signifikant forurensning av nikkel i sedimentene trass i at nikkel vanligvis opptrer i kloakkvann, kan skyldes at nikkel er til stede i løst form (Morel et al. 1975) og at nikkel ikke har samme affinitet til partikler som kopper, bly og sink (Rohatgi & Chen 1975).

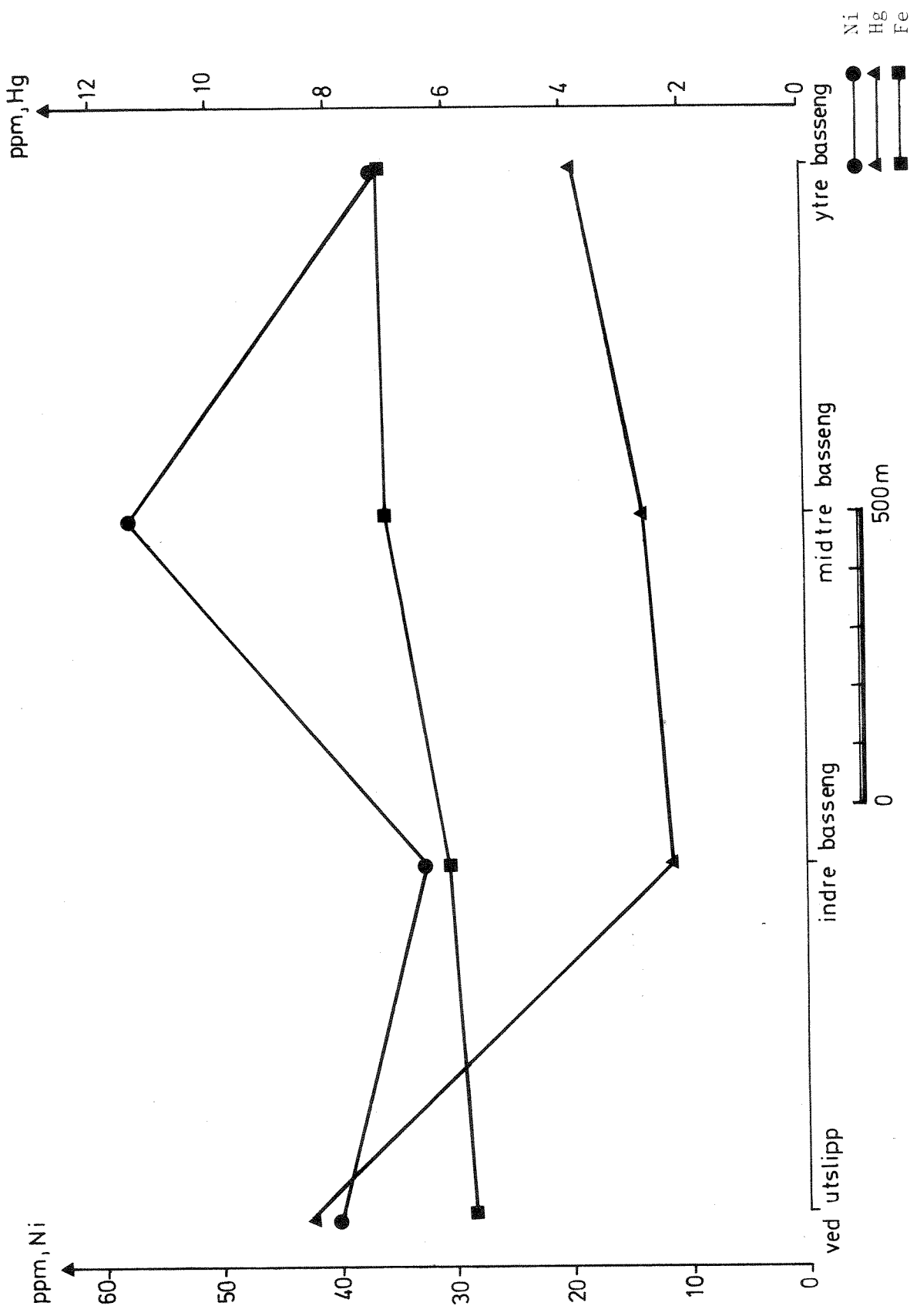


Fig. 7. Horisontal utbredelse av nikkel (Ni), kvikksølv (Hg) og jern (Fe) i overflatesedimentene i Bekkelagsbassenget.

Mens konsentrasjonene av metaller i overflatesedimentene viser den resente metallbelastningen og fordelingen av denne belastningen innen Bekkelagsbassenget, viser den vertikale fordelingen tendenser i utviklingen av metallforurensningen. Dette forutsetter imidlertid at metallene ikke er mobile og at de er så sterkt fiksert i sedimentene at det ikke skjer noen vertikal transport av metaller etter at sedimentene er avsatt. Dette er imidlertid ikke tilfelle, da det alltid vil skje omvandlingsprosesser (diagenese) i sedimentene som vil føre til en viss resirkulering av metaller (Elderfield & Hepworth 1975). Metaller bundet til organisk materiale vil bli frigjort og diffunderer oppover i sedimentets porevann når de organiske forbindelsene nedbrytes. Transport av metaller nedover i sedimentet vil skje i svært liten målestokk, bortsett fra i oksiske sedimenter hvor organismer i sedimentene frakter metaller nedover (bioturbasjon). Det siste vil ikke kunne skje i Bekkelagsbassenget, da sedimentene er anoksiske. Den naturlige modifiseringen av de vertikale metallprofilene nevnt ovenfor foregår imidlertid i liten målestokk og vil ikke influere vesentlig på profilenes form. Derfor vil vertikalprofilene kunne gi informasjon om den sivilisatoriske metallpåvirkningen.

Både kopper, bly, sink, krom og kvikksølv viser vertikalprofiler som i store trekk er like (fig. 8) og som også har mye til felles med vertikalprofilen for organisk materiale (fig. 2). Det siste tyder på at organisk materiale er bestemmende for hvor mye metaller sedimentene inneholder.

Det er ellers klart at anrikningen av disse metallene starter ved overgangen mellom oksiske og anoksiske forhold i Bekkelagsbassenget. Metallforurensningen følger således den organiske belastningen. For å vurdere om økningen i metaller kun skyldes en økning i organisk materiale i de anoksiske sedimentene, kan det være hensiktsmessig å se på forholdet mellom metall og organisk materiale. Beregninger ut fra resultatene i tabell 1 viser at metall/organisk materiale-forholdet i de underliggende oksiske sedimentene er langt lavere enn i de anoksiske sedimentene over. Det betyr at anrikningen av kopper, bly, sink, krom og kvikksølv i de øvre 10-15 cm av sedimentene i Bekkelagsbassenget trolig skyldes økende tilførsel av metaller det siste århundre. Når denne økningen startet kan ikke fastslås uten isotopdateringer av sedimentene.

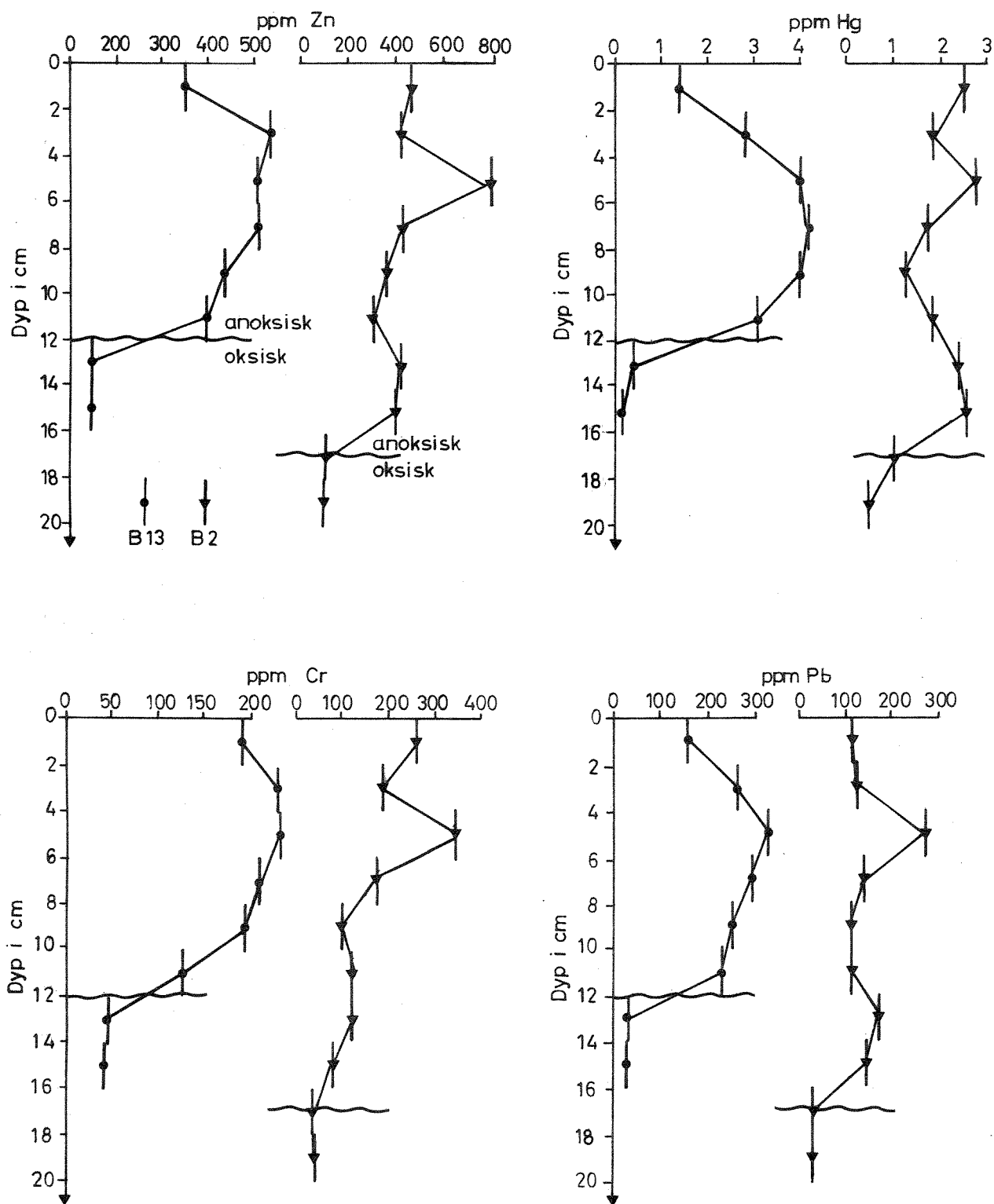


Fig. 8. Vertikale profiler for sink (Zn), kvikksølv (Hg), krom (Cr) og bly (Pb) på stasjonene B2 og B13 i Bekkelagsbassenget.

Vertikalfordelingen av nikkel og jern viser ingen signifikante gradienter. Det ble heller ikke observert horisontale gradienter i overflatesedimentene i Bekkelagsbassenget, og disse metallene er derfor ikke influert av forurensning av sedimentene i Bekkelagsbassenget.

Persistente organiske forbindelser

Målinger av PCB, HCB og 5CB i fire overflateprøver fra Bekkelagsbassenget viste små, men signifikante konsentrasjoner, dvs. at det er spor av påvirkning. Lavest var konsentrasjonene nær utslippet fra renseanlegget og høyest lengst nord i bassenget. Om det siste skyldes tilførsler fra indre del av Oslofjorden eller det er andre forhold som spiller inn, kan ikke fastslås på grunnlag av tilgjengelige data.

SAMMENFATTENDE VURDERING

Analyser av organiske komponenter og metaller i sedimentene utenfor Bekkelaget renseanlegg viser tydelig oppkonsentrering av organisk materiale, kopper, bly, sink, krom og kvikksølv i de øvre 5-25 cm av sedimentet. Dette sedimentlaget tilsvarer det sorte, sulfid-holdige materialet som er avsatt på toppen av oksygenert leirig silt. Mektigheten av dette laget er størst ved renseanleggets utslippssted (tykkelse=26 cm) og i det sentrale dypbassenget (tykkelse=20 cm). Mektigheten av det anoksiske slammet er minst i bassengets grunnområde.

Oppkonsentreringen av organisk materiale antas å skyldes stor tilførsel av organiske partikler fra renseanlegget, sedimentering av planktonrester særlig i bassengets perifere deler og at anoksiske forhold ved bunnen fører til sakte nedbrytning av organisk materiale. Sedimentene har et høyt C/N-forhold som er karakteristisk for humusholdig, terrestrisk materiale. Nitrogenet er hovedsakelig organisk bundet, mens en betydelig del av fosforet er uorganisk bundet, spesielt i nærheten av utslippet. Vertikalprofiler for nitrogen og fosfor og C/N- og N/P-forholdene indikerer at frigivelsen foregår i rekkefølgen N>C>P når organisk materiale nedbrytes. Fosforet som avsettes i nærheten av utslippet ser ut til å frigis lett, noe som tyder på tilstedeværelse av jernfosfater.

Fordelingen av metaller i overflatesedimentene viser avtakende konsentrasjoner fra renseanleggets utslipp og utover for krom, mens fordelingen av kopper,

bly, sink og kvikksølv er noe mere uregelmessig. Høye konsentrasjoner av de sistnevnte metaller sammenfaller tildels med høye C/N-forhold i overflate-sedimentene, slik at disse metallene tilsynelatende er assosiert med humusholdig organisk materiale. Når krom skiller seg fra de andre metallene kan dette henge sammen med metallenes tilstandsform i avløpsvannet fra renseanlegget. Krom er trolig knyttet direkte til kloakkslampartikler, mens de øvrige metallene foreligger organisk kompleksert i løstform. Jern og nikkel viser ingen anrikning i sedimentene i Bekkelagsbassenget til tross for at nikkel er en vanlig komponent i kloakkvann. Det siste skyldes trolig at nikkel holder seg i løst form i vannmassen.

Vertikale variasjoner i metallkonsentrasjonene følger stort sett variasjoner i innholdet av organisk materiale i sedimentene. Forholdet mellom metall og organisk materiale er betydelig høyere i det sorte anoksiske sedimentet enn i det oksiske sedimentet under. Dette indikerer at oppkonsentreringen i de øvre sedimentlagene i de senere årtider ikke alene skyldes akkumulering av organisk materiale, men også økende tilførsler av metaller til Bekkelagsbassenget.

Resultatene som er framlagt reiser spørsmålet om hvorvidt akkumuleringen av organisk materiale og metaller i bunnsedimentene i Bekkelagsbassenget kan påvirke det øvrige miljø i området. Det er kjent at bunnorganismer som lever i sedimenter med høyt metallinnhold tar opp tildels store mengder metaller. I Bekkelagsbassenget derimot er sedimentene anoksiske og abiotiske, slik at dette er ikke relevant. Det som gjenstår er derfor sedimentenes influering på bunnvannets sammensetning og de organismer som befinner seg i vannmassen. Sedimenter med høyt organisk innhold legger stort beslag på oksygenet i vannmassen over og medvirker dermed til en forringelse av vannkvaliteten. Anoksiske sedimenter frigjør dessuten store mengder fosfat og trolig også ammonium som virker gjødselende på vannmassen og stimulerende på algeveksten. Virkningen av høye konsentrasjoner av metaller i sedimentene er mest aktuell i forbindelse med fornying av bunnvannet i Bekkelagsbassenget. Når anoksiske vann skiftes ut med oksiske vann vil de prosesser som skjer ved overgangen mellom vann og sediment endres. En anoksiske mikrofauna vil bli erstattet av en oksiske mikrofauna og kjemiske oksidasjonsprosesser vil angripe oskyderbare forbindelser. Resultatet kan være at metaller frigis

fra sedimentene og vannet over øker sitt metallinnhold hver gang bunnvannet skiftes ut i Bekkelagsbassenget. Dette ble konstatert i Frierfjorden (NIVA 1976b) og ved eksperimentelle forsøk (Lu & Chen 1977) for kopper, bly og sink. I Frierfjorden økte konsentrasjonene av kopper, bly og sink 3-4 ganger i dypvannet etter en dypvannsutsiftning. Graden av frigivelse av metaller vil imidlertid avhenge av i hvilken form metallene er bundet til sedimentene. Konklusjonen må bli at sedimentene i bassenget temporært kan føre til en økning i metallkonsentrasjonene i vannet og at dette bør studeres nærmere.

REFERANSER

Bothner, M. H. & R. Carpenter, 1973

The rate of mercury loss from contaminated estuarine sediments in Bellingham Bay, Washington.

Proceed. of the 1st annual NSF Trace Contaminants Conf., Oak Ridge National Laboratory, aug. 8.-10., 1973. p.198-210.

Doff, D. H., 1969

The geochemistry of Recent oxic and anoxic sediments of Oslo fjord, Norway.

Unpubl. Ph.D.Thesis, Univ. of Edinburgh, 245p.

Elderfield, H. & A. Hepworth, 1975

Diagenesis, metals and pollution in estuaries.

Mar.Poll.Bull., 6, p.85-87.

A/S Geoteam, 1975-76

Undersøkelse av grunn- og fundamenteringsforholdene for difusorledning ved Bekkelaget renseanlegg.

Rapport 4257.02.

Grieve, D. A. & W. K. Fletcher, 1976

Heavy metals in deltaic sediments of the Fraser River, British Columbia.

Can.J.Earth Sci., 13, p.1683-1693.

Gross, M. G., 1967

Concentrations of minor elements in diatomaceous sediments of a stagnant fjord.

In: Estuaries (Lauff, G. H. ed.). Am.Ass.Adv.Sci.Publ. 83, Washington, D.C., pp.273-282.

Gupta, K. & K. Y. Chen, 1975

Partitioning of trace metals in selective chemical fractions of nearshore sediments.

Environmental Letters, 10(2), pp.129-158.

Hallberg, R. O., 1974

Paleoredox conditions in the eastern Gotland Basin during the recent centuries.

Havforskningsinstitutets Skrift (Helsinki), 238, pp.3-17.

Loring, D. H., 1975

Mercury in the sediments of the Gulf of St. Lawrence.

Can.J.Earth Sci., 12, pp.1219-1237.

Loring, D. H., 1976

The distribution and partition of zinc, copper and lead in the sediments of the Saguenay fjord.

Can.J.Earth Sci., 13, pp.960-971.

Lu, J. C. S. & K. Y. Chen, 1977

Migration of trace metals in interfaces of seawater and polluted surficial sediments.

Env.Sci.Technol., 11, pp.174-182.

Lynn, D. C. & E. Bonatti, 1965

Mobility of manganese in diagenesis of deep-sea sediments.

Mar.Geol., 3, pp.457-474.

Manheim, F. T., 1961

A geochemical profile in the Baltic Sea.

Geochim.Cosmochim.Acta, 25, pp.52-70.

Morel, F. M. M., J. C. Westall, C. R. O'Mella & J. J. Morgan, 1975

Fate of trace metals in Los Angeles County wastewater discharge.

Env.Sci.Tech., 9, pp. 756-761.

Niemistö, L., 1974

A gravity corer for studies of soft sediments.

Havforskningsinstituttets Skrift, 238, pp.33-38.

Niemistö, L. & A. Voipo, 1974

Studies on the recent sediments in the Gotland Deep.

Havforskningsinstituttet Skrift (Helsinki), 238, pp.17-33.

NIVA, 1976a

Resipientundersøkelse av nedre Skienselva, Frierfjorden og tiliggende fjordområder. Rapport nr. 3. Fremdriftsrapport fra de sedimentgeokjemiske undersøkelsene i juli 1975. 0-111/70.

Forfatter: J. Skei. Stensilert, 60s.

NIVA, 1976b

Resipientundersøkelse av nedre Skienselva, Frierfjorden og tiliggende fjordområder. Rapport nr. 5. Fremdriftsrapport fra de hydrokjemiske undersøkelsene mars 1974 - desember 1975. 0-111/70.

Saksbehandler: J. Molvær. Stensilert, 143s.

NIVA, 1977a

Resipientundersøkelse i Ranafjorden.

Rapport nr. 2. Innledende hydrografiske, geokjemiske og biologiske undersøkelser.

Saksbehandler: L. A. Kirkerud. Stensilert, 141s.

NIVA, 1977b

Kjemisk/biologiske undersøkelser i fjordene omkring Stavangerhalvøya, september 1976. Preliminær rapport. 0-82/76.

Saksbehandler: T. Bokn. Stensilert, 39s.

NORDFORSK, 1975:6

Interkalibrering av sedimentkjemiske analysemetoder. II.

19s.+bilag.

- Papahostides, G., A. P. Grimanis, D. Zafiropoulos, G. B. Griggs
& T. S. Hopkins, 1975
Heavy metals in sediments from the Athens sewage outfall area.
Mar.Pollut.Bull., pp.136-139.
- Poon, C. P. C. & J. M. S. Sheih, 1976
Nutrient profiles of bay sediments.
Journ. of W.P.C.F., 48, pp.2007-2017.
- Rittenberg, S. C., K. O. Emery & W. L. Orr, 1955
Regeneration of nutrients in sediments of marine basins.
Deep-sea Res., 3, pp.23-45.
- Rohatgi, N. & K. Y. Chen, 1975
Transport of trace metals by suspended particulates on mixing with
seawater.
Journ. of W.P.C.F., 47, p.2298-2316.
- Seki, H., J. Skelding & T. R. Parsons, 1968
Observations on the decomposition of a marine sediment.
Limnol.Oceanogr., 13, pp.440-447.
- Skei, J. M. & P. E. Paus, in prep.
Surface metal enrichment and partitioning of metals in dated
sediments from a Norwegian fjord.
- Stevenson, F. J., 1962
Chemical state of the nitrogen in rocks.
Geochim.Cosmochim.Acta, 26, pp. 797-809.
- Taylor, J. H., 1974
The geochemistry of fjords of south-west Norway.
Ph.D.-thesis, Univ. of Edinburgh, 138pp. (Unpub.).

Trask, P. D., 1939

Organic content of recent marine sediments.

In: Trask, P. D. (ed.). Recent marine sediments.

Am.Ass.Petrol.Geol.Tulsa, Okl., pp.428-453.

Wedepohl, K. H., 1972

In: "Handbook of Geochemistry"

Vol. II-3, 30/K-1-13, Springer-Verlag.

Young, D.R., J. N. Johnson, A. Soutar & J. D. Isaacs, 1973

Mercury concentrations in dated varved marine sediments collected
off Southern California.

Nature, 244, pp.273-275.

SKE/KAR

5.8.1977