



DR-1754

Rapport 193/85

Oppdragsgiver

Statens forurensningstilsyn

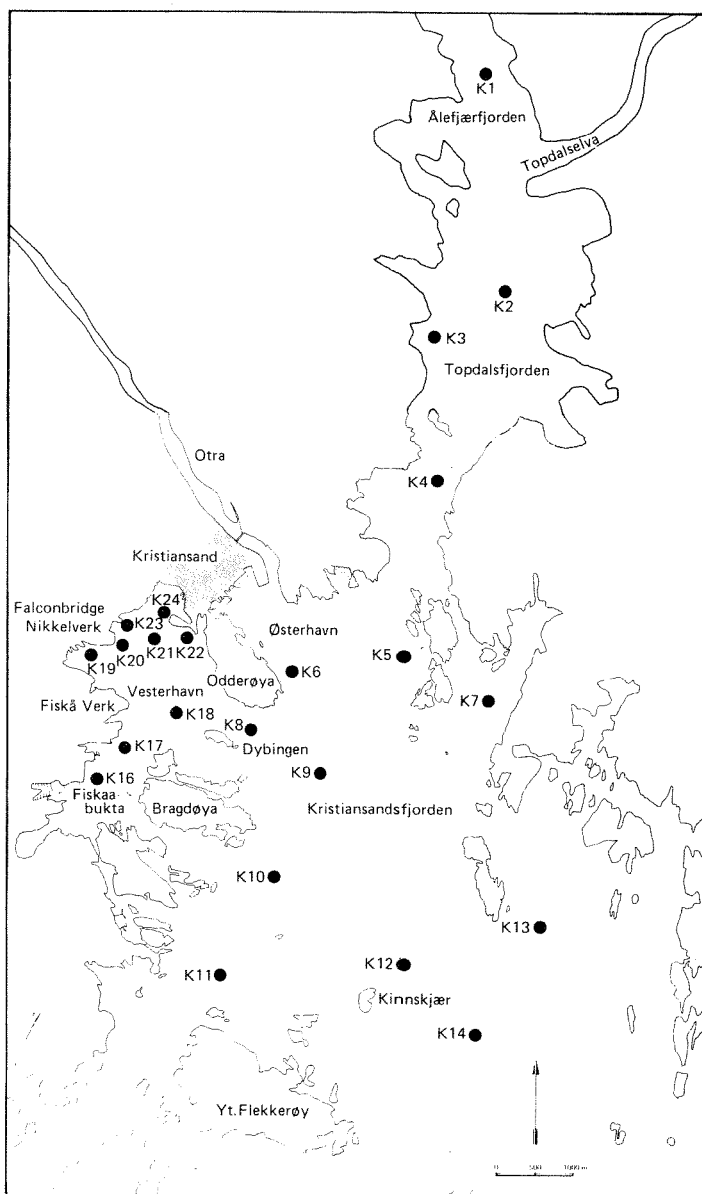
Deltakende institusjon

NIVA

Basisundersøkelse av Kristiansandsfjorden

Delrapport 2

Metaller i vannmassene,
metaller og organiske
miljøgifter i sedimentene, 1983





Statlig program for forurensningsovervåking

Det statlige programmet omfatter overvåking av forurensningsforholdene i

**luft og nedbør
grunnvann
vassdrag og fjorder
havområder**

Overvåkingen består i langsiktige undersøkelser av de fysiske, kjemiske og biologiske forhold.

Hovedmålsettingen med overvåkingsprogrammet er å dekke myndighetenes behov for informasjon om forurensningsforholdene med sikte på best mulig forvaltning av naturressursene.

Hovedmålet spenner over en rekke delmål der overvåkingen bl.a. skal:

gi informasjon om tilstand og utvikling av forurensningssituasjonen på kort og lang sikt.

registrere virkningen av iverksatte tiltak og danne grunnlag for vurdering av nye forurensningsbegrensende tiltak.

påvise eventuell uheldig utvikling i resipienten på et tidlig tidspunkt.

over tid gi bedre kunnskaper om de enkelte vannforekomsters naturlige forhold.

Sammen med overvåkingen vil det føres kontroll med forurensende utslipp og andre aktiviteter.

For å sikre den praktiske koordineringen av overvåkingen av luft, nedbør, grunnvann, vassdrag, fjorder og havområder og for å få en helhetlig tolkning av måleresultatene er det opprettet et arbeidsutvalg.

Følgende institusjoner deltar i arbeidsutvalget:

**Direktoratet for vilt og ferskvannsfisk (DVF)
Fiskeridirektoratets Havforskningsinstitutt (FHI)
Norges Geologiske Undersøkelser (NGU)
Norsk institutt for luftforskning (NILU)
Norsk institutt for vannforskning (NIVA)
Statens forurensningstilsyn (SFT)**

Overvåkingsprogrammet finansieres i hovedsak over statsbudsjettet. Statens forurensningstilsyn er ansvarlig for gjennomføring av programmet.

Resultater fra de enkelte overvåkingsprosjekter vil bli publisert i årlige rapporter.

Henvendelser vedrørende programmet kan i tillegg til de aktuelle institutter rettes til Statens forurensningstilsyn, Postboks 8100, Dep. Oslo 1, tlf. 02 - 22 98 10.



Statlig program for forurensningsovervåking

0-8000353

BASISUNDERSØKELSE AV KRISTIANSANDSFJORDEN

Delrapport II: Metaller i vannmassene,
metaller og organiske
miljøgifter i sedimentene, 1983.

Grimstad, 25. september 1985

Prosjektleder: Kristoffer Næs

NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

Hovedkontor Sørlandsavdelingen Østlandsavdelingen Vestlandsavdelingen
Postboks 333 Gooseveien 36 Rute 866 Breiviken 2
0314 Oslo 3 4890 Grimstad 2312 Ottestad 5035 Bergen - Sandviken
Telefon (02)23 52 80 Telefon (041)43 033 Telefon (065)76 752 Telefon (05)25 53 20

| | |
|-------------------------|-----------|
| Prosjektnr.: | 0-8000353 |
| Undernummer: | |
| Løpenummer: | 1754 |
| Begrenset distribusjon: | |

| | |
|--|--------------------------------|
| Rapportens tittel: BASISUNDERSØKELSE I KRISTIANSANDS-FJORDEN. Delrapport II. Metaller i vannmassene, metaller og organiske miljøgifter i sedimentene, 1983. (Overvåkingsrapport nr. 193/85) | Dato: 25. september-85 |
| | Rapportnr. 0-8000353 |
| Forfatter (e): Kristoffer Næs | Faggruppe: HYDROØKOLOGISK |
| | Geografisk område: Vest-Agder |
| | Antall sider (inkl. bilag): 62 |

| | |
|---|----------------------------------|
| Oppdragsgiver: Statens forurensningstilsyn (SFT) (Statlig program for forurensningsovervåking) | Oppdragsg. ref. (evt. NTNF-nr.): |
|---|----------------------------------|

Ekstrakt: Sedimentene i Vesterhavn/Fiskaabukta-området er meget sterkt forurenset av metaller og organiske miljøgifter med konsentrasjoner opptil henholdsvis 800 og >10 000 ganger normalt. Konsentrasjoner av løst metall i vannmassene på opptil 80x normalt ble funnet for nikkel nær Falconbridge. Verdiene i Vesterhavn/Fiskaabukta for løste metaller generelt var <5 ganger normalt bortsett fra nikkel (20x). Utbredelsen av forurensningene tyder på Falconbridge Nikkelverk A/S som hovedkilde for metall og klororganiske tilførsler, mens Fiskaa Verk har hatt et tidligere utslipp av polysykliske aromatiske hydrokarboner. Bortsett fra klororganiske forbindelser var ytre fjordområde syd for Vesterhavn og også Topdalsfjorden lite forurenset. Otra, sannsynligvis i hovedsak fra Hunsfoss fabrikker, bidrar med persistent organisk bundet klor. Verdiene ved utløpet av elva var ca 1/10 av verdiene nær Falconbridge.

| |
|---------------------------------------|
| 4 emneord, norske: |
| 1. Forurensningsovervåking; 1983 |
| 2. Kristiansandsfjorden |
| 3. Vann - sedimenter |
| 4. Metaller |
| Klororganiske forbindelser |
| Polysykliske aromatiske hydrokarboner |

| |
|----------------------------------|
| 4 emneord, engelske: |
| 1. Pollution Monitoring; 1983 |
| 2. Kristiansandsfjorden |
| 3. water - sediments |
| 4. metals |
| chloroorganics |
| polycyclic aromatic hydrocarbons |

Prosjektleder:

Kristoffer Næs

For administrasjonen:

Jan Hauken

Poly Sørensen

Programleder, overvåking

ISBN 82-577-0947-6

FORORD

Foreliggende rapport utgjør en del av basisundersøkelsen i Kristiansandsfjorden under Statlig program for forurensningsovervåkning, administrert av Statens forurensningstilsyn (SFT). Undersøkelsene er finansiert av SFT, Kristiansand og Vennesla kommuner, Falconbridge Nikkelverk A/S, Elkem A/S-Fiskaa Verk, Hunsfoss Fabrikker og Høie Fabrikker og er gjennomført av NIVA etter oppdrag for SFT.

Denne delrapporten omhandler metaller i vannmassene og metaller og organiske miljøgifter i sedimentene. Andre deler av basisundersøkelsen omfatter:

- kartlegging av forurensningstilførsler
- beskrivelse av hydrofysiske forhold (ferskvannstilførsel, saltholdighet, oksygen, lagdeling, vannbevegelse og vannutskifting)
- vannkjemi/vannkvalitet (gjødselstoffer, planteplanktonbiomasse, vannets vekstegenskaper, partikkelinnhold og gjennomskinnelighet)
- dyrelivet på bløtbunn
- miljøgifter i organismer (tang, muslinger, fisk o.a.)

Analyser av metaller i vann, klororganiske forbindelser i sedimentet og scanning elektronmikroskopi er utført ved Senter for Industrieforskning (SI) ved henholdsvis Beate Enger, Kari Martinsen og Kari Baardseth.

Aldersdatering av sedimenter er gjort ved Harwell Environmental and Medical Sciences Division, England og analyser av metaller, organisk materiale og polysykliske hydrokarboner i sedimentet er utført ved NIVA's laboratorier.

Tom Einar Pedersen, Vannlaboratoriet, Agder Distriktshøgskole
takkes for velvillig assistanse under feltarbeidet.

Ved NIVA har Jarle Molvær hatt ansvaret for koordineringen av
delprosjektene.

Grimstad, september 1985

Kristoffer Næs

INNHOLDSFORTEGNELSE

| | SIDE |
|---|------|
| FORORD | |
| 1. KONKLUSJONER OG SAMMENDRAG | 4 |
| 2. INNLEDNING | 8 |
| 3. MATERIALE OG METODER | 9 |
| 4. RESULTATER OG DISKUSJON | 11 |
| 4.1. Metaller i vannmassen | 11 |
| 4.1.1. Løst form | 11 |
| 4.1.2. Partikulær form | 18 |
| 4.2. Sedimenter | 20 |
| 4.2.1. Generell beskrivelse | 20 |
| 4.2.2. Metaller i sedimentene | 24 |
| 4.2.3. Polysykliske aromatiske hydrokarboner, PAH | 35 |
| 4.2.4. Klororganiske forbindelser | 41 |
| 5. AVSLUTTENDE KOMMENTAR | 50 |
| 6. LITTERATUR | 51 |
| 7. APPENDIKS | 54 |

1. KONKLUSJONER OG SAMMENDRAG

Undersøkelsene av metaller i vann og metaller og organiske miljøgifter i sedimentene, har hatt følgende hovedmål:

1. Kartlegge utbredelsen av forurensninger av metaller og organiske miljøgifter. Supplere tidligere undersøkelser.
2. Spore kilder og transport av forurensede utslipp.
3. Undersøke utviklingen i forurensningsbelastning.

Undersøkelsen har også hatt delmålene:

- kartlegge forholdet mellom løste og partikulære metaller
- registrere effekter, om mulig, av utslippsreduksjon fra Falconbridge Nikkelverk A/S juli 1982
- relatere sedimentenes sammensetning til typen av partikulært suspendert materiale i vannmassene.

Hovedkonklusjonene er:

- I Sedimentene i Vesterhavn/Fiskaabukta-området er meget sterkt forurensset av metaller og organiske miljøgifter med konsentrasjoner opptil henholdsvis 800 og >10 000 ganger normalt. Konsentrasjoner av løst metall i vannmassene på opptil 80x normalt ble funnet for nikkel nær Falconbridge. Verdiene i Vesterhavn/Fiskaabukta for løste metaller generelt var <5 ganger normalt bortsett fra nikkel (20x). Utbredelsen av forurensningene peker på Falconbridge Nikkelverk A/S som hovedkilde for metall og klororganiske tilførsler, mens Fiskaa Verk har hatt et tidligere utslipp av polysykliske aromatiske hydrokarboner.
- II Bortsett fra klororganiske forbindelser, var vann og sedimenter i ytre fjordområde syd for Vesterhavn og også Topdals-

fjorden lite forurenset. Otra tilfører persistent organisk bundet klor, sannsynligvis i hovedsak fra utslipp fra Hunsfoss fabrikk.

III Konsentrasjonene av løste metaller i vannmassene var i 1983 betraktelig redusert i forhold til midt i 70-åra. Vannprøver fra analyser av løste metaller er imidlertid for få til å dokumentere effektene av utslippsreduksjoner ved Falconbridge fra juli 1982. De høyeste konsentrasjonene av metaller og klororganiske forbindelser ble funnet i sedimentoverflaten, men dette er et gjennomsnitt av de siste 2-5 år, slik at utslippsreduksjoner i de seneste åra ikke avdekkes. Høye konsentrasjoner av polysykliske aromatiske hydrokarboner i sedimentene utenfor Fiskaa Verk skyldes sannsynligvis tidligere utslipp.

SAMMENDRAG

1. Metaller i vannmassene

Nær Falconbridge Nikkelverk A/S var konsentrasjonene av løste metaller i vannmassene av nikkel ca 80 ganger normalt, kobber 6-10. Høye verdier ble også funnet for bly og kvikksølv, men analytiske problemer gjør verdiene usikre. I Vesterhavn/Fiskaa-bukta var metallkonsentrasjonene <5 ganger normalt, bortsett fra nikkel (20 x normalt). I ytre fjordområde dvs. øst og syd for Bragdøya-Odderøya (fig. 1) var verdiene normale. Falconbridge Nikkelverk A/S antas å være hovedkilden. Bidraget fra Otra var lite.

Sammenlignet med midt i 70-årene er konsentrasjonene betraktelig lavere. Hyppigheten av prøveinnsamlingen er imidlertid for liten til klart å dokumentere effekten av utslippsreduksjon ved Falconbridge fra juli 1982.

2. Metaller i sedimentene

De høyeste konsentrasjonene for hele området ble funnet i Vesterhavn nær Falconbridge med opptil 800x normalverdi for

nikkel og 500 for kobber. Middelveidene i Vesterhavn/Fiskaa-bukta som helhet var: nikkel og kobber ca. 150x normalt, arsen 100, bly 35, krom 25, kobolt 10, sink 4 og jern 3x normalt.

Konsentrasjonene avtok raskt mot ytre fjordområde/syd for Odderøya-Bragdøya, som var lite forurenset med verdier på 1-5x normalt, høyest for nikkel.

Topdalsfjorden var svakt til moderat påvirket med verdier på 1-10x normalt. Mer enn 5x normalt ble målt for nikkel, kobber og bly og skyldes sannsynligvis tilførsler fra diverse aktiviteter (industri, avrenning fra jordbruk, flyplass o.s.v.).

Konsentrasjonene av kvikksølv, sink og kadmium var relativt lave i hele området, bortsett fra nær Falconbridge der kadmium var 10x forhøyet.

En tildels sterk innbyrdes sammenheng mellom nikkel på den ene siden og kobber, kobolt og jern ($r = 0,75 - 0,95$) peker på Falconbridge som hovedkilde.

En vertikalprofil i sedimentet midt i Vesterhavn viste at de høyeste konsentrasjonene var i sedimentoverflaten. Resultatene fra overflatesedimentene (0-1 cm) gir imidlertid et gjennomsnitt for de siste 2-5 år. Effekten av utslippsreduksjonene fra Falconbridge kan derfor foreløpig ikke registreres med denne metoden.

3. Organiske miljøgifter i sedimentene

3.1. Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH)

I Vesterhavn nær Fiskaa Verk var verdiene meget høye, opptil 800x bakgrunn og skyldes i hovedsak tidligere utslipp fra elektrodemassefabrikk og kjøletårn. Variasjon i konsentrasjon med sedimentdyppet viste at utslippene var redusert/opphevet.

I ytre fjordområde var verdiene ca 3x normalt.

3.2. Polyklorerte bifenyler (PCB)

Verdiene var relativt lave, lavere enn f.eks. i Oslofjorden eller i Hvalerområdet. Det er vanskelig å direkte angi overkonsentrasjoner på grunn av dårlig kjente bakgrunnsverdier. Verdiene i sedimentoverflaten var imidlertid 140x høyere enn på 8-10 cm dyp i sedimentene.

3.3. Klorerte benzener og klorerte styrener

I Vesterhavn, spesielt nær Falconbridge, var konsentrasjonene særdeles høye. Sammenlignet med den mest belastede delen av Frierfjorden var verdiene 60x høyere for klorbenzener og 15x høyere for klorstyrener. Det er vanskelig å angi kontamineringsgrad for disse miljøfremmede stoffene, men overkonsentrasjonene er i størrelsesorden 10 000 - 100 000 ganger jevnført med nivåer i sedimenter fra områder uten punktkilder.

Konsentrasjonene avtok raskt mot ytre fjordområde, men selv her var overkonsentrasjonene 10 - 1 000 ganger "normalt".

To til 34 % av den persistente klormengden var bundet til identifiserbare og kvantifiserbare forbindelser.

God samvariasjon mellom heksaklorbenzen/oktaklorstyren og nikkel ($r = 0,99$) underbygger konklusjonen om Falconbridge som hovedkilde.

3.4. Ekstraherbart persistent organisk bundet klor

De høyeste verdiene ble funnet nær Falconbridge, imidlertid var verdiene nær utløpet av Otra (K6) også relativt høy, 1/10 av konsentrasjonen nær Falconbridge, men 10 ganger konsentrasjonen i ytre fjordområde. 2 % av de organiske klorforbindelsene lot seg identifisere på stasjon K 6, mens 23 % nær Falconbridge. Det kan tyde på annen sammensetning av disse forbindelsene som tilføres med Otra sammenlignet med de nær Falconbridge. Hovedkilde for tilførsler til Otra er sannsynligvis Hunsfoss fabrikk.

2. INNLEDNING

Generell beskrivelse

Fjordområdene rundt Kristiansand deles her grovt i Topdalsfjorden med Ålefjærfjorden og selve Kristiansandsfjorden, fig. 1.

Kristiansandsfjorden har ingen terskler, mens Topdalsfjorden og Ålefjærfjorden har terskler på henholdsvis ca 40 m og ca 25 m dyp. Overflatelaget er preget av ferskvannstilførslen fra Otra (årsmiddel ca 150 m³/s) og Topdalselva (årsmiddel ca 60 m³/s).

Området tilføres store mengder forurensende stoffer fra kommunal kloakk og industrielt avløpsvann. Regnet som nitrogen og fosfor tilfører kommunalt avløpsvann fjordområdene og Otra ca. 82 000 p.e. I tillegg tilføres kommunal kloakk fra øvre deler av Otra.

Fra industri slippes det ut/har vært sluppet ut tildels store mengder forurensninger hvor spesielt metaller og klororganiske miljøgifter fra Falconbridge Nikkelverk A/S, polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) fra Fiskaa Verk og forurensninger fra treforedlingsindustri i nedre deler av Otra er viktige. En nøyere kartlegging av bedriftenes utslipp gjøres av Statens forurensningstilsyn.

Tidligere undersøkelser

Etter ca 1915 er det utført en rekke undersøkelser dels av generell karakter som omhandler hydrografi/kjemi, geokjemi og biologi, og dels av spesiell karakter angående forskjellige sider ved forurensningssituasjonen i fjordområdet. En oversikt over dette er gjort av Molvær (1981).

3. MATERIALE OG METODER

Vannprøver for metallanalyser ble innsamlet den 18-19/4-83 og 22-23/11-83 med 1,7 l HydroBios vannhentere og trykkfiltrert med nitrogen gjennom 0,4 µm Nuclepore membranfiltre. Filtratet ble analysert for løst nikkel, kobber, jern, bly, kadmium, kvikksølv, sink, krom, arsen ved atomabsorpsjon etter MIBK-APDC ekstraksjon. Utvalgte filtre ble analysert ved scanning electronmikroskopi tilkopleet røntgenanalysator. Hensikten med to prøveinnsamlinger var å dekke vår/sommer og høst/vinter situasjon, perioder med forskjellig ferskvannstilførsel og primærproduksjon.

Sedimentprøver ble innsamlet 19-20/4-83, tilleggsprøver for PAH 23/11-83, med Niemistö "gravity corer" (Niemistö, 1974) og snittet i 1 eventuelt 2 cm (prøver for analyse av PAH, klororganiske forbindelser) intervaller. Prøvene ble analysert for organisk karbon, total nitrogen ved CHN-elementanalysator, for jern, sink, kobber, nikkel, krom, kadmium, kvikksølv, arsen ved atomabsorpsjon etter oppslutning med 50 % salpetersyre (ved NIVA). Prøver fra valgte stasjoner ble analysert for innhold av polisykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) ved gasskromatografi etter ekstraksjon med cyklohexan (ved NIVA) og for klororganiske forbindelser ved gasskromatografi/massespektrofotometer etter ekstraksjon (ved SI).

Analyser av metall- og PAH innhold ble gjort på størrelsesfraksjonen <63 µm. Kjerner fra tre stasjoner ble aldersdatert ved bly-210 isotopen (Harwell, England).

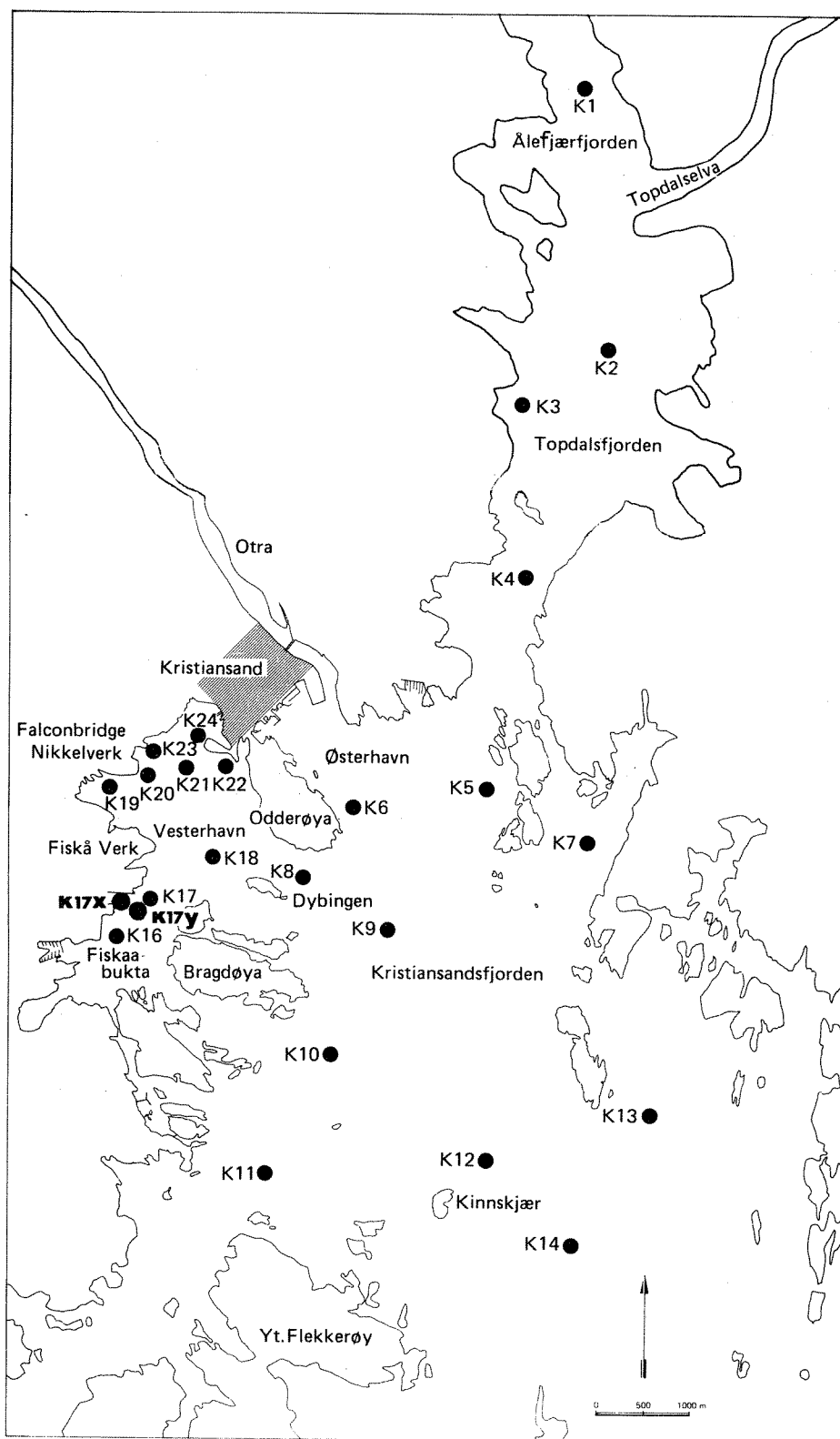


Fig. 1. Stasjonsoversikt.

4. RESULTATER OG DISKUSJON

4.1. Metaller i vannmassen

Nær Falconbridge Nikkelverk A/S var konsentrasjonene i vannmassene av løst nikkel ca 80 ganger normalt, kobber 6-10. Høye verdier ble også observert for bly og kvikksølv, men analytiske problemer gjør verdiene usikre. I Vesterhavn/Fiskaabukta var metallkonsentrasjonene generelt <5 ganger normalt bortsett fra nikkel (20x normalt). I området utenfor Bragdøya-Odderøya var verdiene normale. Falconbridge Nikkelverk A/S antas å være hovedkilden, mens bidraget fra Otra var lite.

4.1.1. Løst form

Fjordområdet rundt Kristiansand tilføres metaller ved avrenning fra land/elvetransport og ved direkte utslipp fra industri og befolkning. Utslippstall fra de enkelte bedrifter er mangelfulle. Det dominerende bidraget må imidlertid antas å komme fra Falconbridge Nikkelverk A/S. Fabrikken reduserte sine utslipp i juli 1982. I følge opplysninger fra fabrikken var utslippene før og etter reduksjonen:

Tabell 1. Metallutslipp fra Falconbridge Nikkelverk A/S
(kg/døgn).

| | 1981 (etter Molvær 1981) | Pr. jan/feb. 1983 Iflg. SFT |
|---------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| Ni oppløst i jernslam | ca 300 " 200 | totalt 211 |
| Cu oppløst i jernslam | ca 80 " 80 | " 53 |
| Co oppløst i jernslam | ca 10 " 10 | " 9,4 |
| Pb totalt | ca 100 | " 0,13 |
| As som jernarsenat | ca 450 | " 0,5 |
| Zn | ca 10 | - |
| Fe som jernhydroksyd oppløst | ca 5000 " 1000 | " 4,0 |

Det generelle bilde av metallanalysene (rådata i appendikstabell A1, s. 53) er forhøyede verdier i Vesterhavn/Fiskaabukta - området, og nær normale verdier i ytre fjordområder, det vil si selve Kristiansandsfjorden utenfor Bragdøya - Odderøya.

Sammenlignes verdiene med "normal-verdier" for relativt upåvirket kystvann (Riley & Chester 1971, Olafson 1982, Magnusson & Rasmussen 1982) observeres følgende overkonsentrasjoner (observert verdi dividert med "normalverdi"):

Tabell 2. Konsentrasjoner (k) i $\mu\text{g/l}$ og overkonsentrasjoner (ok, observert verdi dividert med "normalverdi") i overflatevann (0-1 m) for arsen (As), kobber (Cu), nikkel (Ni), bly (Pb) og kvikksølv (Hg).

| | April 1983 | | | | | | | | | |
|---|---------------|----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-------|------|
| | As | | Cu | | Ni | | Pb | | Hg | |
| | k | ok | k | ok | k | ok | k | ok | k | ok |
| Ved Falconbridge (høyeste verdi K20, 21 eller 23) | 2,8 | ~3 | 8,6 | ~10 | 85 | ~80 | 1,7 | ~30 | <0,04 | <2 |
| Midt i Vesterhavn (K18) | 1,0 | ~1 | 3,9 | ~4 | 19 | ~20 | <0,5 | <10 | <0,04 | <2 |
| Ytre fjordområde (K12) | 0,8 | ~1 | 1,0 | ~1 | 2,2 | ~2 | <0,5 | <10 | <0,04 | <2 |
| | November 1983 | | | | | | | | | |
| | As | | Cu | | Ni | | Pb | | Hg | |
| | k | ok | k | ok | k | ok | k | ok | k | ok |
| Ved Falconbridge (høyeste verdi K20, 21 eller 23) | 2,8 | ~3 | 5,7 | ~6 | 82 | ~80 | 25 | | 2,2 | ~100 |
| Midt i Vesterhavn (K18) | 1,4 | ~1 | 1,5 | ~1 | 4,1 | ~4 | <0,5 | <10 | 0,2 | ~10 |
| Ytre fjordområde (K12) | 1,3 | ~1 | 1,1 | ~1 | <1 | <1 | <0,5 | <10 | <0,04 | <2 |

I det følgende er det valgt å definere svakt påvirket som overkonsentrasjoner <5, moderat 5-10 og sterkt >10.

Analyser av oppløste metaller er forbundet med forurensningsproblemer av prøven både ved innsamling og opparbeidelse. Den høye verdien av bly på 25 µg/l ved Falconbridge i november skyldes sannsynligvis slike forurensninger.

Bortsett fra nær Falconbridge i april var blyverdiene under deteksjonsnivå (0,5 µg/l). Det må imidlertid bemerkes at deteksjonsgrensen for bly er ca 10x høyere enn normalverdi.

Kvikksølv-konsentrasjonene var normale i april, men høye nær Falconbridge i november. Den høye verdien på 2,2 µg/l kan, som anmerket for bly, skyldes forurensninger av prøven. Imidlertid var verdien midt i Vesterhavn også relativt høy og det kan derfor tyde på støtutslipp. Kvikksølv er ikke påvist i avløpsvannet fra Falconbridge (miljøvernsjef Resmann pers. med.). Imidlertid er deteksjonsgrensen 10 µg/l på disse analysene, utført ved fabrikken, det vil si 500x normalverdi for upåvirket kystvann og derfor ubrukelig for kontrollformål.

Konsentrasjonene av nikkel, kobber og arsen nær Falconbridge var den samme i april og november, henholdsvis ~80, ~10 og ~3 ganger normalverdi. Verdiene for nikkel og kobber i Vesterhavn/Fiskaabukta som helhet var imidlertid signifikant (Mann-Whitney U-test) lavere i november enn i april. Gjennomsnitt (K16-K24) i april: nikkel 31 µg/l, kobber 5,1 µg/l, november: nikkel 15 µg/l, kobber 2,4 µg/l. Prøvetaking på kun to tidspunkt som her, gir selvfølgelig kun øyeblikksbilder. Forskjeller i konsentrasjonene mellom april og november kan skyldes forskjellige hydrografiske forhold og/eller variasjoner i utslipp.

Jern kan, i tillegg til industrielle tilførsler, i stor grad tilføres ved avrenning fra land. Variasjoner i konsentrasjon kan derfor være naturlige. Moderat forhøyede verdier ble funnet i april i Vesterhavn/Fiskaabukta og områder direkte påvirket av Topdalselva og Otra (appendikstabell A1, 2). Det siste må sees i sammenheng med snøsmelting og naturlige tilførsler. I november

var verdiene normale og ingen klare forskjeller i hele undersøkellesområdet.

Nikkel, kobber og arsen viste en til dels sterk innbyrdes sammenheng i Vesterhavn/Fiskaabukta med korrelasjonskoeffisienter fra 0,7 - 0,9, tabell 3 og figur 2.

Tabell 3. Korrelasjonskoeffisienter (r) mellom nikkel, kobber og arsen i vann fra Vesterhavn/Fiskaabuktaområdet (K16-K24, 0,5 m, n= 9).

| | | |
|-----------|----|----------|
| April: | Ni | As: 0,73 |
| | | Cu: 0,93 |
| November: | Ni | As: 0,93 |
| | | Cu: 0,74 |

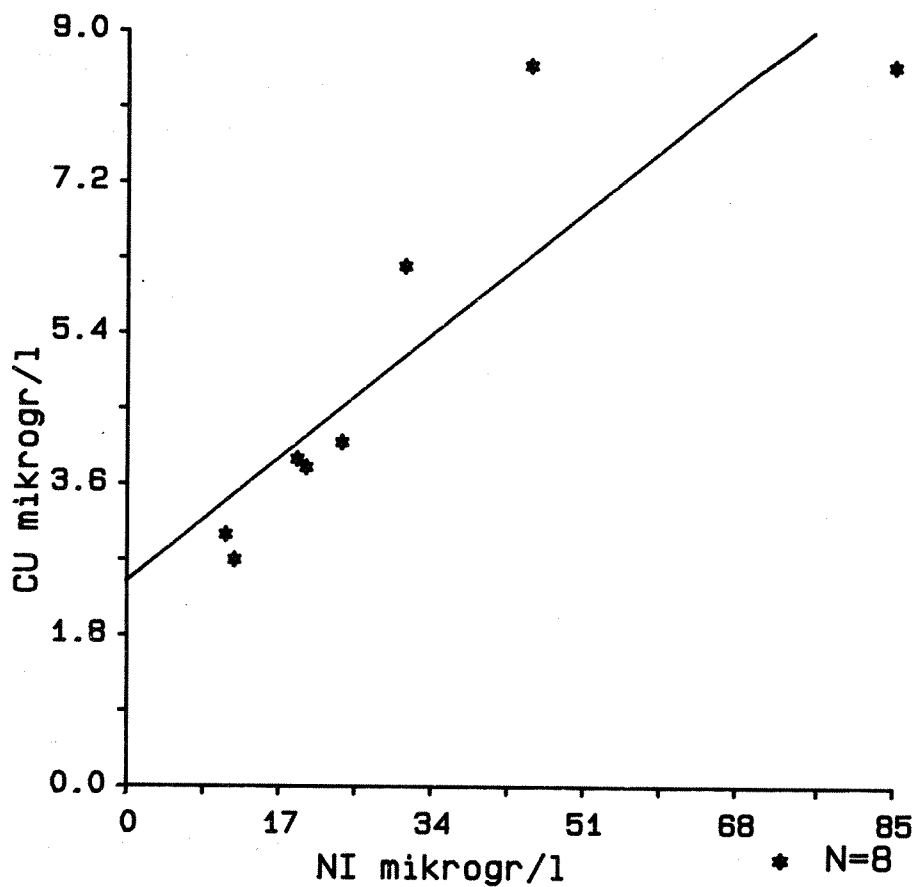
Denne sammenhengen indikerer at hovedkilden for disse metallene er Falconbridge. Bly og kvikksølv korrelerte ikke med nikkel på grunn av at verdiene i hovedsak var lavere enn deteksjonsgrensen. De høyeste verdiene ble imidlertid funnet nær Falconbridge.

Tidligere målinger av løste metaller i vannmassene i Kristiansandsområdet er gjort av blant annet Falconbridge, Agder Distriktshøgskole ved Hovland og Olsen (1980) og Senter for industriforskning ved Seip og Melhus (1980), tabell 4, 5 og 6.

NIVA: 1985-2 -18

OVERFLATEVANN (0.5m) VESTERHAVN/FISKÅBUKTA K16-K24.

18.04.88



$Y = 0.09X + 2.45$ $R = 0.88$ $P \leq 0.010$ $SD = 0.07$

Fig. 2. Korrelasjon nikkell-kobber i overflatevann (0-5 m) i Vesterhavn/Fiskaabukta, K16-24.

Klar sammenheng mellom konsentrasjonene av nikkell og kobber.

Tabell 4. Metallkonsentrasjoner i vann fra Vesterhavn/Fiskaabukta i 1970 (2 målinger) og 1975 (3 målinger) 0,5 m dyp. Analyser utført av Falconbridge Nikkelverk A/S. Verdiene er gjennomsnittlige for sammenslåtte målepunkter, stasjon 9, 10, 12, 13, 14, 15 i Falconbridge's eget måleprogram svarende til sentrale deler av Vesterhavn/Fiskaabukta.

| | µg/l (ufiltrert) | |
|----|------------------|------|
| | 1970 | 1975 |
| As | 10 | <10 |
| Cu | 130 | <10 |
| Fe | 20 | <10 |
| Ni | 220 | 50 |
| Pb | 20 | <20 |
| Co | 10 | <10 |

Tabell 5. Gjennomsnittlige metallkonsentrasjoner ved Odderøya Fyr i perioden 8/11-1979 - 28/1-1980 (10 målinger fra automatiske prøvetakere, 7-17 dagers perioder), 0,5 m dyp. Analyser utført av SI (Seip & Melhuus, 1980).

| | µg/l (ufiltrert) | | |
|----|------------------|------|-----|
| | \bar{x} | max | min |
| Cu | 6,0 | 9,4 | 3,2 |
| Fe | 10,3 | 17,0 | 7,2 |
| Ni | 51 | 108 | 26 |
| Pb | 2,5 | 4,2 | 1,4 |
| Zn | 4,1 | 10,9 | 1,0 |
| Co | 3,4 | 5,0 | 1,9 |

Tabell 6. Gjennomsnittlige metallkonsentrasjoner ved Odderøya Fyr i perioden 9/9-82 - 7/10-82 (3 ukeblandprøver), 0,5 m dyp. Utslipp av jernslam fra Falconbridge stanset juli 1982, tallene er derfor ved nye utslippsforhold. Analyser ved NIVA/SI.

| | µg/l (ufiltrert) | | |
|----|------------------|------|------|
| | \bar{x} | max | min |
| As | 0,5 | 0,8 | <0,1 |
| Cu | 2,6 | 3,7 | 1,1 |
| Fe | 17,6 | 25,5 | 5,7 |
| Ni | 18,2 | 31 | 73 |
| Pb | 0,6 | 1,7 | 0,5 |
| Zn | 5,0 | 7,6 | 1,0 |
| Co | 1,2 | 2,5 | <1,0 |

Tabell 7. Metallkonsentrasjoner i Vesterhavvn/Fiskaabukta 18/4-83 og 22/11-83, 0,5 m (denne undersøkelsen gjennomsnitt fra stasjon K16-K24).

| | µg/l (filtrert) | | | | | |
|-----------|-----------------|-------|-----------|----------|------|-------|
| | April | | | November | | |
| \bar{x} | max | min | \bar{x} | max | min | |
| As | 1,3 | 2,8 | 0,8 | 1,6 | 2,8 | 1,4 |
| Cu | 5,1 | 8,6 | 2,7 | 2,5 | 5,7 | 1,2 |
| Fe | 13,8 | 17,0 | 9,0 | 3,2 | 5,2 | 2,0 |
| Ni | 31 | 85 | 11 | 15 | 82 | 1 |
| Pb | 0,8 | 1,7 | 0,5 | | [25] | <0,5 |
| Hg | - | <0,04 | <0,04 | 1,1 | 2,2 | <0,04 |

Konsentrasjonene i 1970 var ekstremt høye. Reduksjon til 1975 skyldes ifølge Falconbridge (Resmann pers. med.) generell reduksjon i utslipp og tildels prosessomlegging.

Det er vanskelig å sammenligne tallene i tabell 4-7 direkte fordi tallene beskriver øyeblikkssituasjoner eller korte tidsintervall med forskjellige hydrografiske forhold. Tallene må derfor tas som indikasjoner på konsentrasjonsnivåene i de angitte periodene. Det er imidlertid klart at det har vært en reduksjon i verdiene fra 1970 til idag. Materialet fra denne undersøkelsen er for lite til klart å påvise effektene av utslippsreduksjonene ved Falconbridge i 1982.

For å påvise eventuell utlekking av metaller fra sedimentene, ble prøver fra vertikalsnitt analysert. Dette viste for april avtagende konsentrasjoner med dypet, i november avtagende eller tilnærmet lik konsentrasjon. Utlekking av metaller fra sedimentene er derfor lite sannsynlig. Prøvetakingen var for grov til å fastslå at det ikke skjer utlekking overhodet, men sammenlignet med direkte utslipp må denne tilførselen være ubetydelig.

Konsentrasjonen av metall fra en stasjon nær utløpet av Otra (K6) viste både for april og november normale verdier. Det er derfor sannsynlig at Otra har lite å si for forhøyede konsentrasjoner i området.

4.1.2. Partikulær form

Metaller finnes i både løst og partikulær form. Analyser av filtre ble utført for å sammenligne denne fordelingen (appendikstabell 2).

Analysene viste at nikkel i alt overveiende grad var i løst form. For kobber var det nær Falconbridge lik fordeling mellom løst og partikulært, mens ca 1/3 var i partikulær form i resten av området. Jern var overveiende i partikulær form, i overensstemmelse med ingen klare overkonsentrasjoner av løst jern.

Scanning elektronmikroskopi av filtre fra vannprøver nær Falconbridge viste finkornige partikler med høyt innhold av nikkel, kobber, jern og kobolt, fig. 3.

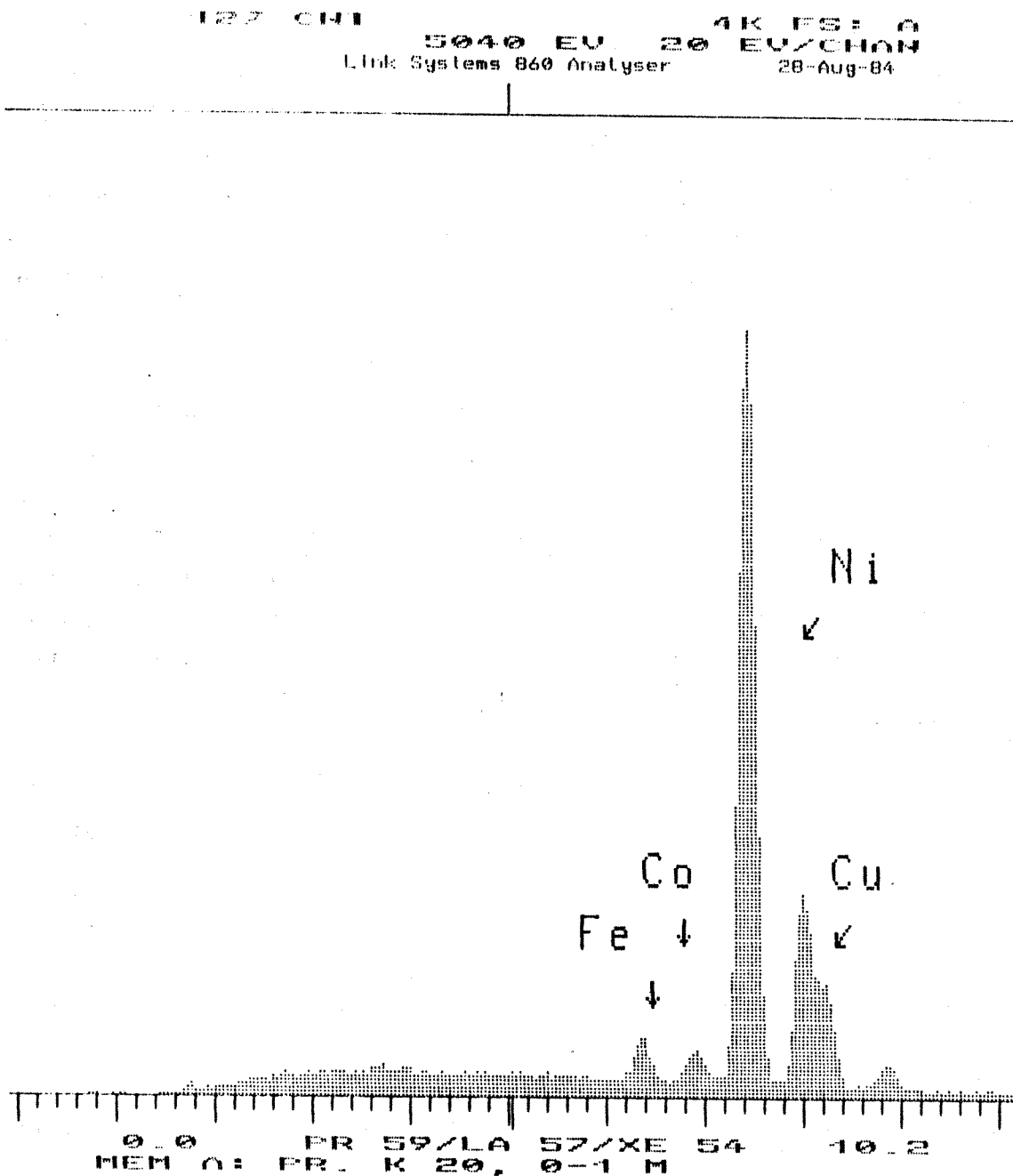


Fig. 3. Karakterisering av partikler i vannmassene nær Falconbridge Nikkelverk A/S ved hjelp av scanning elektronmikroskop tilkopleet røntgenanalysator.

Partiklene hadde høyt innhold av nikkel, kobber, jern og kobolt.

4.2. Sedimenter

4.2.1. Visuell beskrivelse, organisk innhold

Karakteristisk for sedimentene i Vesterhavn er påvirkning med jernhydroksyd fra utslipp fra Falconbridge Nikkelverk A/S. Høyest organisk innhold hadde sedimentene i Fiskaabukta p.g.a. dårligere vannutskifting og kloakktilførsler. I ytre fjordområde og i Topdalsfjorden var sedimentene normale.

Sedimentene tilføres organisk og uorganisk materiale fra avrenning fra land, kommunale/industrielle utslipp og fra biologisk produksjon i vannmassene. Naturlig har sedimenter i områder med god vannutveksling og gode strømforhold relativt lavt innhold av organisk materiale, mens områder med dårligere utskiftingsforhold og større tilførsler, vil ha høyere organisk innhold.

Tabell 8 gir en visuell beskrivelse av sedimentene i undersøkelsesområdet samt innhold av karbon og nitrogen. Området kan grovt deles i 3-4 typer. I Topdalsfjorden er sedimentene relativt organisk rike med total karbonverdier på ca 4 % som er naturlig for denne type fjord. I ytre fjordområde, det vil si utenfor Bragdøya - Odderøya inneholdt sedimentene mindre organisk materiale. Innholdet av karbon var 2-3 % som også er normalt for området. Det var ikke tegn til påvirkning fra renseanlegget i Korsvikfjorden (v/K7). Stasjonen ved utløpet av Otra, K6, hadde høyt organisk innhold dominert av fiber fra treforedlingsindustrien langs elva. Påvirkningen ser ut til å være lokal.

Sedimentene i Vesterhavn bar preg av organisk belastning med karbonverdier på 3-4 %. Det som imidlertid var karakteristisk for sedimentene her, var påvirkning med det tidligere utslippet av jernhydroksyd fra Falconbridge. Nær fabrikken var sedimentkjernen i 65 cm lengde fullstendig rustbrun av jernhydroksyd.

Høyest organisk innhold hadde sedimentene i Fiskaabukta (K16, 17) som skyldes dårligere vannutskifting, kloakkutslipp (3 stk) og noe påvirkning fra tremasseindustri.

Forholdet mellom karbon og nitrogen (C/N) gir informasjon om typen av det organiske materiale. Verdier fra 6-10 finnes i sedimenter hvor det organiske materiale er av marin opprinnelse. Stigende grad av karbonholdig materiale fra land medfører høyere verdier. I hele undersøkelsesområdet var verdiene mellom 10-15, som viser at det organiske materiale i moderat grad kommer ved avrenning fra land.

Tabell 8. Visuell beskrivelse av sedimentene med innhold av karbon (C) og nitrogen (N).

| Stasjon | Dyp (m) | Kjerne- lengde (cm) | % C 0-1 cm | % N 0-1 cm | C/N | Anmerkninger |
|---------|---------|------------------------|---------------|---------------|------|--|
| K1 | 65 | 50 | 4,2 | 0,42 | 9,9 | 35 cm anoksisk lag over leire |
| K2 | 76 | 55 | 4,1 | 0,42 | 9,7 | 12 cm mørkt organisk lag over 15 cm organisk blandet leire. Deretter leire. |
| K3 | 36 | 30 | - | - | - | 5 cm lys brunt organisk lag over lys leire. |
| K4 | ? | 30 | 1,1 | 0,1 | 11,0 | Lys grå silt. Øverste 5 cm mere organisk. |
| K5 | 51 | 30 | 0,9 | 0,08 | 11,6 | Siltig. Øverste 2 cm mere organisk. Nederste 15 cm leire. |
| K6 | 130 | 30 | 4,4 | 0,29 | 15,1 | Leire. Øverste 10 cm, i særdeleshet øverste 5 cm, mye fiber. |
| K7 | 77 | 40 | 2,5 | 0,21 | 11,9 | Øverste 5 cm lys brun organisk over leire. |
| K8 | 125 | 40 | 2,9 | 0,21 | 13,9 | Silt/sand. Øverste centimetre lys grå til- dels organisk. Rødbrune partikler, jernhydroksyd? |
| K9 | 200 | 65 | 2,8 | 0,24 | 11,8 | Øverste 4 cm lys organisk over leire. |
| K10 | 143 | 60 | 3,0 | 0,23 | 12,9 | Øverste 3-4 cm lyst organisk lag. Blåleire fra ca 10 cm. |
| K11 | 67 | 30 | 1,9 | 0,17 | 11,1 | Øverste 2 cm lys brunt organisk. Silt til 10 cm deretter leire. |
| K12 | 244 | 30 | 2,5 | 0,19 | 13,1 | 2 cm lysebrunt organisk lag over leire. |
| K13 | 106 | 40 | 2,4 | 0,21 | 11,4 | Øverste 20 cm organisk blandet leire/silt. Dypere ned blå-leire. |
| K14 | 263 | 45 | 2,1 | 0,17 | 12,5 | Sandig silt med 2 cm organisk lag på toppen. |
| K16 | 17 | 40 | - | - | - | Øverste 8 cm organisk rikt (ikke H ₂ S lukt) Brunt organisk lag til 25 cm deretter leire. |

Tabell 8 forts.

| Stasjon | Dyp (m) | Kjerne- lengde (cm) | % C 0-1 cm | % N 0-1 cm | C/N | Anmerkninger |
|---------|---------|------------------------|---------------|---------------|------|--|
| K17 | 67 | 40 | 6,2 | 0,44 | 14,0 | 5 cm lys brun organisk topplag deretter 10 cm sort lag. Dypere enn dette leire. |
| K18 | 44 | 25 | 4,8 | 0,31 | 15,4 | Mørkt organisk lag til 8 cm deretter leire. Øverste ½ cm brun, muligens iblandet jernhydroksyd. |
| K19 | 22 | 80 | - | - | - | Til 65 cm fullstendig rødbrun av jernhydroksyd. Øverste 15 cm fnokker. |
| K20 | 31 | 50 | 1,0 | 0,11 | 9,1 | Øverste 10 cm helt rustbrun av jernhydroksyd. Dypere enn 35 cm sandig silt. |
| K21 | 30 | 18 | 3,6 | 0,35 | 10,1 | 1,5 cm jernhydroksyd lag over ca 5 cm mørkt organisk lag, deretter sandig silt. Slagg- lignende materiale i prøven. 2 3 |
| K22 | 40 | 28 | 4,1 | 0,35 | 11,7 | 1 cm lys brunt organisk lag med muligens noe jernhydroksyd, deretter mørk organisk. |
| K23 | 24 | 30 | 3,3 | 0,24 | 10,2 | Øverst 2 cm påvirket av jernhydroksyd. Mørk organisk til 20 cm deretter silt. |
| K24 | 24 | 20 | 3,9 | 0,27 | 14,3 | Øverste ½ cm brunlig organisk med muligens jernhydroksyd, deretter mørk organisk. |

4.2.2. Metaller i sedimentene

Sedimentene i Vesterhavnområdet er sterkt, tildels meget sterkt forurensset av nikkel, kobber, bly, arsen og kobolt. Hovedkilden er Falconbridge Nikkelverk A/S. Ytre fjordområde og Topdalsfjorden er henholdsvis svakt og svakt til moderat påvirket.

Som for løste metaller i vannmassene, kan fjordområdene rundt Kristiansand deles inn i 3-4 typer etter metallbelastning i sedimentene (rådata i appendikstabell A3). Tabell 9 gir en oversikt over konsentrasjon og overkonsentrasjon i de forskjellige områdene. Overkonsentrasjonen er observert verdi dividert med bakgrunnsverdi. Som bakgrunn er her brukt konsentrasjonene i 15 dyp i kjernen fra stasjonen midt i Vesterhavn, Kl8, appendikstabell A2.

I teksten er området med overkonsentrasjoner <5 betegnet som svakt påvirket, 5-10 som moderat og >10 som sterkt påvirket.

I Topdalsfjorden var det svake til moderate overkonsentrasjoner avhengig av metalltype (tabell 9). Mer enn 5x bakgrunn ble observert for nikkel (7), bly (10) og kobber (6). Dette skyldes sannsynligvis generell påvirkning fra aktiviteter som industri, landbruk, flyplass o.s.v.

I ytre fjordområde, generelt representert ved stasjonen mellom Kinnskjær og Dvergsøy, Kl2, hadde svake overkonsentrasjoner mellom 1 og 5, med høyest for nikkel.

Høyeste konsentrasjoner for hele området ble funnet nær Falconbridge med overkonsentrasjoner opptil 800x. Dette viser at hovedkilden for metallforurensningen i sedimentene er Falconbridge. Selv om de meget høye verdiene ble funnet nær hovedutslippene, er verdiene i Vesterhavn/Fiskaabukta som helhet meget høye, tabell 9 og figur 4.

Kvikksølv (Hg), sink (Zn) og kadmium (Cd)-konsentrasjonene var

relativt lave i hele området. Kadmium var imidlertid ca 10x forhøyet nær Falconbridge og ca 5x forhøyet nær Fiskaa Verk. Det sistnevnte kan skyldes utslipp (i hovedsak tidligere) av polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) fra Fiskaa Verk hvor kadmium kan være knyttet til disse utslippene. Tilsvarende observeres f.eks. i Årdalsfjorden (Baalsrud 1985 in prep.).

Generelt avtok verdiene raskt mot ytre fjordområde som kun er svakt påvirket, fig. 5.

Aldersdatering av sedimentet fra stasjonene midt i Vesterhavn, Kl8, ble utført for å beregne årlige tilførsler og om mulig, påvise historisk utvikling i belastning. Sedimenttilveksten utfra bly-210 analyser ble bestemt til ca 4 mm/år. Antar vi konsentrasjonene på stasjon Kl8 som et gjennomsnitt for området Vesterhavn/Fiskaabukta på ca 3 km², vanninnhold i øvre 2 cm lik 60 % og egenvekt av tørt sediment 2,3 g/cm³, vil de midlere årlige metalltilførslene utfra 1983-konsentrasjoner være som gitt i tabell 10.

Tabell 9. Sedimentkonsentrasjoner k, ($\mu\text{g/g}$ tørt sed., $<63 \mu\text{m}$, jern i %) og overkonsentrasjoner ok, (observerte verdi dividert med "bakgrunn") for nikkel (Ni), kobolt (Co), bly (Pb), kadmium (Cd), sink (Zn), krom (Cr), jern (Fe), kobber (Cu), arsen (As), kvikksølv (Hg).

| | Ni | | Co | | Pb | | Cd | | Zn | | Cr | | Fe | | Cu | | As | | Hg | |
|----------------------|------|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
| | k | o.k | k | o.k | k | o.k | k | o.k | k | o.k | k | o.k | k | o.k | k | o.k | k | o.k | k | o.k |
| Topdalsfjorden | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| K2 | 77 | 7 | 11 | 2 | 202 | 10 | 0,25 | 2 | 289 | 5 | 64 | 4 | 2,8 | 1 | 69 | 6 | | | | |
| Ytre fjord | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| K12 | 55 | 5 | 19 | 4 | 67 | 3 | 0,07 | 1 | 94 | 2 | 34 | 2 | 2,4 | 1 | 33 | 3 | | | | 1 |
| Vesterhavn | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| K18 | 1520 | 150 | 68 | 10 | 668 | 35 | 0,13 | 2 | 228 | 4 | 446 | 25 | 6,0 | 3 | 1539 | 150 | 2700 | 100 | | |
| Nær Falcon- bride | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| K19, 20, 23 | 8200 | 800 | 472 | 80 | 1070 | 50 | 0,5 | 10 | 232 | 4 | 318 | 20 | 36,2 | 15 | 5778 | 500 | 7900 | 400 | 0,41 | 4 |

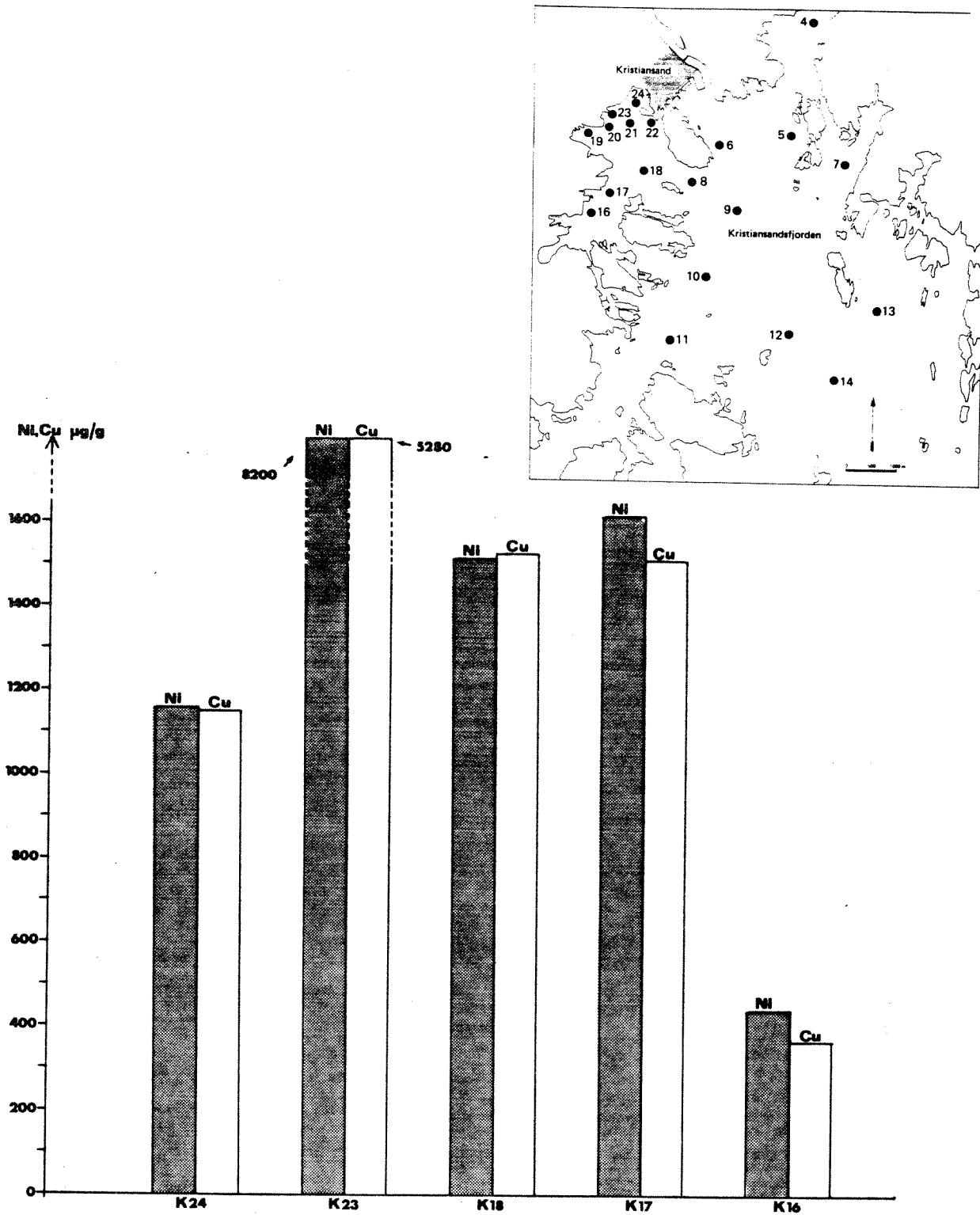


Fig. 4. Nikkel (Ni) og kobber (Cu) konsentrasjoner i overflatesedimentet (0-1 cm) i Vesterhavnen/Fiskåbukta.

*Svært høye konsentrasjoner i Vesterhavnen.
(NB! brutt skala for st. K23).*

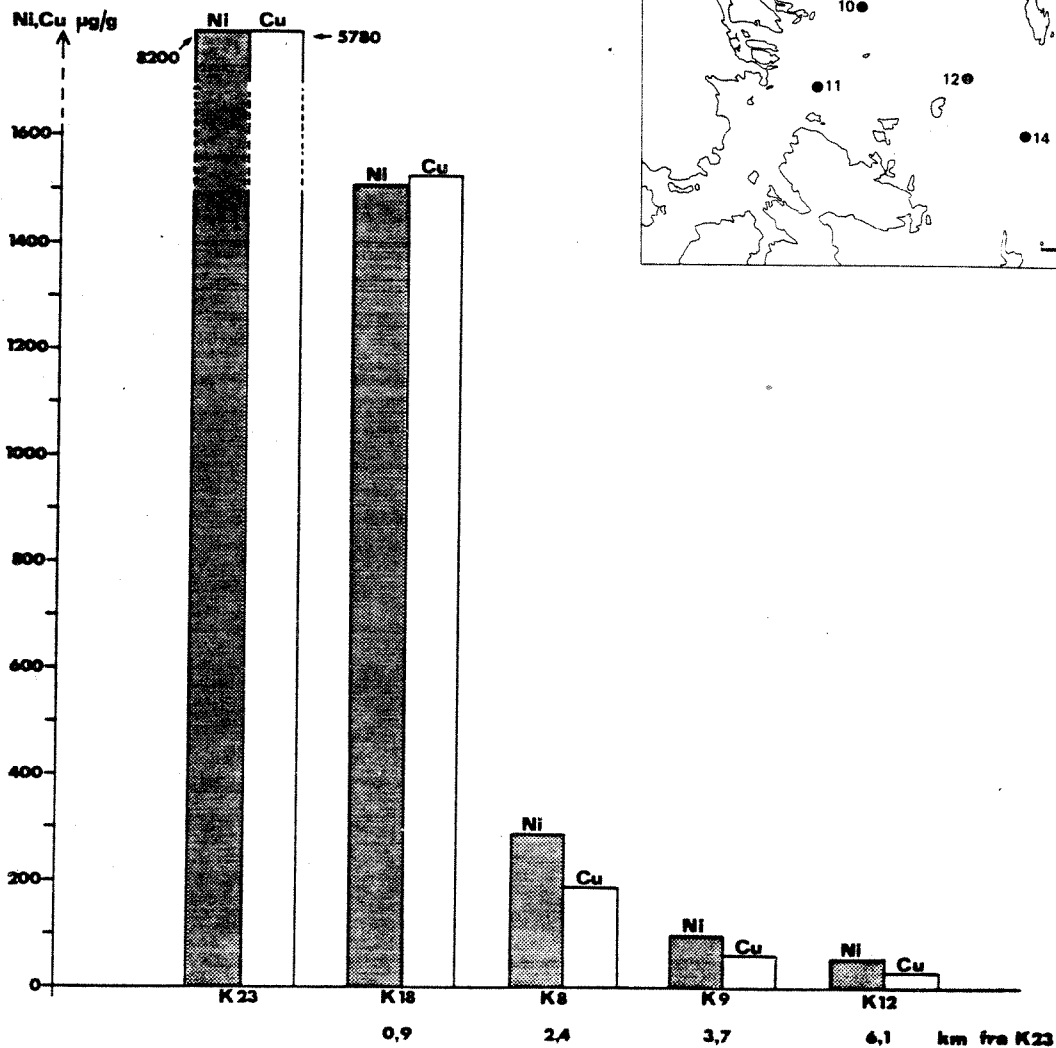


Fig. 5. Nikkel (Ni) og kobber (Cu) konsentrasjoner i overflatesedimentet (0-1 cm) i Kristiansandsfjorden.

Høye konsentrasjoner i hele Vesterhavn/Fiskaabukta.
(NB! brutt skala for st. K23).

Tabell 10. Beregnede årlige metalltilførsler til sedimentene i Vesterhavn/Fiskaabukta ut fra 1983-konsentrasjoner.

| | |
|--------|-------|
| Nikkel | 10 t |
| Kobber | 10 t |
| Jern | 370 t |
| Bly | 4 t |
| Arsen | 17 t |
| Kobolt | 0,4 t |
| Krom | 3 t |

Tallene er usikre, men indikerer belastningen på området. Siden Falconbridge reduserte sine utslipp i juli 1982 og 0-1 cm snitt i sedimentet gir gjennomsnittkonsentrasjonen for ca 3 år, er det sannsynlig at belastningen i 1983 var mindre enn dette. Utslippene av metaller ble ytterligere redusert vinteren 1985.

Sammenlignes tallene med utslippstallene fra Falconbridge, som ikke representerer totale tilførsler, men hovedkilden, (tabell 1) er de beregnede tilførslene mindre enn 20 % av fabrikkens utslipp før reduksjonen i 1982 (kobolt ca 50 %). Det betyr at en relativ stor del av tilførslene transporteres ut av Vesterhavn-området. Dette gjelder metaller både i løst og partikulær form, og er i overensstemmelse med at forurensningspartiklene identifisert ved scanning elektronmikroskopi viste at disse partiklene var meget finfordelte. Stor fortykning i ytre fjordområde gjør at konsentrasjonene her er relativt lave.

Analyser av metallkonsentrasjonene i sedimentdypet ble gjort på en stasjon i Vesterhavn (K18) og en stasjon i midtre område (K9). Figur 6 viser resultatene for nikkel og kobber. Formen på kurven fra K18 tilsier kun svak omblending av gravende organismer (bioturbasjon), mens den rette linjen fra K9 viser at sedimentet er gjennomblandet. Dette er i overensstemmelse med faunaanalysene (Rygg 1985), som viste nedsatt diversitet på K18 med fravær av organismer som normalt i stor grad er ansvarlig for omblendingen. Aldersdateringen hadde for dårlig oppløsning til

nøyaktig å tidfeste økningen i konsentrasjon på stasjon K18. Sedimentnivået 2-4 cm ble som et gjennomsnitt **aldersdagert** til 1978 og nivået 4-6 cm til 1901. Sedimenttilveksten kan ikke anvendes direkte på grunn av kompaksjon av sedimentet med dypet og dermed avtagende tilvekst.

Den innbyrdes sammenhengen mellom metallene kan gi informasjon om kilder og spredning. Tabell 11 viser en korrelasjonsmatrise mellom stasjoner i Vesterhavn/Fiskaabukta (K16-24) og fra ytre område (K5-14). Kadmium er utelatt på grunn av lave, relativt stabile verdier, kvikksølv og arsen på grunn av resultater fra kun et fåtall av stasjonene. I Vesterhavnområdet var det en sterk korrelasjon mellom nikkel og kobber, kobolt og jern, noe svakere mellom nikkel og bly. Dette illustrerer at Falconbridge er hovedkilden for disse metallene. Sink korrelerte sterkt med organisk materiale (Tot-N, TOC). Krom viste ingen korrelasjon med de andre metallene. De høyeste verdiene for krom var på stasjon K18 midt i Vesterhavn og kunne tyde på andre kilder enn Falconbridge.

I ytre område var det fremdeles en meget sterk korrelasjon mellom nikkel og kobber. Samvariasjonen mellom nikkel og kobber verdiene fra alle stasjonene, fig. 7, indikerer en generell nikkel/kobber påvirkning i hele området. I ytre området ble det også observert god samvariasjon mellom nikkel/kobber og krom og bly og sink i motsetning til i Vesterhavn. Dette er vanskelig å forklare, men kan henge sammen med forskjeller i transportmekanismer bort fra det primære influensområdet, forskjeller i grad av binding til partikler mellom de forskjellige metallene o.s.v.

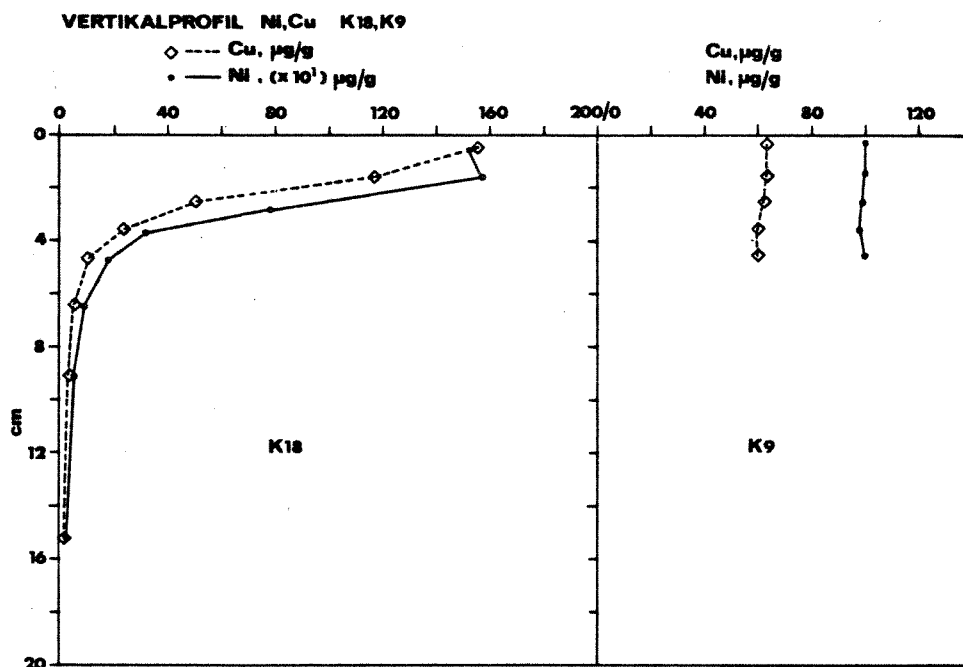
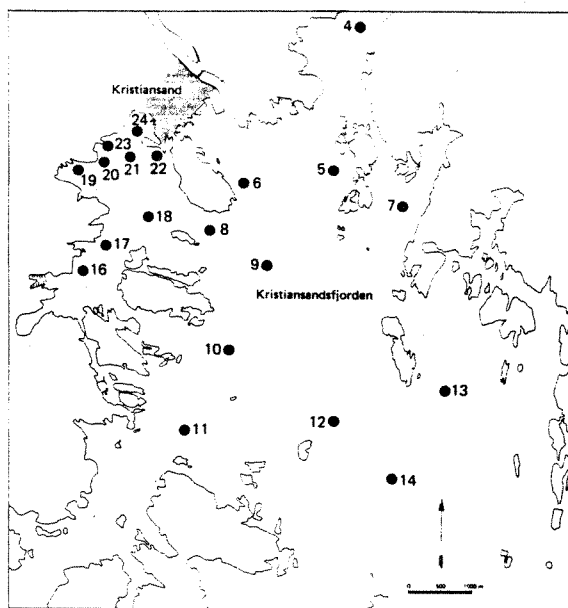
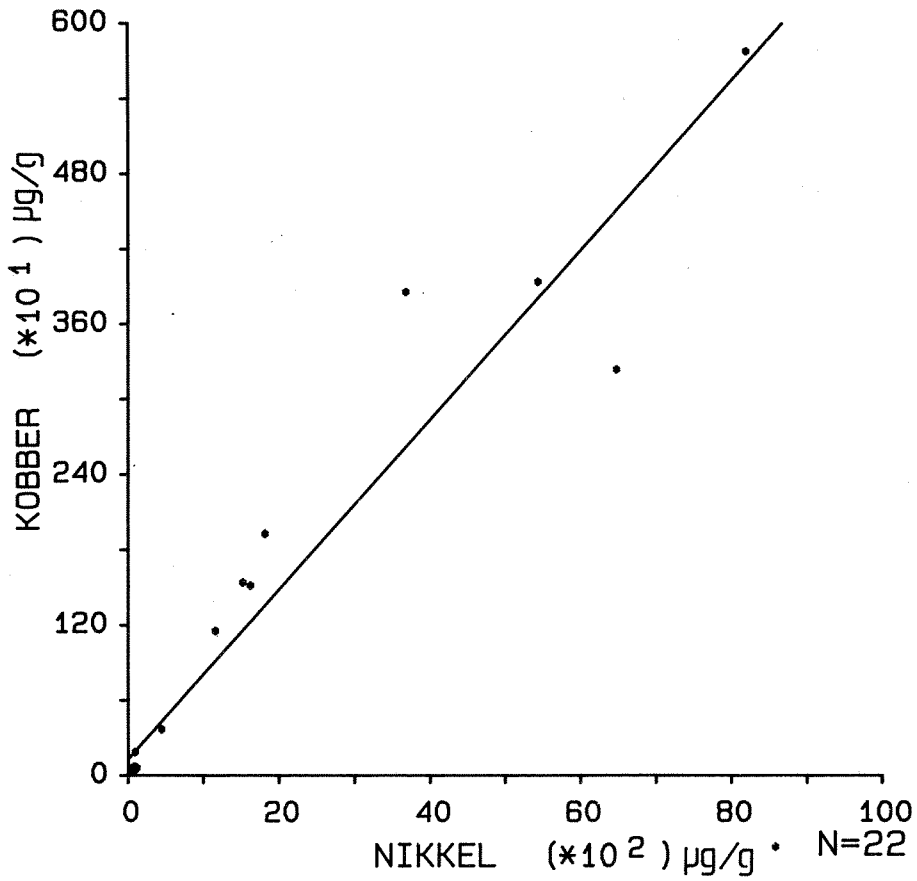


Fig. 6.. Vertikalprofil av nikkell (Ni) og kobber (Cu) i sedimentet i Vesterhavn (K18) og i ytre fjordområde (K9).

Økning i verdiene fra ca 4 cm dyp i sedimentet og mot overflaten.

KORRELASJON NI-CU, OVERFLATESEDIMENTENTER, K1-K24.



$Y = 0.68X + 131.12$ $R=0.96$ $P \leq 0.001$ $SD=0.16$

Fig. 7. Korrelasjon nikkell - kobber i overflatesedimentene i Kristiansandsfjorden, K1-24.

*Klar sammenheng mellom nikkell og kobber i sedimentene.
Se ogs a fig. 2.*

Tabell 11. Korrelasjonsmatrise for sediment for stasjonene i Vesterhavn/Fiskaabukta (A) og ytre fjordområde (B).

A. Stasjon K16-K24, 0,5 cm nivå.

| | Ni | Co | Pb | Zn | Cr | Fe | Cu | Tot-N | TOC |
|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|------|
| Co | 0,94 | | | | | | | | |
| Pb | 0,52 | 0,72 | | | | | | | |
| Zn | -0,35 | -0,63 | -0,64 | | | | | | |
| Cr | 0,12 | 0,26 | 0,70 | -0,22 | | | | | |
| Fe | 0,75 | 0,93 | 0,83 | -0,79 | 0,41 | | | | |
| Cu | 0,93 | 0,79 | 0,36 | -0,122 | 0,07 | 0,57 | | | |
| Tot N | -0,45 | -0,70 | -0,74 | 0,88 | -0,27 | -0,83 | -0,15 | | |
| TOC | -0,68 | -0,84 | -0,64 | 0,88 | -0,02 | -0,88 | -0,48 | 0,90 | |
| C/N | -0,80 | -0,82 | -0,38 | 0,60 | 0,31 | -0,74 | -0,77 | 0,43 | 0,76 |

B. Stasjon K5-K14, 0,5 cm nivå.

| | Ni | Co | Pb | Zn | Cr | Fe | Cu | Tot-N | TOC |
|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|------|
| Co | 0,02 | | | | | | | | |
| Pb | 0,20 | -0,43 | | | | | | | |
| Zn | -0,13 | -0,44 | 0,92 | | | | | | |
| Cr | 0,86 | 0,07 | 0,13 | -0,26 | | | | | |
| Fe | 0,20 | 0,48 | 0,18 | -0,07 | 0,56 | | | | |
| Cu | 0,98 | -0,11 | 0,18 | -0,15 | 0,88 | 0,15 | | | |
| Tot-N | 0,22 | -0,11 | 0,09 | -0,08 | 0,53 | 0,42 | 0,31 | | |
| TOC | 0,25 | -0,10 | -0,07 | -0,19 | 0,51 | 0,22 | 0,36 | 0,97 | |
| C/N | 0,39 | -0,03 | -0,40 | -0,53 | 0,56 | 0,04 | 0,50 | 0,67 | 0,83 |

Ni = nikkel

Co = kobolt

Pb = bly

Zn = sink

Cr = krom

Fe = jern

Cu = kobber

Tot-N = total nitrogen

TOC = total organisk karbon

Målsettingen for denne delundersøkelsen var blant annet å supplere tidligere undersøkelser. Metaller i sedimentene i Vesterhavn har blitt analysert av Hansen og Vågsholm (1978). Verdiene fra Hansen og Vågsholm er i bra overensstemmelse med foreliggende undersøkelse, bortsett fra nær Falconbridge, hvor blyverdiene var ca 10x og kobber ca 2x høyere enn i denne undersøkelsen (1983). Hansen og Vågsholm fant de høyeste blyverdiene i 6-12 cm dyp i sedimentet. En mulig forklaring på forskjellen mellom de to undersøkelsene er derfor reduksjon i tilførselene, selv om analysetekniske årsaker ikke skal utelukkes.

4.2.3. Polysykliske aromatiske hydrokarboner, PAH

Innhold av polysykliske aromatiske hydrokarboner i sedimentene var meget høyt nær Fiskaa Verk, ca 800x naturlig. Midt i Vesterhavnen var verdiene ca 25x normalt, og 7x normalt ved ut-siden av Odderøya - Bragdøya. Hovedkilden antas å være Fiskaa Verk med eldre, nå stansede utslipp.

Polysykliske aromatiske hydrokarboner produseres både naturlig i det marine miljø og tilføres som forurensende stoff fra indu-stri. Konsentrasjoner på 200-500 ng/g observeres ofte på "upå-virkede" lokaliteter. Verdier utover generell belastning (kom-munalt avløpsvann, oljespill, slitasje fra asfaltveidekke, at-mosfæriske tilførsler) skyldes ufullstendig forbrenning av kar-bonforbindelser; i norske fjordområder gjerne fra smelteverk som bruker kull som reduksjonsmiddel.

Konsentrasjonene i Kristiansandsfjorden (rådata i appendiks-tabell A4) varierte fra 1 000 - 2 000 ng/g i Topdalsfjorden/-ytte fjordområde til nær 400 000 ng/g nær Fiskaa Verk, fig. 8. Tabell 12 gir overkonsentrasjoner (bakgrunn satt til 500 ng/g) for en del utvalgte stasjoner.

Tabell 12. Konsentrasjoner og ca. overkonsentrasjoner (observert verdi dividert med antatt bakgrunnsverdi) av total PAH i overflatesedimentene (0-2 cm).

| <u>Stasjon</u> | <u>Konsentrasjon ng/g</u> | <u>Ca. Overkonsentrasjon</u> |
|-------------------------|---------------------------|------------------------------|
| K4, Topdalsfjorden | 1 194 | 2 |
| K6, Østerhavnen | 3 152 | 6 |
| K8, Dybingen - Odderøya | 3 512 | 7 |
| K12, v/Kinnskjær | 1 612 | 3 |
| K18, Vesterhavnen | 12 277 | 25 |
| K21, v/Falconbridge | 16 425 | 30 |
| K17x, v/Fiskaa | 326 677 | 800 |

Sannsynlig kilde er Fiskaa Verk med tidligere utslipp fra våtvaskere montert foran posefiltre i elektrodemassefabrikk og utslipp fra kjøle- og fuktetårn foran elektrodefilter (Evju, SFT, pers. med.). Det førstnevnte utslippet ble stoppet i 1968, det andre i 1978. Dette er samsvar med at høyeste konsentrasjon ikke var i overflaten, men 4-6 cm sedimentdyp, fig. 9. Fra Fiskaa Verk opplyses det at man i dag ikke har systematiske utslipp, men noe påvirkning fra deponi på land kan forekomme. At man fremdeles observerer høye konsentrasjoner i sedimentoverflaten, kan skyldes omblending av gravende organismer.

Det var små forskjeller i relativ sammensetning av PAH-forbindelsene fra områder med svak belastning (Topdalsfjorden/ytre fjordområde, stasjon 4, 6, 8 og 12) til de sterkt belastede stasjonene (Vesterhavn/Fiskaabukta, stasjon 17, 17X, 17Y, 18 og 21), fig. 10 og tabell 13. Det var ingen signifikante forskjeller (Mann-Whitney U-test) i summen av de relativt lettløslige komponentene fenantren, fluoranten og pyren mellom de førstnevnte og sistnevnte stasjonsgruppene. Innholdet av potensielt kreftfremkallende PAH (KPAH, se appendikstabell A4 for definisjon) varierte fra 14-25% av total PAH (tabell 14).

Sammenligning av PAH-verdier i Kristiansandsfjorden med konsentrasjoner fra andre lokaliteter er gjort i tabell 13.

Tabell 13. Konsentrasjoner av total PAH og benzo(a)pyren (ng/g) i sedimenter fra forskjellige områder.

| Lokalitet | Total PAH | Benzo(a)pyren | Ref. |
|----------------------|-----------|---------------|----------------------|
| Kristiansandsfjorden | 500 000 | 24 000 | Denne undersøkelsen |
| Årdalsfjorden | 820 000 | 47 900 | Baalsrud et al. 1985 |
| Vefsnfjorden | 35 700 | 1 520 | Haugen et al. 1981 |
| Sauda fjorden | 99 000 | 7 730 | Bjørset et al. 1979 |
| Grønland | | 5 | Verschueren 1983 |

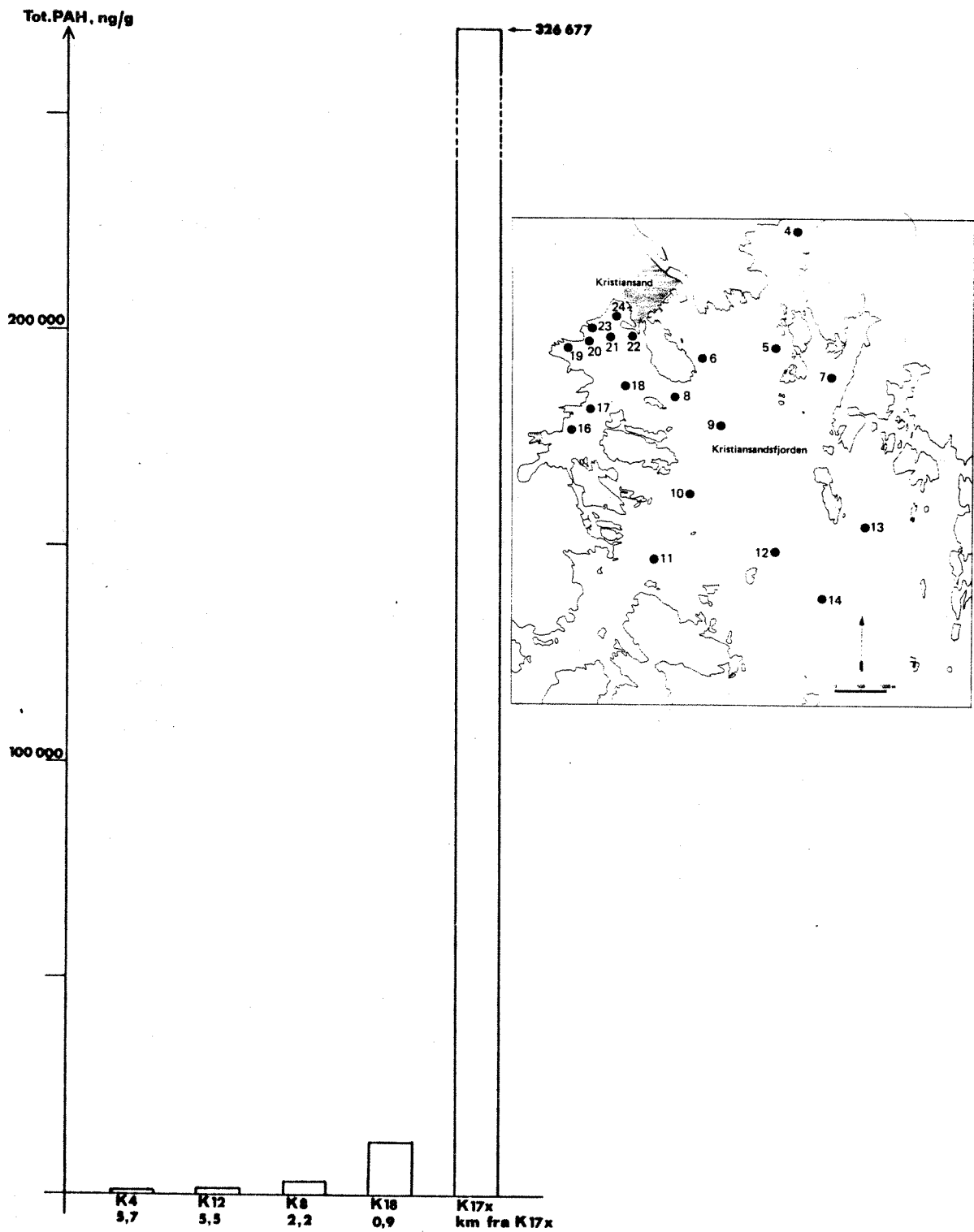
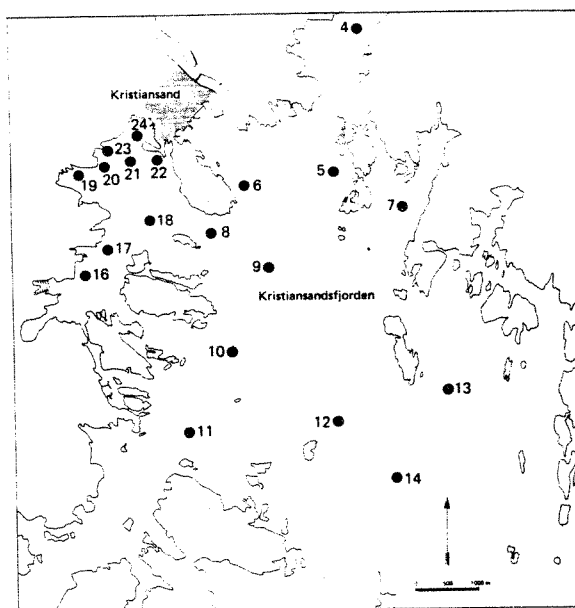


Fig. 8. Konsentrasjon av polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) i overflatesedimentene (0-2 cm) i Kristiansandsfjorden. (K17x ligger i bukt øst for K17.)

Svært høye konsentrasjoner nær Fiskaa Verk, men raskt avtagende med økende avstand fra verket.



NIVA: 1985-2 -12

VERTIKALPROFIL PAH, ng/g

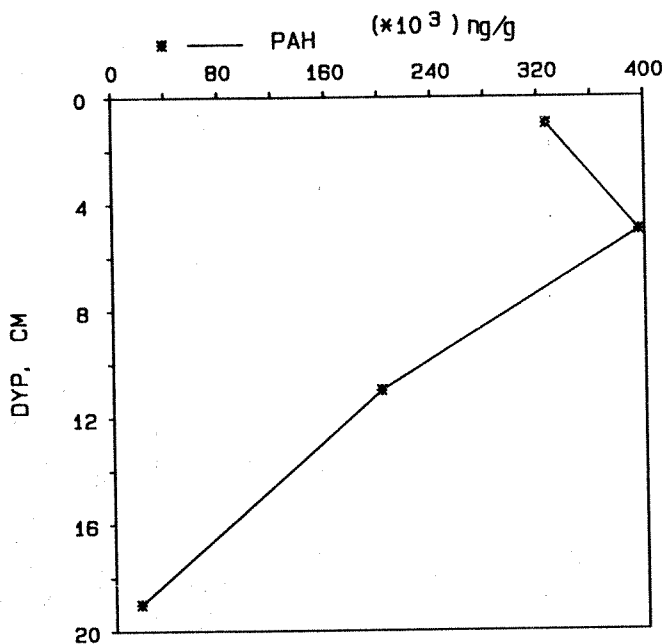






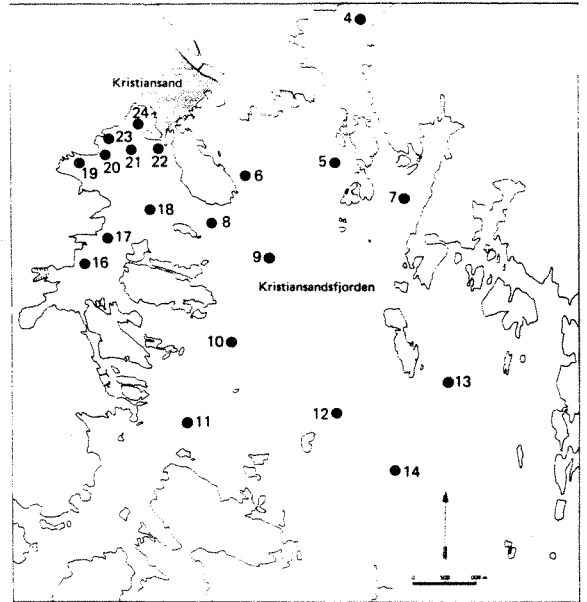
Fig. 9. Vertikalprofil av polisykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) i sedimentet nær Fiskåtangen (K17x). (K17x, i bukta øst av K17.)

Avtagende konsentrasjon fra ca 6 cm dyp og mot overflaten viser at utslippene er redusert.

Fig. 10.

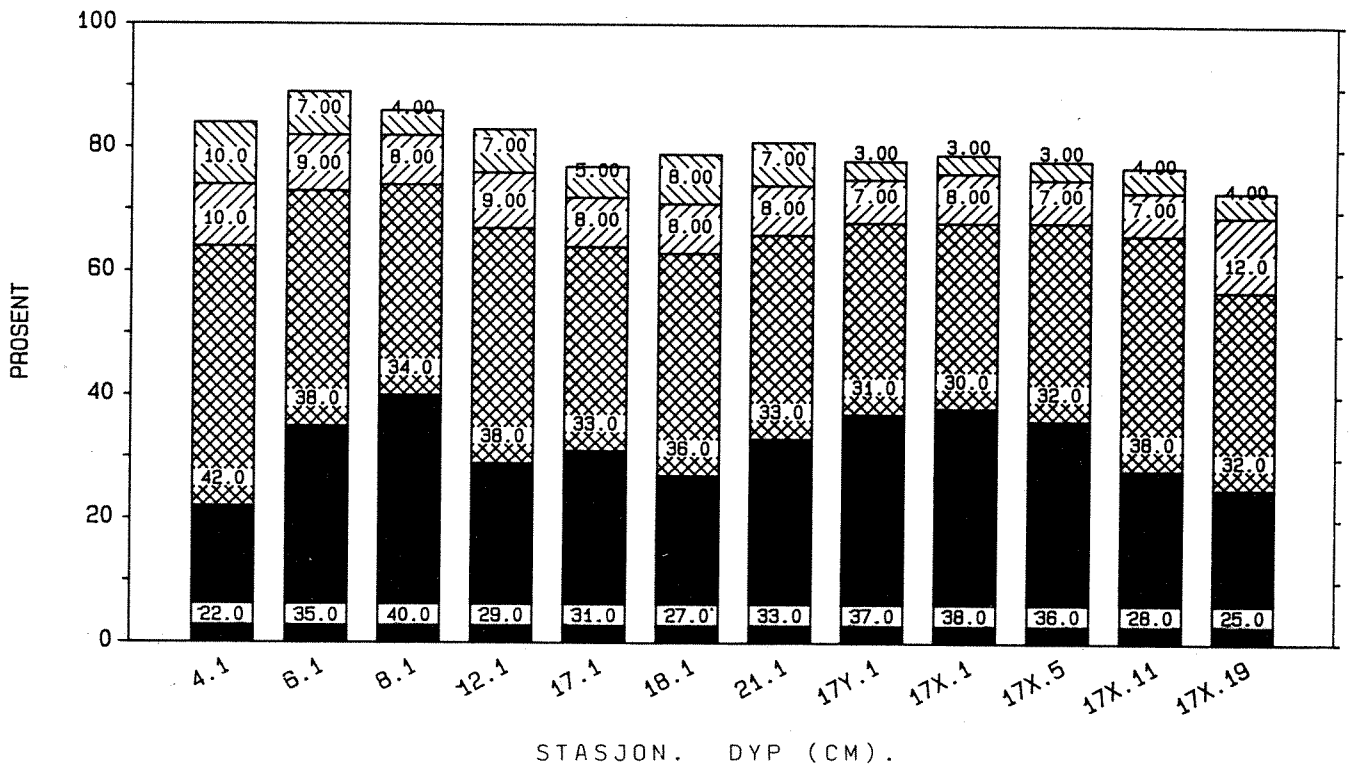
Prosentvis innhold av utvalgte PAH-forbindelser i sedimentene i Kristiansandsfjorden. Betegnelsene på X-aksen angir stasjonsnummer og sedimentdyp, f.eks. 4.1 stasjon 4, 0-2 cm sedimentdyp. Lokalisering av stasjon 17X,Y er vist i Fig. 1.

-  Benzo (g,h,i)perylen
-  Trifenylen/Chrysen
-  Benzo(a)antracen + benzo (b,j,k)fluoranten + benzo (a,e)pyren
-  Fenantren + Fluoranten + pyren



NIVA : 1985 -2-12

PROSENTVIS INNHOLD AV UTVALGTE PAH I SEDIMENTENE.



Tabell 14.

Prosentvis innhold av utvalgte PAH i sedimentene fra Kristiansandsfjorden.

| STASJON SEDIMENT-DYP CM | K4 | K6 | K8 | K12 | K18 | K21 | K17 | K17Y | K17X | K17X | K17X | K17X |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|-------|-------|
| | 0-2 | 0-2 | 0-2 | 0-2 | 0-2 | 0-2 | 0-2 | 0-2 | 0-2 | 4-6 | 10-12 | 18-20 |
| Fenantren | 4 | 3 | 12 | 6 | 7 | 9 | 9 | 10 | 12 | 11 | 6 | 6 |
| Fluoranten | 9 | 18 | 15 | 11 | 11 | 13 | 12 | 15 | 15 | 14 | 10 | 10 |
| Pyren | 9 | 14 | 13 | 12 | 9 | 11 | 10 | 12 | 11 | 11 | 12 | 9 |
| Benzo(a)antracen | 6 | 5 | 5 | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | 6 | 6 | 6 |
| Trifenylen/Chrysen | 10 | 9 | 8 | 9 | 8 | 8 | 8 | 7 | 8 | 7 | 7 | 12 |
| Benzo(b,j,k)fluoranten | 18 | 16 | 14 | 18 | 15 | 14 | 13 | 12 | 12 | 13 | 16 | 13 |
| Benzo(e)pyren | 8 | 8 | 7 | 8 | 7 | 6 | 6 | 6 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Benzo(a)pyren | 10 | 9 | 8 | 7 | 9 | 7 | 8 | 7 | 6 | 7 | 9 | 5 |
| Benzo(g,h,i)perylen | 10 | 7 | 6 | 7 | 8 | 7 | 5 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| SUM | 84 | 89 | 88 | 83 | 79 | 80 | 77 | 78 | 79 | 78 | 76 | 73 |
| KPAH * | 23 | 20 | 17 | 19 | 21 | 19 | 14 | 16 | 15 | 16 | 25 | 17 |

* KPAH = potensielt kreftfremkallende PAH, se appendikstabell A4 for definisjon.

4.2.4. Klororganiske forbindelser

Innhold av polyklorerte bifenyler, PCB, var relativt lavt, lavere enn f.eks. Oslofjorden. Konsentrasjonene av klorerte benzener og klorerte styrener var svært høye i Vesterhavn og spesielt nær Falconbridge, opptil >10 000 ganger normalt. Verdiene for klorbenzenene var 60 ganger høyere enn verdiene fra innerst i Frierfjorden. Innholdet avtok relativt raskt med avstand fra områder med høyest konsentrasjon, over 6 km avtok verdien med 97-99 %. Hovedkilde må være Falconbridge Nikkelverk A/S.

Innhold av polyklorerte bifenyler, PCB, (rådata i appendikstabell A5) varierte fra 2 ng/g i ytre fjordområde (K13) til 270 ng/g nær Falconbridge (tabell 14). Verdiene er relativt lave, sammenlignet med konsentrasjonene i indre Oslofjord (Abdullah et al. 1982), 45 - 575 ng/g, og 18 - 1 800 ng/g i Hvalerområdet (Næs 1983). Det er vanskelig å angi overkonsentrasjoner på grunn av at bakgrunnsverdier er dårlig kjent. Sammenlignet med konsentrasjonene i 8 - 10 cm sedimentdyp midt i Vesterhavn var høyeste verdi nær Falconbridge ca 140x høyere enn dette. En relativt høy verdi ytterst i Topdalsfjorden (K4, 80 ng/g) kan skyldes påvirkning fra en tidligere søppelfyllplass (v/Torsvigen).

I Vesterhavn og spesielt nær Falconbridge var konsentrasjonene av klorerte benzener og klorerte styrener særdeles høye, henholdsvis ~10 000 og ~500 ng/g (tabell 15). Sammenlignet med konsentrasjonene nær Norsk Hydros magnesiumfabrikk innerst i Frierfjorden i 1983 (Kringstad & Carlberg 1983), var verdiene 60 ganger høyere for klorbenzenene og 15 ganger høyere for klorstyrener. Verdiene var imidlertid noe høyere i Frierfjorden i 1975 sammenlignet med Kristiansandsfjorden (Skei 1976).

Det er vanskelig å angi eksakte overkonsentrasjoner fordi disse stoffene ikke forekommer naturlig, men bare som resultat av

industriell aktivitet. Bakgrunnsnivået er derfor det man finner i bare diffust belastede områder, langt fra punktkildene. Antar vi deteksjonsgrensen på 0.1 ng/g som bakgrunn for heksaklorbenzen (HCB) og oktaklorstyren (OCS) var det overkonsentrasjoner i ytre fjordområde utenfor Vesterhavnen i størrelsesordenen 10 - 1000, mens nær Falconbridge er overkonsentrasjoner i størrelsesordenen 10 000 - 100 000.

I overflatesedimentene (0-2 cm) varierte klor bundet til identifiserbare og kvantifiserbare forbindelser mellom 2 og 34 % av den persistente organiske klormengden, hvilket viser den komplekse sammensetningen av utslippene.

Konsentrasjonene avtok hurtig med avstand fra stasjon K23 nær Falconbridge. Ca 6 km fra denne stasjonen var verdiene redusert med 97-99 %, fig. 11. Likeledes avtok også konsentrasjonene hurtig nedover i sedimentdypet til mindre enn 5 % av overflateverdien i 4-6 cm sedimentdyp på stasjonen K18, fig. 12. Mengden av klor bundet til identifiserbare forbindelser økte med dypet (fig. 13).

Summen av klorerte benzener var i gjennomsnitt 15 ganger summen av klorerte styrener (variasjon 5-48), (tabell 15). Mengde heksaklorbenzen i prosent av sum klorerte benzener varierte mellom 31 og 75 i overflatesedimentene. Verdiene i ytre område (K4, 6, 11, 12, 13) var signifikant (Mann-Whitney U-test) lavere enn i Vesterhavnen/Fiskaabukta området, variasjon og gjennomsnitt henholdsvis 31-66, 53 og 67-78, 73. Samme signifikante forskjeller ble observert for oktaklorstyren med variasjon og gjennomsnitt henholdsvis 20-46, 32 og 56-80, 67. Dominansen av heksaklorbenzen over andre benzenforbindelser og av oktaklorstyren over andre styrener avtok med sedimentdypet (tabell 15).

God korrelasjon mellom heksaklorbenzen og oktaklorstyren, fig. 14, viser at stoffene sannsynligvis har samme kilde og opptrer likt i resipienten. Det samme er tilfelle for nikkel og heksaklorbenzen i Vesterhavnen-området, fig. 15, og underbygger at Falconbridge er hovedkilde for utslippet.

Ved utløpet av Otra (K6) var verdiene av ekstraherbart persistent organisk bundet klor (EPOCl, appendikstabell 5) ca 10 ganger (4 000 ng/g) høyere enn ytterst i fjorden (K13), men 1/10 av konsentrasjonene nær Falconbridge. Det er tvilsomt at dette skyldes transport av forurensninger fra Falconbridge. Mengden av identifiserbart klor ved utløpet av Otra var bare 2 % av den persistente organisk bundne klormengden, mens den var 23 % nær Falconbridge. Dette tyder på at klorerte forbindelser tilføres med Otra, sannsynligvis fra treforedling med Hunsfoss fabrikk som hovedkilden i Otra. Dette er i overensstemmelse med analyser av fisk og også vann fra Otra nær Hunsfoss fabrikk (Wright et al. 1983).

Tabell 15. Klororganiske forbindelser i sedimentet i Kristiansandsfjorden (ng/g tørt materiale).

5CB = Pentaklorbenzen, HCB = heksaklorbenzen, OCS = oktaklorstyren, PCB = polyklorete bifenylar, EPO-Cl, -Br = ekstraherbart persistent organisk bundet klor, -brom ID-Cl = identifiserbart klor.

| STASJON | | K4 | K6 | K8 | K11 | K12 | K13 | K16 | K17 | K18 | K19 | K21 | K23 | K18 | K18 | K18 | K18 |
|------------------|--|-----|------|------|-----|-----|-----|------|------|-------|-------|-------|-------|------|-----|------|------|
| DYP (CM) | | 0-2 | 0-2 | 0-2 | 0-2 | 0-2 | 0-2 | 0-2 | 0-2 | 0-2 | 0-2 | 0-2 | 0-2 | 2-4 | 4-6 | 8-10 | 8-10 |
| 5CB | | 9 | 26 | 32 | 12 | 12 | 38 | 125 | 137 | 367 | 1430 | 530 | 2010 | 113 | 46 | 0,4 | |
| HCB | | 19 | 61 | 105 | 27 | 27 | 71 | 461 | 558 | 2080 | 4680 | 3340 | 8790 | 555 | 131 | 1 | |
| OCS | | 6 | 4 | 6 | 1 | 2 | 1 | 34 | 47 | 111 | 141 | 168 | 288 | 39 | 7 | 0,5 | |
| PCB | | 80 | 30 | 10 | 6 | 5 | 2 | 50 | 60 | 100 | 90 | 160 | 270 | 50 | 11 | 2 | |
| EPOBr | | 40 | 100 | 100 | 200 | 100 | 100 | 400 | 200 | 300 | 1200 | 400 | 1300 | 100 | 40 | 10 | |
| EPOCl | | 500 | 4000 | 1100 | 900 | 500 | 300 | 4200 | 5000 | 14000 | 20300 | 13800 | 38800 | 4900 | 600 | - | |
| ID-Cl i | | | | | | | | | | | | | | | | | 44 |
| % av EPOCl | | 20 | 2 | 11 | 6 | 9 | 32 | 6 | 14 | 15 | 24 | 25 | 23 | 26 | 34 | - | |
| Sum | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Klorete benzener | | 62 | 93 | 148 | 42 | 48 | 144 | 689 | 835 | 2663 | 6329 | 4308 | 11662 | 904 | 224 | 2 | |
| Sum | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| klorete styrener | | 13 | 14 | 12 | 3 | 10 | 3 | 61 | 59 | 160 | 228 | 228 | 482 | 59 | 11 | 2 | |
| HCB i % av sum | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| klorete benzener | | 31 | 66 | 71 | 64 | 56 | 49 | 67 | 67 | 78 | 74 | 78 | 75 | 61 | 58 | 50 | |
| OCS i % av sum | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| klorete styrener | | 46 | 29 | 50 | 33 | 20 | 33 | 56 | 80 | 69 | 62 | 74 | 60 | 66 | 64 | 25 | |

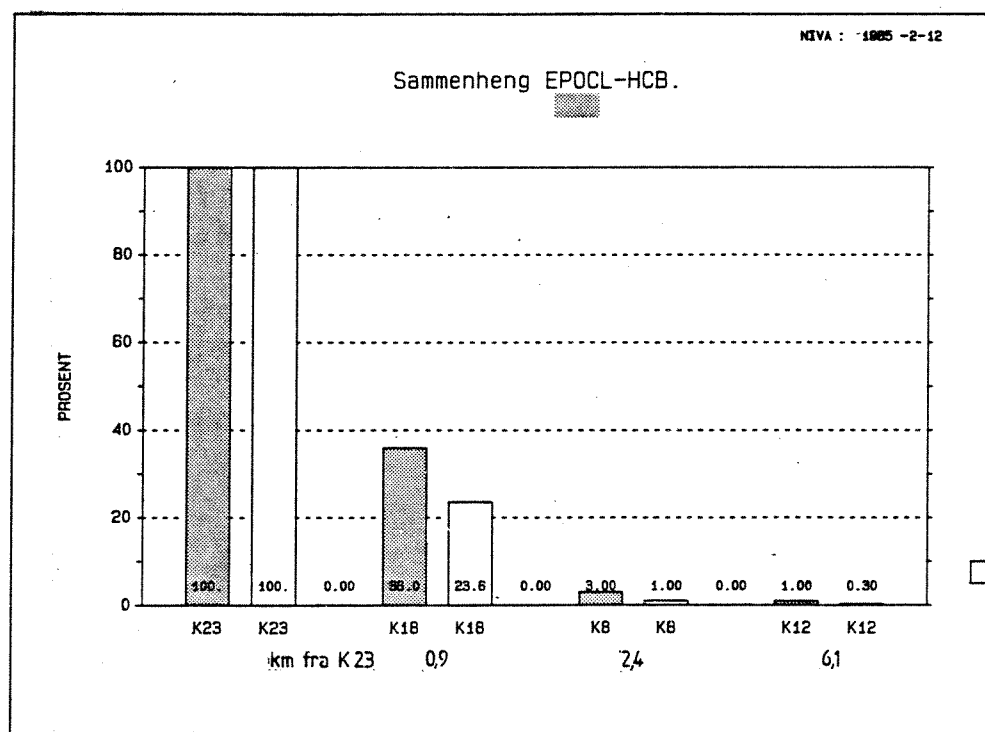
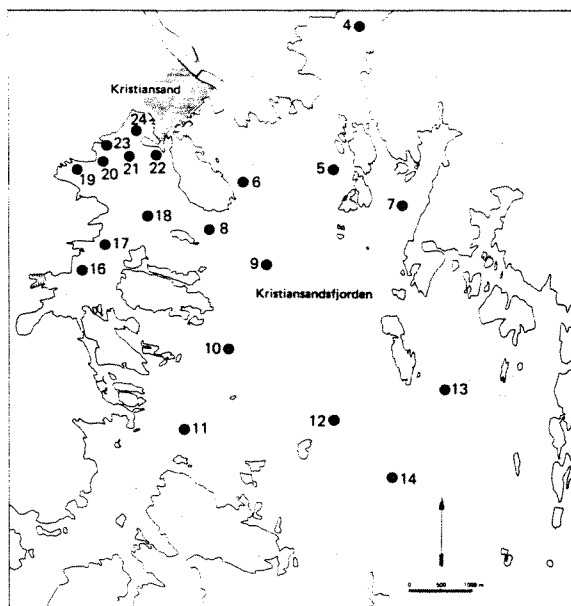
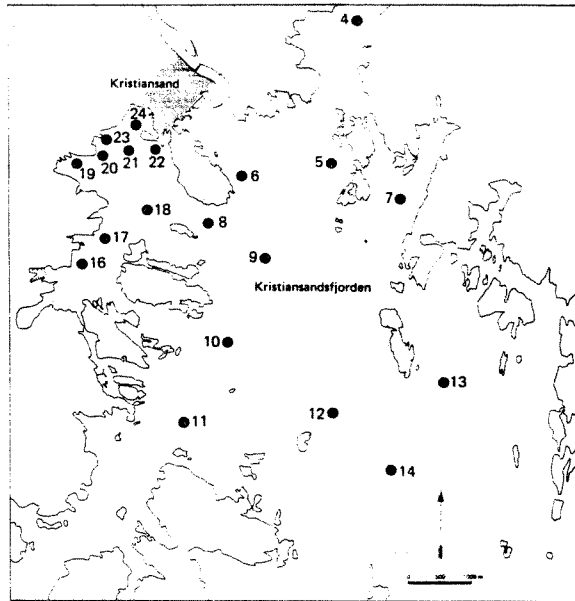


Fig. 11. Innhold av ekstraherbar persistent organisk bundet klor (EPOCL) og heksaklorbenzen (HCB) fra Vesterhavn til ytre fjordområde, relativt til K23 (100 %).

Konsentrasjonene avtar raskt med økende avstand fra st. 23.



VERTIKALPROFIL K18

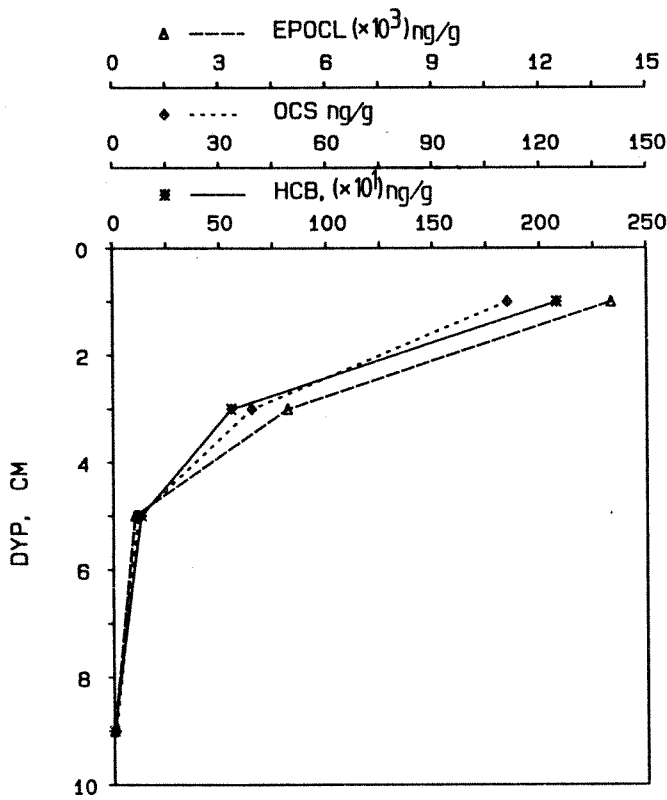
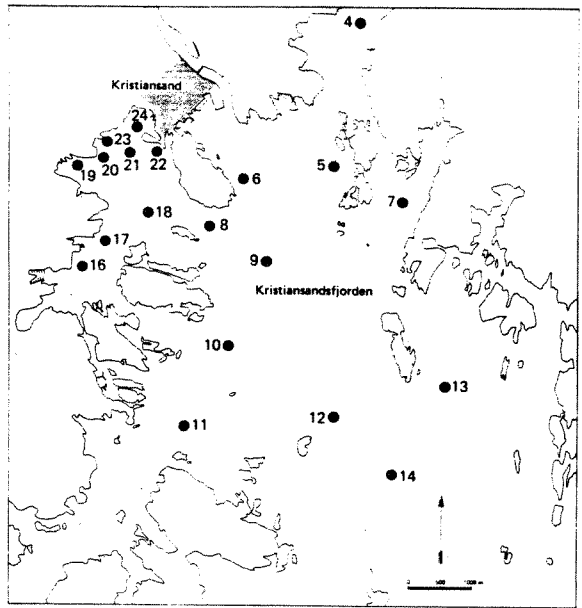


Fig. 12. Vertikalprofil av ekstraherbar persistent organisk bundet klor (EPOCL), oktaklorstyren (OCS) og heksaklorbenzen (HCB) i sedimentet i Vesterhavn (K18).

Øking i konsentrasjon fra ca 3 cm dyp i sedimentet og mot overflaten. Se også fig. 6.



VERTIKALPROFIL K18

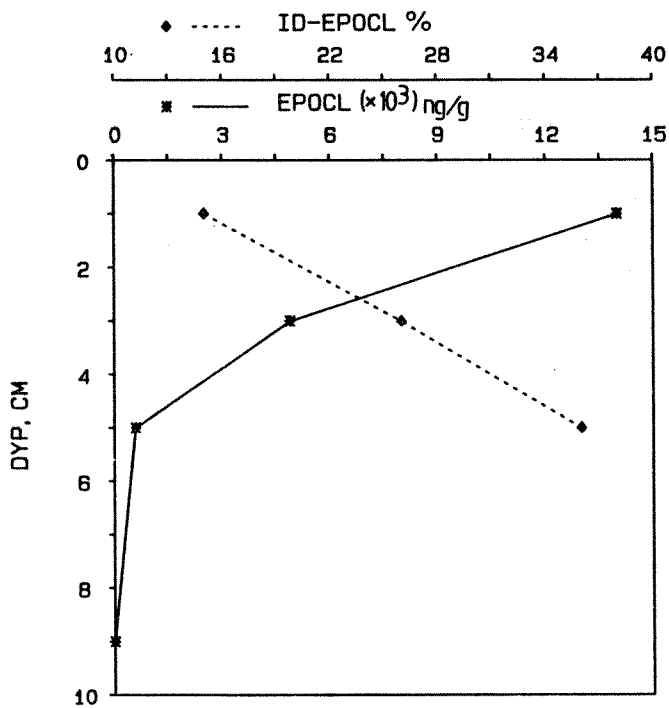
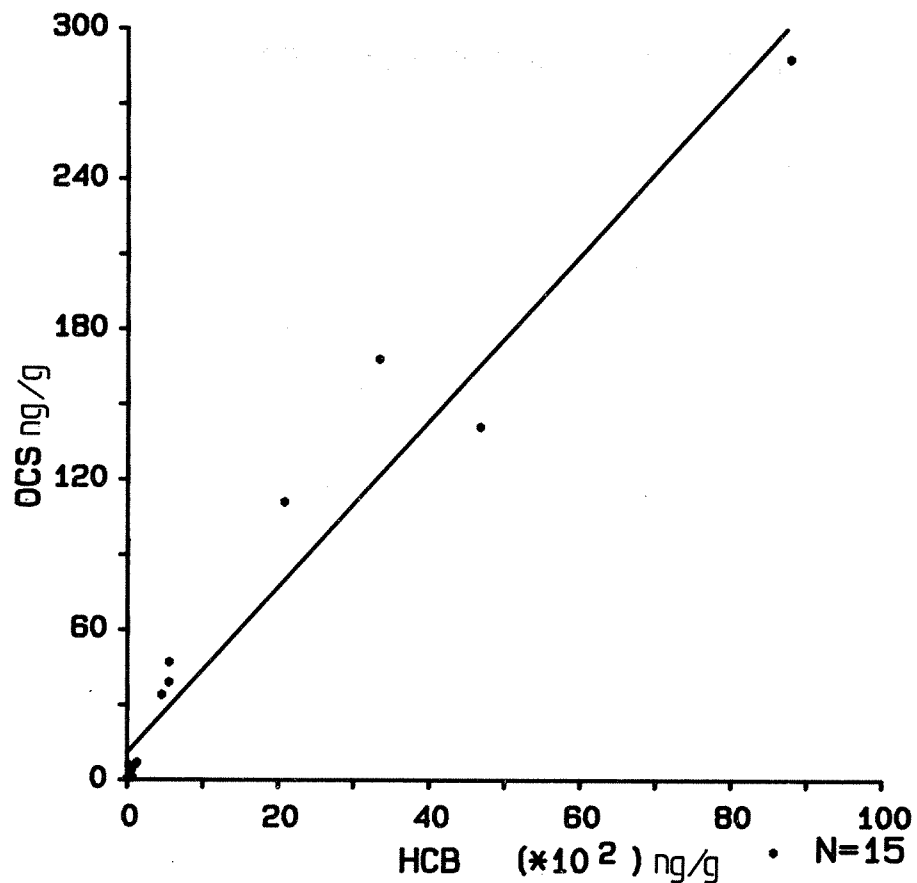


Fig. 13. Vertikalprofil i sedimentet av ekstraherbart persistent organisk bundet klor (EPOCl) og klor bundet til identifiserbare og kvantifiserbare forbindelser i prosent av EPOCl.

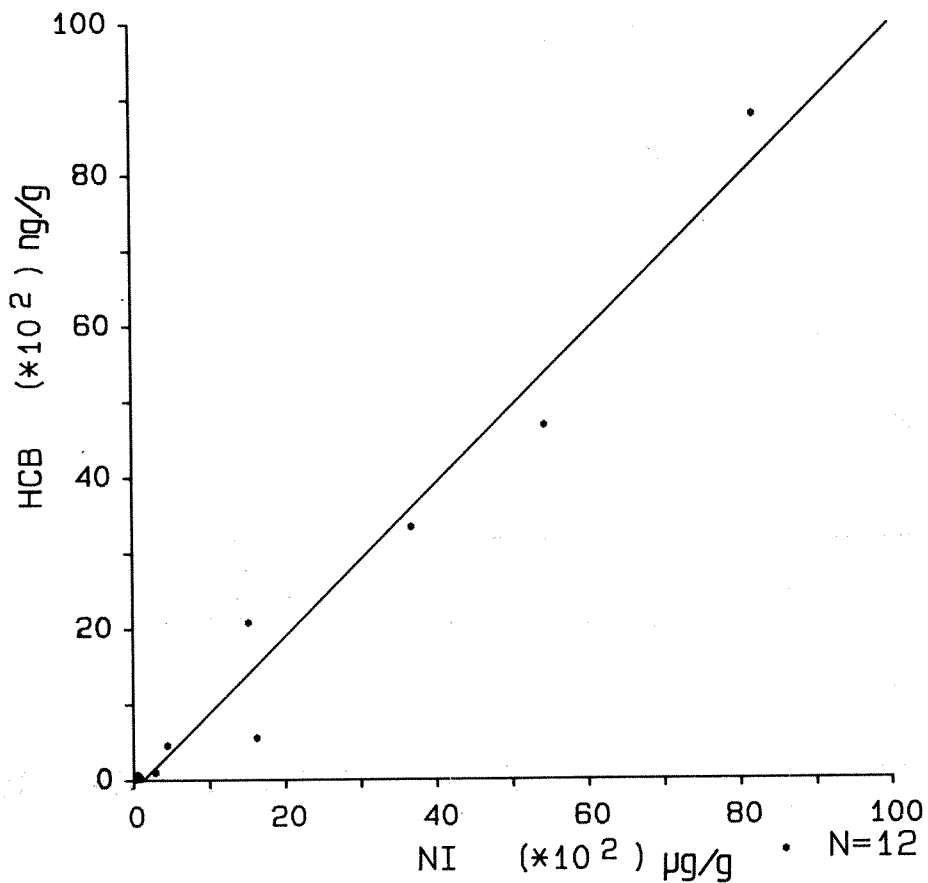


$$Y = 0.03X + 10.94 \quad R=0.97 \quad P_{\leq} 0.001 \quad SD=0.01$$

Fig. 14. Korrelasjon mellom heksaklorbenzen (HCB) og oktaklorstyren (OCS) i overflatesedimentene (0-2 cm) i Kristiansandsfjorden.

Klar sammenheng mellom heksaklorbenzen og oktaklorstyren tyder på samme kilde.

KORRELASJON NI-HCB, OVERFLATESEDIMENTENTER.



$$Y = 1.01 X - 124.88 \quad R=0.99 \quad P \leq 0.001 \quad SD=0.25$$

Fig. 15. Korrelasjon mellom nikkell (Ni) og heksaklorbenzen (HCB) i overflatesedimentene (0-1 cm: Ni, 0-2 cm: HCB) i Kristiansandsfjorden.

Klar sammenheng mellom nikkell og heksaklorbenzen tyder på samme kilde.

5. AVSLUTTENDE KOMMENTAR

Konsekvensene av de høye miljøgiftkonsentrasjonene i sedimentet lar seg ikke fullt ut konkretisere, idet utløsning og transport fra bunnavløiringer er mangelfullt kjent. Imidlertid er skadelige effekter på bunnfauna av høye metallkonsentrasjoner, særlig kobber, klart dokumentert, både i sin alminnelighet (Rygg og Skei 1984) og i dette spesielle tilfelle (Rygg 1985).

Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) er generelt lite løslige og synes ikke å ha særlig høy akutt giftighet. På den annen side er enkelte av disse stoffene potensielt kreftfremkallende. Det er også påvist økt hyppighet av sår og svulster hos fisk fra PAH-forurensede områder (Malins et al. 1983 a,b, Krahn et al. 1984).

Risikoen forbundet med det høye innholdet av klororganiske forbindelser er sannsynligvis primært at stoffene vil tas opp i organismer knyttet til bunnen, herunder krabbe og bunnfisk. Inntil sedimentene er blitt overdekket/fortynnet med nye avløiringer, må man regne med at særlig flyndrearter og ål, men også i noen grad annen fisk vil inneholde forhøyede konsentrasjoner av disse stoffene. Nedbrytbarheten av de enkelte komponentene vil sannsynligvis være forskjellig, men dette er forhold som foreløpig er lite kjent.

5. LITTERATUR

Abdullah, M.I., O. Ringstad and N.J. Kveseth 1982.

Polychlorinated biphenyls in the sediments of the inner Oslofjord. *Water, Air and Soil Poll.*, 18:485-497.

Baalsrud, K., N. Green, J. Knutzen, K. Næs og B. Rygg 1985 (in prep.) Overvåkning av Årdalsfjorden 1983.

Hansen, B. og K.R. Vågsholm 1978. Tungmetaller i sedimenter. Analyse av sedimentprøver fra Kristiansands havn. Seminaroppgave Agder Distriktshøyskole, 56 s.

Haugen, I., L. Kirkerud, J. Knutzen, K. Kvalvågnæs, J. Magnusson, B. Rygg og Jens Skei 1981. Vefsnfjorden som resipient for avfall fra Mosjøen Aluminiumsverk. Rapport 1. Undersøkelser 1978-1980. 0-76146. NIVA, Oslo, 1753.

Hovland, G.E. og E. Olsen 1980. AAS-bestemmelse av tungmetaller i sjøvann. En undersøkelse fra Kristiansandsfjorden. Seminaroppgave ved Agder Distriktshøyskole, 72 s.

Krahn, M.M., Myers, M.s., Burrows, D.G. and Malins D.C. 1984. Determination of metabolites of xenobiotics in bile of fish from polluted waterways. Xenobiotica (In press).

Kringstad, A. og G.E. Carlberg 1983. Identifikasjon av klorstyrenforbindelser i Frierfjordprøver og testing av klorstyreneer i giftighet, mutagenitet og bioakkumuleringspotensial. SI-rapp. nr. 830130-1, 28 s.

Magnusson, B. and L. Rasmussen 1982. Trace metal levels in coastal sea water. Investigation of Danish waters. *Mar. Poll. Bull.*, 13:81-84.

- Malins, D.C., Myers, M.S. and Roubal, W.T. 1983a. Organic free radicals associated with idiopathic liver lesions of English sole (Parophrys vetulus) from polluted marine environments. Environ. Sci. Technol. 17:679-685.
- Malins, D.C., Myers, M.S., MacLeod, W.D. and Roubal, W.T. 1983b. Presented at the Second International Symposium on Responses of Marine Organisms to Pollutants, Woods Hole Oceanographic Institution, Woods, Hole, MA. (Unpublished results).
- Molvær, J. 1981. Resipientundersøkelse av Kristiansandsfjorden. Litteraturoversikt over tidligere undersøkelser. NIVA-rapp. nr. O-8003-13, 18 s.
- Niemistö, L. 1974. A gravity corer for studies of soft sediments. Havforskningsinst. Skr. Helsinki, 238 : 33-38.
- Næs, K. 1983. Basisundersøkelse i Hvalerområdet og Singlefjorden. Løste metaller, suspendert materiale og sedimenter. Statlig program for forurensningsovervåking. Rapp. 70/83, 100 s. SFT/NIVA, Oslo.
- Olafson, J. 1982. An international intercalibration for mercury in sea water. Mar. Chem., 11:129-142.
- Riley, J.P. and R. Chester 1971. Introduction to marine chemistry. Academic Press. London, New York, 465 s.
- Rygg, B. 1985. Basisundersøkelse av Kristiansandsfjorden. Delrapport 1. Bløtbunnsfaunaundersøkelser 1983. Statlig program for forurensningsovervåking. Rapp. 176/85, 60 s. SFT, NIVA, Oslo.
- Rygg, B. og J. Skei 1984. Sammenheng mellom marine bløtbunnsfaunasamfunns artsdiversitet og sedimentets miljøgiftinnhold. NIVA-rapp. nr. OF-80612, 8 s + fig.

Seip, K.L. og A. Melhuus, 1980. Tungmetallundersøkelse i Kristiansandsfjorden. SI-rapp. nr. 791001-1.

Skei, J. 1975. Resipientvurderinger av nedre Skienselva, Frierfjorden og tiliggende fjordområder. Rapport 3. Fremdriftsrapport fra de sedimentgeokjemiske undersøkelserne i juli 1975. NIVA-rapp. nr. O-111/70.

Wright, R.F., M. Grande, P. Brettum, J.E. Løvik, R. Romstad, K. Martinsen 1983. Otra 1982. Rutineovervåking. (Overvåkningsrapport 89/83). Statlig program for forurensningsovervåking. SFT/NIVA, Oslo. 66 s.

6. A P P E N D I K S

Tabell A1. Konsentrasjoner av løst arsen (As), kobber (Cu), jern (Fe), kvikksølv (Hg), nikkel (Ni) og bly (Pb) i µg/l.

| STA-KODE | DATO | DYP | AS | CU | FE | HG | NI | PB |
|-----------|--------|-----|-----|-----|-----|-------|-----|------|
| KRIS-KS1 | 830418 | 0-1 | 0.2 | 4.7 | 65. | <0.04 | 2.8 | 1.5 |
| KRIS-KS2 | 830418 | 0-1 | 0.2 | 2.8 | 45. | <0.04 | 2.2 | 0.7 |
| KRIS-KS4 | 830418 | 0-1 | 0.3 | 2.2 | 39. | <0.04 | 1.7 | 0.5 |
| KRIS-KS4 | 830418 | 4 | 0.9 | 1.9 | 5.7 | <0.04 | 2.2 | <0.5 |
| KRIS-KS4 | 830418 | 20 | 1.1 | 1.4 | 2.5 | <0.04 | 1.3 | <0.5 |
| KRIS-KS4 | 830418 | 30 | 1.1 | 1.5 | 4.2 | <0.04 | 1.5 | <0.5 |
| KRIS-KS5 | 830418 | 0-1 | 0.4 | 1.0 | 19. | <0.04 | 1.4 | <0.5 |
| KRIS-KS6 | 830418 | 0-1 | 0.7 | 1.8 | 12. | <0.04 | 1.9 | <0.5 |
| KRIS-KS6 | 830418 | 8 | 1.0 | 1.5 | 3.7 | <0.04 | 2.4 | <0.5 |
| KRIS-KS6 | 830418 | 20 | 1.2 | 0.7 | 3.1 | <0.04 | 1.7 | <0.5 |
| KRIS-KS6 | 830418 | 50 | 1.3 | 1.0 | 1.8 | <0.04 | 1.0 | <0.5 |
| KRIS-KS7 | 830418 | 0-1 | 0.6 | 1.3 | 14. | <0.04 | 2.1 | <0.5 |
| KRIS-KS8 | 830418 | 0-1 | 0.6 | 1.7 | 15. | <0.04 | 4.7 | <0.5 |
| KRIS-KS8 | 830418 | 8 | 1.0 | 1.1 | 3.3 | <0.04 | 2.1 | <0.5 |
| KRIS-KS8 | 830418 | 20 | 1.0 | 0.7 | 2.0 | <0.04 | 2.1 | <0.5 |
| KRIS-KS8 | 830418 | 50 | 1.4 | 0.7 | 2.3 | <0.04 | 1.2 | <0.5 |
| KRIS-KS9 | 830418 | 0-1 | 0.8 | 0.9 | 4.3 | <0.04 | 2.0 | <0.5 |
| KRIS-KS10 | 830418 | 0-1 | 1.3 | 4.5 | 16. | <0.04 | 17. | 0.8 |
| KRIS-KS11 | 830418 | 0-1 | 0.7 | 1.2 | 4.2 | <0.04 | 2.1 | <0.5 |
| KRIS-KS12 | 830418 | 0-1 | 0.8 | 1.0 | 2.1 | <0.04 | 2.2 | <0.5 |
| KRIS-KS12 | 830418 | 8 | 0.9 | 1.2 | 2.0 | <0.04 | 1.1 | <0.5 |
| KRIS-KS12 | 830418 | 20 | 1.1 | 0.7 | 2.0 | <0.04 | 1.1 | <0.5 |
| KRIS-KS12 | 830418 | 50 | 1.1 | 0.8 | 1.2 | 0.04 | 1.0 | <0.5 |
| KRIS-KS13 | 830418 | 0-1 | 0.8 | 1.2 | 2.7 | <0.04 | 1.1 | <0.5 |
| KRIS-KS14 | 830418 | 0-1 | 0.8 | 1.3 | 4.0 | <0.04 | 3.3 | <0.5 |
| KRIS-KS15 | 830418 | 0-1 | 0.8 | 1.6 | 5.6 | <0.04 | 2.2 | <0.5 |
| KRIS-KS16 | 830418 | 0-1 | 0.8 | 3.0 | 17. | <0.04 | 11. | <0.5 |
| KRIS-KS17 | 830418 | 0-1 | 0.8 | 2.7 | 16. | <0.04 | 12. | <0.5 |
| KRIS-KS18 | 830418 | 0-1 | 1.0 | 3.9 | 16. | <0.04 | 19. | <0.5 |
| KRIS-KS18 | 830418 | 8 | 0.9 | 1.7 | 2.4 | <0.04 | 6.2 | 0.5 |
| KRIS-KS18 | 830418 | 20 | 1.0 | 1.5 | 3.2 | <0.04 | 7.1 | 0.5 |
| KRIS-KS18 | 830418 | 40 | 1.2 | 1.0 | 3.3 | <0.04 | 6.0 | 0.5 |
| KRIS-KS19 | 830418 | 0-1 | 1.2 | 6.2 | 15. | <0.04 | 31. | 0.8 |
| KRIS-KS19 | 830418 | 8 | 1.3 | 2.2 | 5.0 | <0.04 | 16. | 0.8 |
| KRIS-KS19 | 830418 | 20 | 1.0 | 1.1 | 2.6 | <0.04 | 7.5 | <0.5 |
| KRIS-KS20 | 830418 | 0-1 | 1.3 | 8.6 | 12. | <0.04 | 85. | <0.5 |
| KRIS-KS21 | 830418 | 0-1 | 1.6 | 4.1 | 9.0 | <0.04 | 24. | 0.5 |
| KRIS-KS23 | 830418 | 0-1 | 2.8 | 8.6 | 15. | <0.04 | 45. | 1.7 |
| KRIS-KS24 | 830418 | 0-1 | 1.2 | 3.8 | 10. | <0.04 | 20. | 1.5 |

Tabell A1 forts.

| STA-KODE | DATO | DYP | AS | CU | FE | HG | NI | PB |
|-----------|--------|-----|-----|-----|-----|-------|-----|------|
| KRIS-KS1 | 831122 | 0-1 | 1.1 | 0.5 | 3.9 | 0.07 | <1. | <0.5 |
| KRIS-KS2 | 831122 | 0-1 | 1.4 | 1.0 | 4.6 | 0.06 | <1. | <0.5 |
| KRIS-KS4 | 831122 | 0-1 | 1.4 | 0.9 | 3.7 | 0.09 | <1. | <0.5 |
| KRIS-KS4 | 831122 | 8 | 1.2 | 4.6 | 3.0 | 0.15 | <1. | <0.5 |
| KRIS-KS4 | 831122 | 20 | 1.2 | 0.5 | 2.3 | 0.08 | <1. | <0.5 |
| KRIS-KS4 | 831122 | 30 | 1.4 | 0.5 | 1.7 | <0.04 | <1. | <0.5 |
| KRIS-KS5 | 831122 | 0-1 | 1.2 | 2.1 | 6.7 | 0.06 | <1. | <0.5 |
| KRIS-KS6 | 831122 | 0-1 | 1.1 | 1.4 | 6.3 | 0.09 | 2.4 | <0.5 |
| KRIS-KS6 | 831122 | 8 | 1.2 | 0.4 | 1.7 | <0.04 | <1. | <0.5 |
| KRIS-KS6 | 831122 | 20 | 1.1 | 0.7 | 2.1 | <0.04 | <1. | <0.5 |
| KRIS-KS6 | 831122 | 50 | 1.3 | 0.8 | 1.9 | <0.04 | <1. | <0.5 |
| KRIS-KS7 | 831122 | 0-1 | 1.1 | 0.6 | 3.6 | 0.08 | <1. | <0.5 |
| KRIS-KS8 | 831122 | 0-1 | 1.3 | 1.0 | 3.0 | <0.04 | <1. | 0.42 |
| KRIS-KS8 | 831122 | 8 | 1.3 | 0.2 | 2.0 | 0.08 | <1. | 0.42 |
| KRIS-KS8 | 831122 | 20 | 1.0 | 0.6 | 1.4 | 0.07 | <1. | 0.42 |
| KRIS-KS8 | 831122 | 50 | 1.4 | 0.3 | 8.9 | 0.06 | <1. | 0.42 |
| KRIS-KS9 | 831122 | 0-1 | 1.2 | 0.7 | 5.7 | <0.04 | <1. | 0.42 |
| KRIS-KS10 | 831122 | 0-1 | 1.1 | 0.8 | 4.8 | 0.08 | <1. | 0.42 |
| KRIS-KS11 | 831122 | 0-1 | 1.1 | 1.2 | 4.7 | <0.04 | <1. | 0.42 |
| KRIS-KS12 | 831122 | 0-1 | 1.3 | 1.1 | 4.1 | <0.04 | <1. | 0.42 |
| KRIS-KS12 | 831122 | 8 | 1.1 | 2.6 | 2.9 | 0.08 | <1. | 0.42 |
| KRIS-KS12 | 831122 | 20 | 1.4 | 1.0 | 2.7 | <0.04 | <1. | 0.42 |
| KRIS-KS12 | 831122 | 50 | 1.4 | 0.6 | 4.4 | <0.04 | <1. | 0.42 |
| KRIS-KS13 | 831122 | 0-1 | 1.2 | 5.4 | 7.6 | 0.06 | <1. | 0.42 |
| KRIS-KS14 | 831122 | 0-1 | 1.2 | 0.8 | 5.0 | <0.04 | <1. | 0.42 |
| KRIS-KS15 | 831122 | 0-1 | 1.2 | 1.1 | 6.9 | <0.04 | <1. | 0.42 |
| KRIS-KS16 | 831122 | 0-1 | 1.4 | 1.2 | 2.0 | <0.04 | <1. | 0.42 |
| KRIS-KS17 | 831122 | 0-1 | 1.1 | 4.4 | 4.3 | 0.17 | <1. | <0.5 |
| KRIS-KS18 | 831122 | 0-1 | 1.4 | 1.5 | 5.2 | 0.2 | 4.1 | <0.5 |
| KRIS-KS18 | 831122 | 8 | 1.5 | 1.5 | 3.2 | 0.17 | 5.8 | <0.5 |
| KRIS-KS18 | 831122 | 20 | 1.5 | 1.2 | 2.3 | <0.04 | 2.4 | <0.5 |
| KRIS-KS18 | 831122 | 40 | 1.8 | 2.3 | 3.1 | 0.04 | 6.0 | <0.5 |
| KRIS-KS19 | 831122 | 0-1 | 1.5 | 1.3 | 2.1 | 0.08 | 16. | <0.5 |
| KRIS-KS19 | 831122 | 8 | 1.5 | 1.1 | 2.3 | 1.6 | 3.5 | <0.5 |
| KRIS-KS19 | 831122 | 20 | 1.7 | 0.9 | 7.9 | 1.8 | 13. | <0.5 |
| KRIS-KS20 | 831122 | 0-1 | 2.8 | 5.7 | 2.5 | 1.4 | 82. | 25. |
| KRIS-KS21 | 831122 | 0-1 | 1.9 | 2.5 | 3.0 | 2.2 | 8.6 | <0.5 |
| KRIS-KS23 | 831122 | 0-1 | 1.4 | 1.6 | 3.3 | 1.8 | 5.3 | <0.5 |
| KRIS-KS24 | 831122 | 0-1 | 1.5 | 1.7 | 3.0 | 2.2 | 3.0 | <0.5 |

Tabell A2. Konsentrasjoner av partikulært metall ($\mu\text{g/l}$) i vann fra Kristiansandsfjorden 18/4-83. Vannprøvene er filtrert gjennom $0,4 \mu\text{m}$ Nuclepore membranfilter.

| <u>Stasjon</u> | <u>Dyp (m)</u> | <u>Ni</u> | <u>Cu</u> | <u>Fe</u> |
|----------------|----------------|-----------|-----------|-----------|
| K8 | 0-1 | <0,5 | 0,3 | 27 |
| K9 | 0-1 | <0,5 | 0,3 | 9 |
| K14 | 0-1 | <0,5 | 0,3 | 8 |
| K17 | 0-1 | <0,5 | 1,2 | 31 |
| K19 | 20 | <0,5 | 2,4 | 34 |
| K20 | 0-1 | 1 | 8,7 | 66 |

Tabell A3. Sedimentkonsentrasjoner av nikkel (Ni), kobolt (Co), bly (Pb), kadmium (Cd), krom (Cr), kvikksølv (Hg), kobber (Cu), arsen (As) i µg/g og jern (Fe), totalt nitrogen (Tot-N), totalt organisk karbon (TOC) i % (<63 µm fraksjon, tørt sediment).

| STA-KODE | DATA | DYP-SED | NI-SED | CO-SED | PB-SED | CD-SED | ZN-SED | CR-SED | FE-SED | HG-SED | CU-SED | AS-SED | TOT-N-SED | TOC-SED | C/N-SED |
|----------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|---------|---------|
| KRIS-1 | 830418 | 0-1 | 65 | 23 | 100 | 0.25 | 151 | 42 | 2.2 | | 48 | | 0.42 | 4.2 | 9.93 |
| KRIS-2 | 830418 | 0-1 | 77 | 11 | 202 | 0.03 | 289 | 64 | 2.8 | | 69 | | 0.42 | 4.1 | 9.74 |
| KRIS-4 | 830418 | 0-1 | 32 | 5 | 88 | | 168 | 20 | 1.4 | | 28 | | 0.1 | 1.1 | 11.0 |
| KRIS-5 | 830418 | 0-1 | 45 | 11 | 36 | | 50 | 18 | 1.4 | | 25 | | 0.08 | 0.9 | 11.6 |
| KRIS-6 | 830418 | 0-1 | 72 | 7 | 74 | 0.19 | 204 | 38 | 1.8 | | 64 | | 0.29 | 4.4 | 15.1 |
| KRIS-7 | 830418 | 0-1 | 83 | 19 | 71 | | 97 | 34 | 2.2 | | 42 | | 0.21 | 2.5 | 11.9 |
| KRIS-8 | 830418 | 0-1 | 290 | 13 | 138 | 0.07 | 106 | 71 | 2.3 | | 186 | | 0.21 | 2.9 | 13.9 |
| KRIS-9 | 830418 | 0-1 | 100 | 10 | 124 | 0.1 | 175 | 54 | 2.7 | 0.14 | 66 | 23 | 0.24 | | |
| KRIS-9 | 830418 | 1-2 | 98 | 10 | 90 | 0.11 | 112 | 52 | 2.6 | | 66 | | 0.23 | 2.8 | 12.0 |
| KRIS-9 | 830418 | 2-3 | 90 | 8 | 88 | 0.12 | 110 | 50 | 2.5 | | 58 | | 0.22 | 2.8 | 12.7 |
| KRIS-9 | 830418 | 3-4 | 88 | 10 | 84 | 0.07 | 114 | 52 | 2.7 | | 60 | | 0.23 | 3.0 | 13.2 |
| KRIS-9 | 830418 | 4-5 | 99 | 10 | 77 | 0.07 | 109 | 52 | 2.5 | | 60 | | 0.23 | 2.9 | 12.5 |
| KRIS-10 | 830418 | 0-1 | 114 | 22 | 86 | | 113 | 47 | 2.6 | | 62 | | 0.23 | 3.0 | 12.9 |
| KRIS-11 | 830418 | 0-1 | 90 | 10 | 262 | 0.07 | 1700 | 30 | 2.1 | | 48 | | 0.17 | 1.9 | 11.1 |
| KRIS-11 | 830418 | 1-2 | 97 | 18 | 67 | | 93 | 34 | 2.1 | | 51 | | 0.19 | 2.6 | 13.6 |
| KRIS-11 | 830418 | 2-3 | 97 | 17 | 64 | | 90 | 32 | 2.0 | | 53 | | 0.2 | 2.5 | 12.7 |
| KRIS-12 | 830418 | 0-1 | 55 | 19 | 67 | | 94 | 34 | 2.4 | | 33 | | 0.19 | 2.5 | 13.1 |
| KRIS-13 | 830418 | 0-1 | 48 | 8 | 184 | 0.12 | 900 | 33 | 2.3 | | 36 | | 0.21 | 2.4 | 11.4 |
| KRIS-14 | 830418 | 0-1 | 59 | 20 | 75 | | 106 | 37 | 2.6 | | 32 | | 0.17 | 2.1 | 12.5 |
| KRIS-16 | 830418 | 0-1 | 445 | 19 | 100 | 0.36 | 178 | 44 | 2.6 | 0.1 | 367 | 82 | | | |
| KRIS-17 | 830418 | 0-1 | 1620 | 64 | 415 | 0.16 | 267 | 114 | 4.4 | | 1515 | | 0.44 | 6.2 | 14.0 |
| KRIS-18 | 830418 | 0-1 | 1520 | 68 | 668 | 0.13 | 228 | 446 | 6.0 | 0.41 | 1539 | 2700 | 0.31 | 4.8 | 15.4 |
| KRIS-18 | 830418 | 1-2 | 1540 | 50 | 600 | 0.11 | 134 | 328 | 3.7 | | 1156 | | 0.22 | 2.9 | 13.0 |
| KRIS-18 | 830418 | 2-3 | 770 | 21 | 258 | 0.07 | 112 | 104 | 2.2 | | 484 | | 0.14 | 2.1 | 15.3 |
| KRIS-18 | 830418 | 3-4 | 295 | 12 | 138 | 0.08 | 94 | 50 | 2.0 | | 214 | | 0.12 | 1.7 | 14.2 |
| KRIS-18 | 830418 | 4-5 | 155 | 8 | 120 | 0.08 | 88 | 28 | 1.8 | | 94 | | 0.1 | 1.4 | 14.3 |
| KRIS-18 | 830418 | 6-7 | 93 | 12 | 74 | | 78 | 21 | 1.6 | | 62 | | 0.09 | 1.4 | 15.9 |
| KRIS-18 | 830418 | 8-10 | 36 | 11 | 89 | | 75 | 17 | 1.6 | | 29 | | 0.08 | 1.3 | 16.6 |
| KRIS-18 | 830418 | 14-16 | 11 | 4 | 20 | 0.05 | 54 | 16 | 1.6 | | 10 | | 0.06 | 0.8 | 13.2 |
| KRIS-19 | 830418 | 0-1 | 5440 | 360 | 706 | 0.76 | 138 | 318 | 30.6 | | 3940 | 7900 | 0.11 | 1.0 | 9.1 |
| KRIS-20 | 830418 | 0-1 | 6480 | 472 | 1070 | 0.3 | 56 | 242 | 36.2 | | 3238 | | 0.35 | 3.6 | 10.1 |
| KRIS-21 | 830418 | 0-1 | 3680 | 168 | 488 | 0.5 | 208 | 118 | 11.2 | | 3857 | | 0.35 | 4.1 | 11.7 |
| KRIS-22 | 830418 | 0-1 | 1815 | 78 | 405 | 0.19 | 168 | 108 | 6.7 | | 1928 | | 0.32 | 3.3 | 10.2 |
| KRIS-23 | 830418 | 0-1 | 8200 | 354 | 366 | 0.5 | 232 | 74 | 14.0 | | 5778 | | 0.32 | 3.9 | 14.3 |
| KRIS-24 | 830418 | 0-1 | 1160 | 52 | 274 | 0.26 | 206 | 50 | 4.1 | | 1153 | | 0.27 | 3.9 | 14.3 |

Tabell A4. Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) i sedimentet.
KPAH = kreftfremkallende PAH. Konsentrasjoner
i ng/g tørt materiale, <63 µ fraksjon.

| PAH | Stasjon | K4 0-2 | K6 0-2 | K8 0-2 | K12 0-2 | K17 0-2 | K18 0-2 | K21 0-2 |
|--|---------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| Naftalen | | | | | | | | |
| 2-Metylnaftalen | | | | | | | | |
| 1-Metylnaftalen | | | | | | | | |
| Bifenyli | | | | | | | | |
| Acenaftalen | | | | | | | | |
| Acenaften | | | | | | 471 | | |
| 4-Metylbifenyli | | | | | | | | |
| Dibenzofuran | | | | | | 214 | | |
| Fluoren | | | | | | 371 | | |
| 9-Metylfuoren | | | | | | | | |
| 9,10-Dihydroantracen | | | | | | | | |
| 2-Metylfuoren | | | | | | | | |
| 1-Metylfuoren | | | | | | | | |
| Dibenzothiophen | | | | | | 240 | | 46 |
| Fenantren | 46 | 98 | 426 | 94 | 3974 | 910 | 1423 | |
| Antracen | | | 136 | 39 | 1085 | 210 | 350 | |
| Carbazole | | | | | | | | |
| 3-Metylfenantren | | | | | | | | |
| 2-Metylfenantren | 10 | | | | 708 | 200 | 180 | |
| 2-Metylantracen | | | 13) 36 | 20 | | | | |
| 4,5-Metylfenantren | | | | | | | | |
| 4- og/eller 9-Metylfenantren | | | | | | | | |
| 1-Metylfenantren | | | | | 313 | 77 | 80 | |
| Fluoranten | 109 | 577 | 539 | 184 | 5305 | 1409 | 2188 | |
| Fyren | 105 | 434 | 446 | 194 | 4380 | 1120 | 1790 | |
| Benzo(a)fluoren | 7 | 46 | 82 | 22 | 1365 | 82 | 125 | |
| Benzo(b)fluoren | | | | | 160 | | 71 | |
| 4-Metyipyren | | | | | | | | |
| 2-Metyipyren og/eller Metylfuoranten | | | | | | | | |
| 1-Metyipyren | | | | | | | | |
| Benzo(ghi)fluoranten | | | | | | | | |
| Benzo(c)fenantren *** | 1) 9 | | | | 514 | 118 | 172 | |
| Benzo(a)antracen * | 71 | 163 | 209 | 82 | 2773 | 670 | 912 | |
| Trifenylen/Chrysen * | 114 | 282 | 363 | 151 | 3344 | 984 | 1212 | |
| Benzo(b)fluoranten ** | 214 | 507 | 489 | 296 | 4534 | 1901 | 2352 | |
| Benzo(j,k)fluoranten ** 1) | | | | | 1306 | | | |
| Benzo(e)pyren * | 95 | 253 | 202 | 131 | 2543 | 840 | 989 | |
| Benzo(a)pyren *** | 116 | 277 | 266 | 112 | 3450 | 1044 | 1203 | |
| Perylen | 34 | 61 | 79 | 33 | 886 | 325 | 360 | |
| Indeno(1,2,3-cd)pyren * | 110 | 196 | 162 | 136 | 2293 | 890 | 933 | |
| Dibenz(a,h og/eller a,c)antracen *** 1) | 34 | 38 | | | 633 | 295 | 269 | |
| Picen | | | | | | | | |
| Benzo(g,h,i)perylen | 120 | 220 | 77 | 118 | 2396 | 927 | 1099 | |
| Anthanthrene | | | | | 685 | 243 | 325 | |
| Coronen | | | | | | | | |
| Sum | | 1194 | 3152 | 3512 | 1612 | 43913 | 12277 | 16425 |
| Derav KPAH | | 276 | 634 | 592 | 309 | 6235 | 2577 | 3090 |
| * KPAH | | 23 | 20 | 17 | 19 | 14 | 21 | 19 |
| * Torrstoff | | | | | | | | |

1)
KPAH er summen av moderat (**) og sterkt kreftfremkallende (***) PAH i henhold til U.S. National Academy of Science (NAS, 1972). I summen ** + *** er det medregnet 50 % av benzo(j,k)fluoranten og dibenz(a,h/a,c)antracen, idet bare B_(j)F og DB(a,h)A er kreftfremkallende. Når PAH-innholdet i alle benzofluorantener er gitt som en sum, er 2/3 regnet som KPAH

Tabell A4 forts.

| PAH | Stasjon | K17Y | K17X | K17X | K17X | K17X | | | |
|---|---------|-------|--------|--------|--------|-------|--|--|--|
| | | 0-2 | 0-2 | 4-6 | 10-12 | 18-20 | | | |
| Naftalen | | 57 | 1099 | 2290 | 795 | 60 | | | |
| 2-Metylnaftalen | | 38 | 300 | 609 | 270 | 30 | | | |
| 1-Metylnaftalen | | 32 | 252 | 480 | 242 | 735 | | | |
| Bifenyl | | 30 | 119 | 168 | 81 | 19 | | | |
| Acenaftalen | | | | | 116 | 15 | | | |
| Acenaften | | 475 | 3625 | 5813 | 1815 | 71 | | | |
| 4-Metylbifenyyl | | | | | | | | | |
| Dibenzofuran | | 163 | 1652 | 2234 | 877 | | | | |
| Fluoren | | 439 | 3575 | 4356 | 1343 | 138 | | | |
| 9-Metylfuoren | | 55 | 352 | 686 | 350 | 30 | | | |
| 9,10-Dihydroantracen | | | | 560 | | 27 | | | |
| 2-Metylfuoren | | 88 | 457 | | 402 | | | | |
| 1-Metylfuoren | | 47 | 200 | 288 | 262 | 30 | | | |
| Dibenzothiophen | | 16 | | | 196 | 108 | | | |
| Fenantren | | 4992 | 38152 | 41949 | 12311 | 1167 | | | |
| Antracen | | 1217 | 9408 | 18529 | 15224 | 280 | | | |
| Carbazole | | | | | | | | | |
| 3-Metylfenantren | | | | | | | | | |
| 2-Metylfenantren | | | 25928 | | | | | | |
| 2-Metylantracen | | 976 | | 7294 | 3280 | 114 | | | |
| 4,5-Metylfenantren | | | | | | | | | |
| 4- og/eller 9-Metylfenantren | | | | | 506 | | | | |
| 1-Metylfenantren | | 323 | 1694 | 2650 | 777 | 92 | | | |
| Fluoranten | | 7287 | 47642 | 55593 | 20836 | 1955 | | | |
| Pyren | | 5877 | 37122 | 45167 | 24986 | 1736 | | | |
| Benzo(a)fluoren | | 1573 | 9647 | 11986 | 4167 | 977 | | | |
| Benzo(b)fluoren | | 1383 | 9039 | 11202 | 6410 | 877 | | | |
| 4-Metylpynen | | | | | | | | | |
| 2-Metylpynen og/eller Metylfuoranten | | | | | | | | | |
| 1-Metylpynen | | 639 | 3415 | 3779 | 2849 | 128 | | | |
| Benzo(ghi)fluoranten | | | | | | | | | |
| Benzo(c)fenantren *** | | 181 | 1613 | 2306 | 1190 | 185 | | | |
| Benzo(a)antracen * | | 3057 | 21486 | 22678 | 11289 | 1121 | | | |
| Trifenyl/Chrysen * | | 3596 | 24827 | 28617 | 13507 | 2377 | | | |
| Benzo(b)fluoranten ** | | 66141 | 38762 | 51149 | 25977 | 1668 | | | |
| Benzo(j,k)fluoranten ** 1) | | | | | 6566 | 740 | | | |
| Benzo(e)pyren * | | 2974 | 16122 | 23092 | 13459 | 1509 | | | |
| Benzo(a)pyren *** | | 3367 | 20508 | 28177 | 18998 | 879 | | | |
| Perylen | | 854 | | | 4252 | 222 | | | |
| Indeno(1,2,3-cd)pyren * | | 1710 | 11472 | 14301 | 8651 | 867 | | | |
| Dibenz(a,h og/eller a,c)antracen *** 1) | | 90 | 3440 | 392 | 815 | 464 | | | |
| Picen | | | | | | | | | |
| Benzo(g,h,i)perylene | | 1513 | 10857 | 12115 | 8575 | 857 | | | |
| Anthanthrene | | 386 | 3912 | 5068 | | 348 | | | |
| Coronen | | | | | | | | | |
| Sum | | 49564 | 326677 | 395459 | 201374 | 19126 | | | |
| Derav KPAH | | 7681 | 49682 | 64778 | 49856 | 3334 | | | |
| % KPAH | | 16 | 15 | 16 | 25 | 17 | | | |
| % Torrstoff | | | | | | | | | |

1)
KPAH er summen av moderat (**) og sterkt kreftfremkallende (***) PAH i henhold til U.S. National Academy of Science (NAS, 1972). I summen ** + *** er det medregnet 50 % av benzo(j,k)fluoranten og dibenz(a,h/a,c)antracen, idet bare B_(j)F og DB(a,h)A er kreftfremkallende. Når PAH-innholdet i alle benzofluorantener er gitt som en sum, er 2/3 regnet som KPAH

Tabell A5. Sedimentkonsentrasjoner av klorerte benzener, klorerte styrener, polyklorerte bifenylar (PCB) og ekstraherbart persistent organisk bundet klor og brom (EPOCl,-Br) i ng/g tørt materiale.

| Stasjon | Dyp (cm) | KLOERTE BENZENER | | | | | | | | | | HCB (6CB) | 10CB |
|---------|----------|------------------|-----------|-----------|-------------|---------------|-----|-----|-----|-----|------|-----------|------|
| | | 1,2,3-3CB | 1,2,4-3CB | 1,3,5-3CB | 1,2,3,4-4CB | 1,2,3,4,5-4CB | 5CB | 6CB | 7CB | 8CB | 9CB | | |
| K 4 | 0-2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 9 | 19 | 34 |
| K 6 | 0-2 | - | - | - | 4 | - | - | - | - | - | 26 | 61 | 2 |
| K 8 | 0-2 | - | - | - | 8 | - | - | - | - | - | 32 | 105 | 2 |
| K 11 | 0-2 | 1 | - | - | 2 | - | - | - | - | - | 10 | 27 | 1 |
| K 12 | 0-2 | 3 | - | - | 5 | - | - | - | - | - | 12 | 27 | 0,5 |
| K 13 | 0-2 | 7 | 9 | 1 | 23 | - | - | - | - | - | 38 | 71 | 0,5 |
| K 16 | 0-2 | 47 | 9 | - | 31 | - | - | - | - | - | 125 | 461 | 10 |
| K 17 | 0-2 | 35 | 24 | 24 | 65 | - | - | - | - | - | 137 | 558 | 11 |
| K 18 | 0-2 | 62 | 25 | - | 63 | - | - | - | - | - | 367 | 2080 | 18 |
| K 18 | 2-4 | 75 | 42 | 2 | 66 | - | - | - | - | - | 113 | 555 | 12 |
| K 18 | 4-6 | 2,5 | 15 | 1 | 25 | - | - | - | - | - | 46 | 131 | 2 |
| K 18 | 8-10 | 0,4 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,4 | 1 | 0,01 |
| K 19 | 0-2 | 36 | 24 | 7 | 107 | - | - | - | - | - | 1430 | 4680 | 16 |
| K 21 | 0-2 | 1800 | 70 | 3 | 1370 | - | - | - | - | - | 5300 | 3340 | 40 |
| K 23 | 0-2 | 1580 | 2280 | 4 | 4310 | - | - | - | - | - | 2010 | 8790 | 39 |

| Stasjon | Dyp (cm) | KLOERTE STYRENER | | | | | | | | | |
|---------|----------|------------------|------|------------|------------|----------|----------|--|--|--|--|
| | | OCS | 5CIS | Trans-6CIS | Trans-7CIS | β-β-7CIS | cis-7CIS | | | | |
| K 4 | 0-2 | 6 | - | - | 0,6 | 6 | - | | | | |
| K 6 | 0-2 | 4 | - | - | 0,8 | 9 | - | | | | |
| K 8 | 0-2 | 6 | - | - | 0,6 | 5 | - | | | | |
| K 11 | 0-2 | 1 | - | - | 0,3 | 2 | - | | | | |
| K 12 | 0-2 | 2 | - | - | 0,3 | 2 | - | | | | |
| K 13 | 0-2 | 1 | - | - | 0,4 | 2 | - | | | | |
| K 16 | 0-2 | 34 | 2,7 | 1,3 | 3,5 | 8 | 6 | | | | |
| K 17 | 0-2 | 47 | 2,2 | 0,4 | 3,9 | 4 | 1 | | | | |
| K 18 | 0-2 | 111 | 7,4 | - | 11,9 | 18 | 12 | | | | |
| K 18 | 2-4 | 39 | 2,2 | 7,6 | 5,3 | 5 | 7 | | | | |
| K 18 | 4-6 | 7 | - | 0,6 | 2,0 | 1 | - | | | | |
| K 18 | 8-10 | 0,5 | - | - | - | - | - | | | | |
| K 19 | 0-2 | 141 | 35 | 1,8 | 17 | 15 | 18 | | | | |
| K 21 | 0-2 | 168 | 6 | 4 | 17 | 19 | 14 | | | | |
| K 23 | 0-2 | 288 | 32 | 29 | 61 | 24 | 48 | | | | |

Tabell A5 forts.

| Stasjon | Dyp (cm) | PCB | EPOCl | EPOBr | Cl bundet til identifiserte forbindelser i % av EPOCl |
|---------|----------|-----|-------|-------|---|
| K 4 | 0-2 | 80 | 500 | 40 | 20 |
| K 6 | 0-2 | 30 | 4000 | 100 | 2 |
| K 8 | 0-2 | 10 | 1100 | 100 | 11 |
| K 11 | 0-2 | 6 | 900 | 200 | 6 |
| K 12 | 0-2 | 5 | 500 | 100 | 9 |
| K 13 | 0-2 | 2 | 300 | 100 | 32 |
| K 16 | 0-2 | 50 | 4200 | 400 | 6 |
| K 17 | 0-2 | 60 | 5000 | 200 | 14 |
| K 18 | 0-2 | 100 | 14000 | 300 | 15 |
| K 18 | 2-4 | 50 | 4900 | 100 | 15(+11) b) |
| K 18 | 4-6 | 11 | 600 | 400 | 34 |
| K 18 | 8-10 | 2 | - | 100 | - |
| K 19 | 0-2 | 90 | 20300 | 1200 | 24 |
| K 21 | 0-2 | 160 | 13800 | 400 | 25 |
| K 23 | 0-2 | 270 | 38800 | 1300 | 23 |

| Stasjon | DYP (cm) | Cl ₄₋₅ naftalen a) | Cl _{2-3-C₃₋₄} alkylbenzen a) | Br _{1-2-C₃₋₄} alkylbenzen |
|---------|----------|-------------------------------|--|---|
| K 18 | 2-4 | - | 1 | - |

- ikke påvist
a) Analyisert med GC/MS
b) Bidrag fra kloralkylbenzener med GC/MS