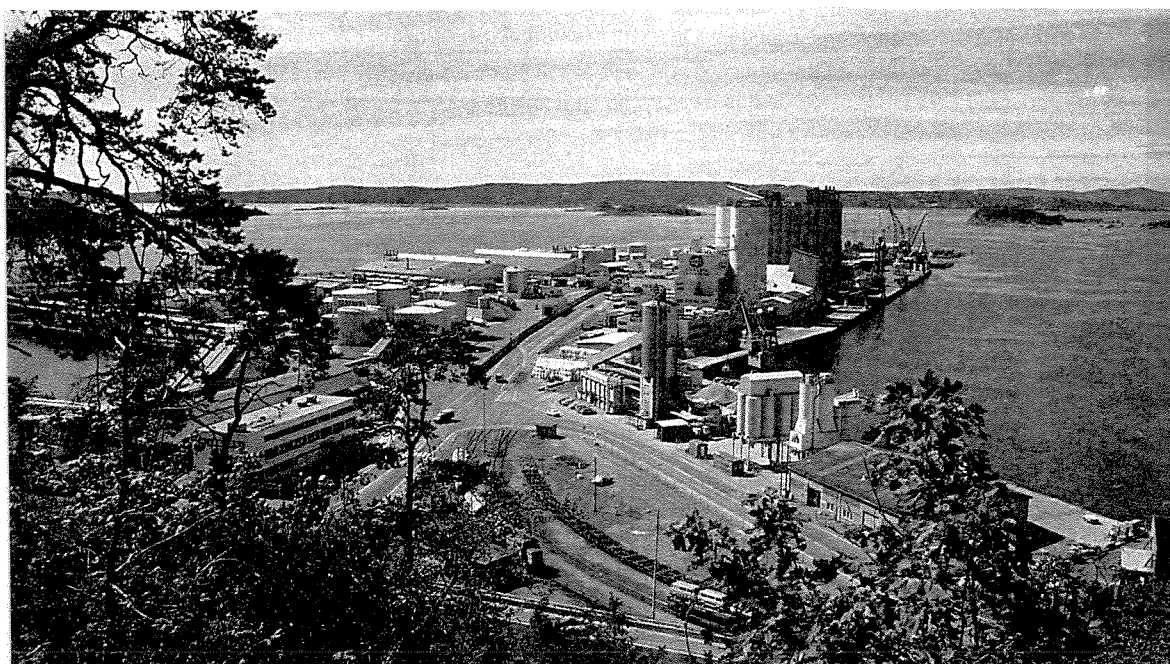


O-93120

Undersøkelse av
oljeforurensning i sedimentene utenfor
Sjursøya Oljehavn,
Indre Oslofjord 1993



NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Prosjektnr.: O-93120	Undernr.:
Løpenr.: 3064	Begr. distrib.: Fri

Hovedkontor Postboks 69, Korsvoll 0808 Oslo 8 Telefon (47) 22 18 51 00 Telefax (47) 22 18 52 00	Sørlandsavdelingen Televeien 1 4890 Grimstad Telefon (47) 37 04 30 33 Telefax (47) 37 04 45 13	Østlandsavdelingen Rute 866 2312 Ottestad Telefon (47) 62 57 64 00 Telefax (47) 62 57 66 53	Vestlandsavdelingen Thormøhlensgt 55 5008 Bergen Telefon (47) 55 32 56 40 Telefax (47) 55 32 88 33	Akvaplan-NIVA A/S Søndre Tollbugate 3 9000 Tromsø Telefon (47) 77 68 52 80 Telefax (47) 77 68 05 09
--	---	--	---	--

Rapportens tittel: Undersøkelse av oljeforurensning i sedimentene utenfor Sjursøya Oljehavn, Indre Oslofjord 1993.	Dato: 18/05/94	Trykket: NIVA 1994
	Faggruppe: Marinøkologi	
Forfatter(e): Roger M. Konieczny	Geografisk område: Oslo	
	Antall sider: Opplag: 72 inkl. vedlegg	

Oppdragsgiver: Oslo Havnevesen - OHV	Oppdragsg. ref.:
--	------------------

Ekstrakt: Totalt 25 bunnprøver (overflatesediment 0-2cm) fra nærområdet rundt Sjursøya og 10 brønner med fri fase (kildeprøver) på land, ble undersøkt for innhold av ulike typer olje- og hydrokarbonforurensninger. Sedimentene var til dels kraftig belastet med oljehydrokarboner (THC) og aromatiske hydrokarbonforbindelser (PAH og NPD). Fra forekomst og fordeling av bla. PAH og enkelte tungt nedbrytbare hydrokarboner (steraner og triterpaner) kan forholdene på sjøbunnen knyttes til forurensninger registrert i grunnen på land. Konsentrasjonene tyder på at belastningen i sedimentene er størst syd for Sjursøya ut mot Bekkelagsbassenget. Episodiske uhell, spill og lekkasjer har over tid ført til at både grunnvann og løsmassene under oljeanleggene, lokalt er kraftig forurenset. Tilførsler til sjøen utenfor skjer primært gjennom oljeutskillere, avløpsnett, overflateavrenning og direkte spill, men også via drenering og sjøvannskontakt, spesielt i områder med steinsatt kai. Hyppige skipsanløp anses å være hovedårsak til videre spredning av forurensningene i sjøen. Totalt sett antyd det tilstanden rundt Sjursøya større belastning enn ved andre sammenlignbare områder, men det ble registrert kraftig nedbrytning av hydrokarbonene i sedimentene. På bakgrunn av det høye forurensningsnivået i området rundt oljehavnen anbefales det at det iverksettes forurensningsbegrensende og miljøforbedrende tiltak.

4 emneord, norske


1. Marine sedimenter
2. Oljeforurensning
3. Polysykliske aromatiske hydrokarboner
4. Biomarkører

4 emneord, engelske

1. Marine sediments
2. Oil contamination
3. Polycyclic aromatic hydrocarbons
4. Biomarkers

Prosjektleder

Roger M. Konieczny

Før administrasjonen

Torgeir Bakke

ISBN82-577-2525-0

Norsk institutt for vannforskning

O - 93120

**Undersøkelse av
oljeforurensning i sedimentene
utenfor Sjursøya Oljehavn,
Indre Oslofjord 1993.**

Oslo, den

18 mai, 1994

Prosjektleder:
Medarbeidere:

Roger M. Konieczny
Torgeir Bakke
Hilde Drangsholt (SINTEF-SI)
Nina Gjøs (SINTEF-SI)
Aud Helland
Frøydis Oreld (SINTEF-SI)
Are Pedersen
Brage Rygg
Torgunn Sæthre
Heidi Østby

Forord

Norsk institutt for vannforskning ble anmodet om å utarbeide et programforslag vedrørende undersøkelser av sjøbunnen utenfor Sjursøya Oljehavn i Indre Oslofjord, med fokus på oljeforurensning. Programforslaget ble utarbeidet og en revidert versjon oversendt Oslo Havnevesen (OHV) den 20. februar 1993. Kontaktperson hos oppdragsgiver har vært Sjefsing. John Nilssen.

Undersøkelsen har vært koordinert med grunnundersøkelser og Lars Ljøgodt (Hjellnes COWI A/S) har funget som koordinator for arbeidene og ansvarlig for kvalitetskontroll overfor oppdragsgiver. Det ble under tiden etablert faglig kontakt med Trygve Dekko og Lars Roar Hovde begge NOTEBY A/S mht. landbasert prøvetaking. Kontaktpersoner ved Sjursøya Oljehavn har vært Tor Bonnerud (Statoil) og Lars Christensen (Esso).

NIVA's feltarbeidet med prøvetaking i sjø ble utført av Aud Helland og Heidi Østby. Torgunn Sæthre sto for prøvetaking av kildeprøver (Fase I), mens resterende kildeprøver ble tatt av NOTEBY.

Eksterne analyser av sedimenter og kildeprøver er utført ved SINTEF-SI av Frøydis Orelid, Nina Gjøs og Hilde Drangsholt.

Assistanse ved matematisk tallbehandling og faglige innspill ble gitt av Torgeir Bakke, Are Pedersen og Brage Rygg alle NIVA.

Forsidefoto: Inga-Marie Aas.

Oslo, den 18 mai, 1994


Roger M. Konieczny

Innhold

Forord	3
1. FORMÅL, KONKLUSJONER OG TILRÅDNINGER.....	5
1.1. Målsetting	5
1.2. Konklusjoner	5
1.3. Tilrådninger	6
2. BAKGRUNN OG MÅLSETTING	8
2.1. Innledning	8
2.2. Historikk	8
2.3. Forurensningssituasjonen	8
2.3.1. Grunnforurensning	8
2.3.2. Forurensning i sjøen.....	9
2.3.3. Andre relevante resipienter	9
2.4. Målsetting	11
3. MATERIALE OG METODER	11
3.1. Undersøkelsesområdet og feltarbeid	11
3.2. Metodikk.....	11
3.2.1. Analyser og parametere	11
3.2.2. Likhetsanalyser	12
3.2.3. Bakgrunnsnivåer og miljøklassifisering	14
4. Resultater.....	15
4.1. Kjemiske analyser.....	15
4.1.1. Total mengde hydrokarboner - THC.....	15
4.1.2. PAH/NPD i sedimenter og kildeprøver	16
4.1.3. Steraner og triterpaner i sediment og kildeprøver	18
4.2. Likhetsanalyser.....	20
4.3. Kildeevaluering - diskusjon.....	25
5. Litteraturhenvisninger	27
VEDLEGGSTABELLER.....	30
VEDLEGGFIGURER	38
ANDRE VEDLEGG	45

1. FORMÅL, KONKLUSJONER OG TILRÅDNINGER

1.1. Målsetting

Hovedmålsettingen med denne iverksatte undersøkelsen av forurensningen i sjøbunnen utenfor Sjursøya har vært følgende:

- kartlegge oljerelaterte forurensninger i overflatesedimentene og belyse spredning.
- lokalisere mulige kildeområder og knytte disse til forurensninger i sjøen
- vurdere hvor belastningsproblemet er størst.

1.2. Konklusjoner

Bunnsedimentene på de 25 stasjonene i nærområdet omkring Sjursøya oljehavn er tildels kraftig forurenset av ulike typer oljehydrokarboner og oljeavledede forurensninger. Mest markert var forekomster av alkylerte aromater (NPD), men tilstedeværelsen av bla. forbrenningsavledet komponenter tyder på at det kan være flere typer forurensningskilder i området.

Sammenfattet fra punktene gitt nedenfor, supplert med andre momenter fra undersøkelsen viser først og fremst at sedimentene omkring hele Sjursøya oljehavn er kraftig belastet med oljerelaterte forurensninger. Forekomstene som ble registrert på sjøbunnen indikerer av virksomheten i oljehavnen har forårsaket det meste av dette og at det største bidraget stammer fra et område syd på øya.

Påviste utslipp, forekomster i grunnen og strømningsveier gjennom kaianlegget har hovedsakelig ført til spredning i sjøen mot syd og vest, men uten helt entydige gradienter. Hyppig skipsanløp (lasting og lossing) og andre aktiviteter (f.eks. skumlegging og overflatetransport under brannøvelser) må ha gitt et bidrag til spredningen.

Andre antatte tilførselskilder, som utslipp fra Ekeberg oljelager, Oslo Havnevesens aktiviteter i sitt verkstedsområdet, utslipp fra Bekkelaget RA, generell trafikk i havnebassenget og langtransport karakteriseres som underordnet.

1. Total mengde hydrokarboner (THC) varierte i intervallet 35-330 ganger et antatt bakgrunnsnivå, men det var ikke mulig å etablere entydige konsentrasjonsgradienter. Forekomstene antyder likevel at forurensningene er størst syd for oljehavnen. Sammenliknes nivåene med resten av Indre Oslofjord og resipienter andre steder, peker Sjursøya seg klart ut som en av kildene.
2. Olje (fri fase) i brønner på land, relatert til innholdet i sedimentene viste få kromatografiske likhetspunkter. Enkelte av kildeprøvene var nokså like, men samlet viser de at hydrokarbonene stammer fra flere kilder. Kraftig bakteriell nedbryting etter avsetning vanskeliggjør også identifisering og sammenligning av de ulike oljeproduktene f. eks. på bakgrunn av alkanmønsteret.

3. Samtlige undersøkte prøver inneholdt store mengder aromatiske forbindelser og i motsetning til THC, indikerte aromatene en del fellestrekk mellom kildeprøver og sedimenter. Konsentrasjonene av polysykliske aromatiske hydrokarboner (total PAH) i sedimentene var mellom 6-89 mg/kg tørrvekt noe som tilsvarer 20-300 ganger et antatt normalnivå.
4. Forekomstene av et utvalg aromater eller petrogene hydrokarboner (NPD) var relativt sett høyt, med konsentrasjoner mellom 4-32 mg/kg tørrvekt. Flere av sedimentprøvene hadde et høyere innhold av sum NPD enn sum PAH og dette forholdet viser at kilden til aromatene i sedimentene vesentlig er oljeavledet.
5. Total PAH- og sum NPD-innholdet i kildeprøvene (oljebasis) var klart høyere enn i sedimentene (tørrvekt), med variasjoner mellom 204-1377 mgPAH/kg og 1210-25500 mgNPD/kg. Vesentlig mer NPD enn PAH, understøtter forholdene som ble observert i sedimentene. Enkelte avgrensede områder (grupperte stasjoner) på sjøbunnen indikerte også at tilstedeværende forurensning (PAH-sammensetning) har opphav i kildeområder på land.
6. Innholdet av utvalgte tungt nedbrytbare hydrokarboner (steraner og triterpaner) indikerte likheter i prøvematerialet (spesielt kildeprøvene innbyrdes) ved visuell sammenligning av de mest karakteristiske topper i ionestrømskromatogrammene. Matematisk behandling av de kjemiske data (likhetsanalyser eller Multi Dimensional Scaling) bekreftet dette forholdet ved at hovedmengden av prøvene fra sjøbunnen ble gruppert sammen med et begrenset antall kildeprøver på land (brønn 32, 37, 38 og 52). Det viste at hydrokarbonene i sedimentene stammer fra et området med steinsatt kai i syd mellom Gate 2 og 3 og utpreget sjøvannskontakt med grunnvannet i oljehavnen.
7. Det ble også observert sammenhenger mellom prøvestasjoner på hver side av fastlandsforbindelsen nordøst i oljehavnen og mellom enkelte kildeprøver og sedimenter på nordsiden av øya. Dette kan tyde på at det også forekommer transport av forurensninger nordover både i sjøen og grunnen.

1.3. Tilrådninger

På bakgrunn av det høye forurensningsnivået i området rundt oljehavnen, anbefales det at det iverksettes forurensningsbegrensende og miljøforbedrende tiltak. Da det periodisk forekommer direkte tilførsler av hydrokarboner fra oljehavnen, gjennom utslipp og spill (primærkilder), bør eliminasjon av slike åpenbare kilder være høyt prioritert.

I tillegg lar det seg påvise at det forekommer lekkasjer til sjøen og sjøbunnen utenfor via drenering i grunnen (sekundærkilde). Dette bør la seg hindre eller begrense ved opprydding (løsmasser og grunnvann), der dette fortsatt er mulig. En annen prioritert målsetting må være hidre nye tilførsler av hydrokarboner til grunnen under oljehavnen ved skjerpede og endrede rutiner for behandling.

Andre begrensende tiltak vil være sikring, utbedringer og nyinstallasjoner av oppsamlings-, lagrings- og transportenheter. På sikt må også alle utilfredsstillende ledningsnett og kaikonstruksjoner utbedres.

Som en konsekvens av undersøkelsen anbefales det at årsaken til forurensningene på nord- og nordøstsiden av oljehavnen klarlegges bedre.

Det bør også undersøkes i hvilken grad tilførslene fra oljehavnen har betydning for organismene i fjorden. Opprydding i sjøen og undersøkelse av mektigheter av forurensningene i sedimentene (vertikale utbredelsen) synes foreløpig ikke å være nødvendig. Dog av vital betydning er det at de tiltak som nå gjennomføres på land (pumping av brønner, fjerning av masser mm.) utføres tilfredsstillende og overvåkes permanent i en 3-4 års periode. Det vil på den måten også oppnås kontroll med det meste av tilførslene til sjøen.

2. BAKGRUNN OG MÅLSETTING

2.1. Innledning

Oslo Havnevesen (OHV) har et ønske om å belyse forurensningssituasjonen i nærområdene utenfor Sjursøya Oljehavn. Området har siden slutten av 1930-tallet vært benyttet til kai- og lagringsområdet for bla. olje- og oljeprodukter. Undersøkelse av vannmassene og sjøbunnen utenfor oljehavnen er tenkt som et supplement til en foreslått oppsummerende undersøkelse av forholdene i grunnen på Sjursøya. En rekke tidligere grunnundersøkelser, spesielt de siste årene, har vist at både jordsmonn/løsmasser og grunnvann er til dels kraftig forurenset av oljehydrokarboner (NOTEBY 1989, 1992a, 1992b, ESSO NORGE 1990, GRØNER 1990, NGI 1992). Forurensningene skyldes hovedsakelig episodiske uhell, spill og lekkasjer i forbindelse med driften av de ulike lageranleggene. Resultatet fremtrer primært som lokale belastninger, men samtidig tyder observasjoner på at det forekommer tilførsler til sjøen utenfor utover dokumenterte utslipp. Omfanget og mekanismene er ikke kjent i detalj. Trolig spiller overflateavrenning og drenering i grunnen en betydelig rolle, sammen med sjøvannskontakt og utette kaikonstruksjoner.

Det er på grunnlag av dette OHV i første rekke setter spørsmålstegn ved både sin egen og selskapenes aktiviteter på Sjursøya og ønsker å klarlegge hvilken miljømessig betydning dette har for nærområdet og havneområdet generelt.

2.2. Historikk

Sjursøya ble kjøpt av Oslo Kommune i 1920 og i perioden 1921-1934 foregikk det nedsprenning og planering av 900.000 m³ fast masse. I 1936 var det etablert broforbindelse til fastlandet og i 1938 ble Sjursøya innlemmet i Oslo by. De første tankanlegg var i drift allerede før krigen eiet av Caltex (senere Texaco), men utbyggingsplaner fra flere selskaper bla. Norsk Engelsk Mineralolie A/S (senere Shell), Standard (nå Esso), Mil (Norsk Britisk Olje) og Nor forelå fra 1939. På det tidspunkt startet også utbyggingen av Østre Sjursøykai.

Området ble beslaglagt av det tyske luftvåpnet i 1940 til forlegninger, depoter og kortbaneflyplass. Det foregikk likevel en etappevis utbygging av Nordre Sjursøykai (1939-1964) og Søndre Sjursøykai (1940-1962). Esso, Shell og Norsk Brændselolje (senere BP- OK/Norol- Statoil) startet for alvor sin virksomhet i 1947. Oppbyggingen av Mobil (nå Hydro) skjedde i perioden 1955-1960 og i 1959 tok Oslo Havnevesen i bruk sitt verksted. I perioden 1962-1978 drev AGA Progas et gassverket på Sjursøymoloen for forsyning av Oslo by. Tankskiputstikkeren (sørøstre hjørne) og fjellanleggene under Ekeberg ble tatt i bruk 1970. I hele driftsperioden frem til i dag har det foregått riving, nyetablering og omdisponering av de ulike lageranleggene på Sjursøya (for detaljer jfr. NOTEBY 1992c).

2.3. Forurensningssituasjonen

2.3.1. Grunnforurensning

Det totale omfanget av forurensningen i grunnen er foreløpig ikke kjent, men stedvis er det målt svært høye totale konsentrasjoner av hydrokarboner. Det er bla. registrert omkring 15000 mgTHC/kg t.v. i løsmassene (GEOTEAM TERRAPLAN 1993) og opptil 300 mgTHC/l i grunnvannet (NGI 1992).

Beskrivelse av hvordan forurensningene transporteres eller spres i grunnen, krever inngående kjennskap til grunnforholdene og hydrologien. En videre ukontrollert spredning av forurensninger til fjorden utenfor, er som nevnt mulig, gjennom drenering i løsmassene og f. eks. ved tidevannspåvirkning av disse. Store deler av Sjursøya utgjøres av nedsprengete og tilkjørte løsmasser, spesielt gjelder dette strandsonen mot syd og øst. En betydelig andel av oljeforurensningen kan som antydnet tilføres fjorden via ledningsnett, dårlige oljeutskillere, utette kaikonstruksjoner etc (HEDESELSKABET 1992, NOTEBY 1992c, 1993b).

2.3.2. Forurensning i sjøen

Analyser av oljerelaterte forbindelser har vært en lavt prioritert gruppe i tidligere undersøkelser av miljøsituasjonen i Oslofjorden (Sporstøl et al. 1983, Siljeholm 1985), men nyere resultater antyder at oljeforurensning er et potensielt problem, spesielt i de indre havneområder. NIVA foretok i 1991 en orienterende analyse av sedimentene utenfor Kongshavn, nord for Sjursøya (fig. 1). Det ble her registrert mengder på 7500 mgTHC/kg tørt sediment i nivået 10-15 cm under sedimentoverflaten (Konieczny 1992a).

I en undersøkelse av Bjørvika/Bispevika-området (nord for Sjursøya) ble det målt et gjennomsnitt av THC i overflatesedimentene på 3400 mgTHC/kg tørt sediment (n=11) og et gjennomsnitt på 4750 mgTHC/kg tørt sediment (n=28) i den øvre 100 cm av sedimentene. Høyeste enkeltverdi ble målt til 19500 mgTHC/kg tørt sediment på 45 cm sedimentdyp utenfor Akerselva (fig. 1). Ofte blir de høye THC-konsentrasjonene påtruffet noe ned i sedimentlagene og det ble anslått at det totalt ligger lagret omkring 365 tonn olje nede i sedimentene i dette området (Konieczny 1992b).

I den omfattende miljøgiftundersøkelsen av Indre Oslofjord (Konieczny 1994) ble det inkludert totalt 11 lokaliteter knyttet til potensielle hydrokarbonkilder (tidligere og operative oljeterminaler, bunkersanlegg, mekaniske verksteder etc.), hvorav 4 prøvestasjoner ble lagt til områder nær Sjursøya. Resultatene fra disse analysene viste at overflatesedimentene innholdt mellom 2000-5000 mgTHC/kg tørt sediment i nærheten av operative anlegg, men normalt under 600 mgTHC/kg tørt sediment der aktiviteten var stanset.

Andre lokaliteter i Oslofjorden med forhøyede THC-konsentrasjoner er bla. Filipstad; 5810 mgTHC/kg tørt sediment (Helland 1994), Svestad Marina; 6291 mgTHC/kg tørt sediment (Konieczny 1993) og Fagerstrand 2103 mgTHC/kg tørt sediment (Konieczny 1994). Legges alle tilgjengelige data for bunnsedimentene fra Indre Oslofjord til grunn (n=76), kan det antydes et gjennomsnitt på ca. 2000 mgTHC/kg tørt sediment i overflaten (0-2 cm) og ca. 3000 mgTHC/kg tørt sediment i de øvre 20 cm.

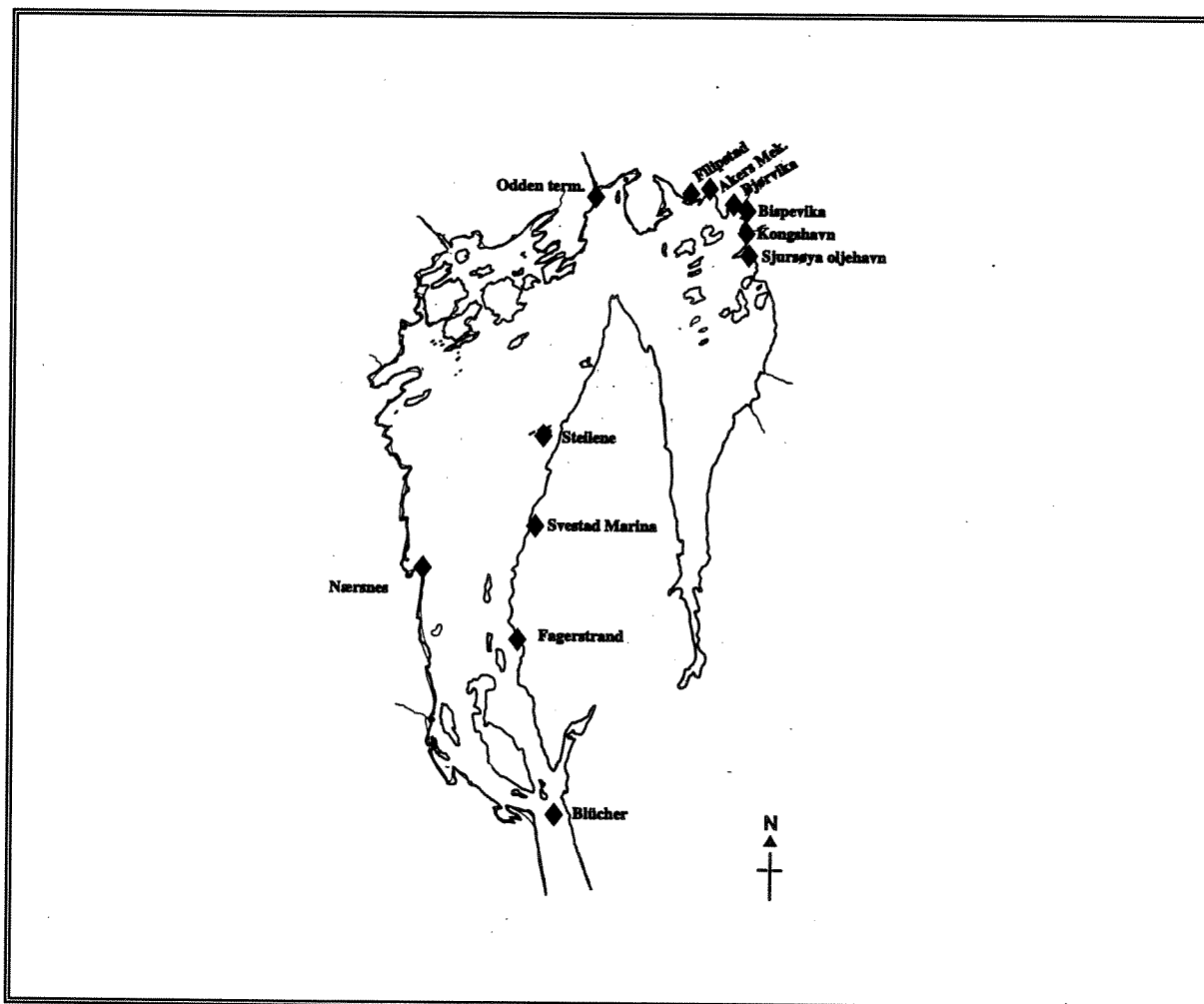
2.3.3. Andre relevante resipienter

Forurensningssituasjonen på og rundt Sjursøya Oljehavn og i Oslofjorden generelt, kan belyses med undersøkelser fra noen sammenlignbare resipienter. I sterkt trafikkerte området og alle steder der det behandles olje- og hydrokarbonprodukter over kai, må det regnes med et visst forurensningsbidrag. Men i utgangpunktet kan det være vanskelig å skille ulike tilførsler fra hverandre. Dette skyldes hovedsakelig at det i et havneområde eksisterer alt for mange diffuse kilder.

Det ble f.eks. målt THC i overflatesedimenter flere steder i Byfjorden og Bergen havn. Her lå konsentrasjonene mellom 138-548 mgTHC/kg tørt sediment (n=10), verdier som påtreffes nær ikke-operative anlegg i Oslofjorden (Skei et al. 1994). Tilsvarende registreringer i overflaten utenfor Haakonsværn i Bergen var på mellom 175-1079 mgTHC/kg tørt sediment og noe lavere ned til 15 cm (n=17). Dette ble betraktet som forholdsvis moderate nivåer til tross for at det på brannøvningsfeltet forekommer det hyppige bruk og utslipp av oljehydrokarboner til sjøen. I tillegg ble overbunkring av båter angitt som et betydelig problem i området (Koniczny et al. 1993). Høye konsentrasjoner i jordsmonnet på inntil 12800 mgTHC/kg tørrvekt (n=28) og grunnvann 50-21800 µgTHC/l (n=21) ble også funnet, likevel ble tilførsler via grunnen her antatt å være begrenset (CHK A/S 1993).

Det kan også nevnes at en undersøkelse i Drammen havn viste nivåer på mellom 52-806 mgTHC/kg tørt sediment (n=19) i overflaten (Koniczny et al. 1994).

Totalt sett forsterker de nevnte undersøkelsene sammen med tidligere resultater fra Indre Oslofjord nødvendigheten av utvidede undersøkelser, både på Sjurøya og i sjøen utenfor. Det er høyst sannsynlig at forekomstene som til nå er registrert i bunnsedimentene i havneområdet skyldes aktive tilførsler utover det som kan knyttes til normal trafikk og havnedrift.



Figur 1. Kart over Indre Oslofjord, beliggenhet av Sjurøya oljehavn og tidligere undersøkte lokaliteter mht. oljeforurensning.

2.4. Målsetting

Hovedmålsettingen med denne iverksatte undersøkelsen av forurensningen i sjøenbunnen utenfor Sjursøya har vært følgende:

- å kartlegge oljerelaterte forurensninger i overflatesedimentene og belyse spredningen.
- å lokalisere mulige kildeområder og knytte disse til eventuelle forurensningene i sjøen.
- å vurdere hvor belastningsproblemet er størst.

3. MATERIALE OG METODER

3.1. Undersøkellesområdet og feltarbeid

Undersøkellesområdet er definert som sjøbunnen i nærområdet utenfor Sjursøya Oljehavn og enkelte utvalgte områder på land i form av brønner, sjakter og grøfter (fig. 2). Totalt ble det den 02.06.1993 prøvetatt 25 strategisk valgte stasjoner (overflatesedimenter 0-2 cm) i sjøen rundt Sjursøya, inklusive nordsiden og utenfor OHV's verkstedområde. Stasjonene ble fordelt på; 3 st. mot øst, 8 st. mot nord og 14 st. mot syd /sydøst (fig. 2 og vedleggstabell 1).

Innholdet av oljerelaterte forurensninger i disse sedimentprøvene skulle under Fase I relateres til tilsvarende innhold i 5 utvalgte kildebrønner på land; brønn nr. 5, 8, 10a, 10b og 14a (NOTEBY 1993a). Under Fase II i undersøkelsen ble det prøvetatt ytterligere 10 brønner/kildeprøver for analyse; brønn 3, 11, 20, 21, 26, 27, 28 (GEOTEAM TERRAPLAN 1993), samt 12, 13 og 14 (NGI 1992). Det bemerkes at de respektive brønner har gjentatte ganger blitt renummerert, slik at det i det følgende refereres til NIVA identifikasjon og siste gjeldende nummerering (jfr. vedleggstabell 2 og NOTEBY 1994).

3.2. Metodikk

3.2.1. Analyser og parametere

Det ble valgt å analysere på følgende kjemiske parametere og detaljert opparbeidelses- og analysemetodikk er gjengitt i vedlegg 1:

1. **Totalmengden hydrokarboner** (forkortet THC), som utgjør mengden upolare hydrokarbonforbindelser og indikerer tilstedeværelse av olje. Analysen innebærer at også aromatiske forbindelser normalt inkluderes (jfr. PAH pkt. 2 under), men kvantifiseres ikke separat. Ved hjelp av gaskromatografi og avlesning innefor definerte kokepunkt-områder normalt $n-C_{10}$ - $n-C_{40}$ alkaner gir analysen et inntrykk av hvilke typer hydrokarboner/oljeprodukter som er til stede. Med tilsats av en standard (Marin diesel) for sammenlikning kan det ofte også gis en utvidet karakteristikk av tilstedeværende olje og bla. grad av nedbrytning.

2. **Polysykliske aromatiske hydrokarboner** (forkortet PAH) utgjør normalt summen av alle tilstedeværende eller kvantifiserte aromatiske hydrokarboner (med unntak av mono- og di-aromater). Ved ufullstendig forbrenning eller pyrolyse av organisk materiale kan det dannes flere hundre ulike PAH (Grimmer 1983). F. eks. i steinkulltjære og eksos fra brenselolje er det identifisert hhv. 106 og 108 (minus disykliske) PAH (Lang og Eigen 1967, Herlan 1977) og i mineralolje ca. 150 PAH (Grimmer og Böhnke 1978). Strengt talt bør sumPAH defineres som mengden aromatiske forbindelser med molekylvekt større enn fenantren (mol. vekt 178 og 3-ringer). Analysen i undersøkelsen omfattet 15 forbindelser med isomerer.

Fra PAH analysene kan det også beregnes en sum for potensielt kreftfremmende forbindelser (KPAH) som alle er tyngre forbindelser og typisk for forbrenningsavledet PAH (IRAC 1987). Den antatt mest skadelige i denne gruppen er benzo(a)pyren, som normalt utgjør 3% av sumPAH.

3. **Alkylsubstituerte aromater** eller summen av oljerelaterte PAH-forbindelser (forkortes NPD). Gruppen omfatter naftalen, fenantren og dibenzotiofen (C_0 modermolekyler) og deres alkylerte homologer (C_1 - C_3).
4. **Steraner og triterpaner** er en gruppe forbindelser eller bestandeler i råolje. Ulike oljeforekomster har sin karakteristiske sammensetning og steran-triterpan mønsteret kan sammenliknes med et slags "fingeravtrykk". Disse forbindelsene anses å være svært stabile og betstandige overfor avdampning og ulike typer nedbrytning. På den måten lar det seg gjøre å kvalitativt gjenkjenne rester av utgangsmaterialet i ulike deler av miljøet (jord, vann, sedimenter, organismer etc).

3.2.2. Likhetsanalyser

Det er gjort en analyse av graden av likhet mellom de enkelte prøvene mht. komponentsammensetning av PAH-forbindelsene og prøvenes innhold av steraner og triterpaner. Likhetsanalysene er utført ved å beregne likhetsindeks (Bray-Curtis indeks). Metoden er utviklet for biologiske undersøkelser, men kan lett tilpasses andre formål (Clifford og Stephenson 1975, Clarke 1991). Prosentvis likhet (S_{jk}) mellom to prøver (prøve j og prøve k) er:

$$S_{jk} = 100 \left(1 - \sum_{i=1}^s \frac{|x_{ij} - x_{ik}|}{x_{ij} + x_{ik}} \right)$$

hvor x_{ij} er %-andel av i -ende komponent i j -ende prøve og s er antall komponenter. Med komponent menes her de enkelte PAH-forbindelsene og utvalgte "topper" i ionestrømskromatogrammene for analyse av biomarkører. Det finnes også andre likhetsindekser, men Bray-Curtis indeksen er funnet hensiktsmessig selv om det er noe delte meninger om anvendelsen i tilfeller med relative sammensetninger (hver komponent i % av totalen). Verdien av indeksen kan variere mellom 0 (ingen komponenter felles) til 100 (alle komponenter og deres %-andel felles).

Pa basis av likhetsanalysene grupperes prøvene etter likhet ved en såkalt clusteranalyse og grupperingen illustreres i en spesiell type diagrammer (dendrogrammer). Her representeres prøvene ved loddrette linjer som forbindes vannrett på et nivå som tilsvarer likhetsgraden. Prøvene forbindes i et hierarkisk mønster etter avtakende likhet. Sorteringen starter ved å finne de to prøvene som har størst likhet, og plassere disse nederst i dendrogrammet. Disse betraktes så som én prøve, og sorteringen fortsetter inntil alle prøver og grupper av prøver er forbundet. Skalaen på den loddrette akse angir grad av likhet. Hvis det settes krav til høy likhet for at en prøve skal få lov å tilhøre en gruppe, blir det mange små grupper.

Pa basis av likhetsanalysene er det også foretatt en MDS-analyse (Multi Dimensional Scaling). Her arrangeres prøvene i et diagram (ordinasjonsdiagram) slik at alle innbyrdes avstander best mulig samsvarer med graden av ulikhet mellom prøvene. MDS-diagrammet viser graden av ulikhet mellom alle prøvene. Avstanden mellom prøvene i diagrammet er proporsjonal med ulikheten i komponentsammensetningen av enten PAH eller steraner/triterpaner.

Verdiene for PAH-komponentene og biomarkører er som antydnet omregnet til %-verdier av hhv. sum PAH og relativt areal for steran/triterpan-toppene i ionestrømskromatogrammene i prøven før likhetsanalysene ble utført (jfr. avsnitt 4.4). Verdier mindre enn deteksjonsgrensen er betraktet som reelle null-verdier.

3.2.3. Bakgrunnsnivåer og miljøklassifisering

Det er foreløpig ikke etablert noen entydige normalnivåer for THC i sedimenter, men ofte sammenlignes forekomster med nivåene som registreres i Nordsjøen. Som følge av lete- og utvinnings-aktivitetene registreres det konsentrasjoner av hydrokarboner i sedimentene i nærområdet til installasjonene. Andre områder har kun en diffus belastning, og fra disse kan et gjennomsnittlig bakgrunnsnivå for hele Nordsjøen angis til ca. 5-10 mgTHC/kg tørrvekt (Kaarstad og Tefler 1991). Det er i undersøkelsen benyttet øvre grense for dette bakgrunnsnivået. I vedleggstabell 3 er det antydnet grenser for tilstandsklasser og forurensningsgrader.

Øvre grense for bakgrunnsnivået av PAH i marine sedimenter er satt til 300 µg/kg tørt sediment hvorav B(a)P normalt utgjør mindre 10 µg/kg tørrvekt (jfr. vedleggstabell 3). Grensen for tilstandsklasse "meget dårlig" (kl. V) er foreslått til >20000 µg/kg tørt sediment eller >20 ppm for sumPAH.

Det er ikke etablert tilsvarende grenser for nivåer av gruppene NPD og KPAH fordi disse gruppene er avhengig av type kilde. Men det kan antydnes et normalnivå for NPD i Nordsjøen på 10-40 µg/kg tørt sediment. I oljerelatert PAH-belastning kan andelen sumNPD utgjøre f.eks. 70-90%. Tilsvarende er f. eks. den normale andelen KPAH i smelteverksresipienter (forbrenningsavledet PAH) antatt å være mellom 30-50% (Næs 1991).

4. Resultater

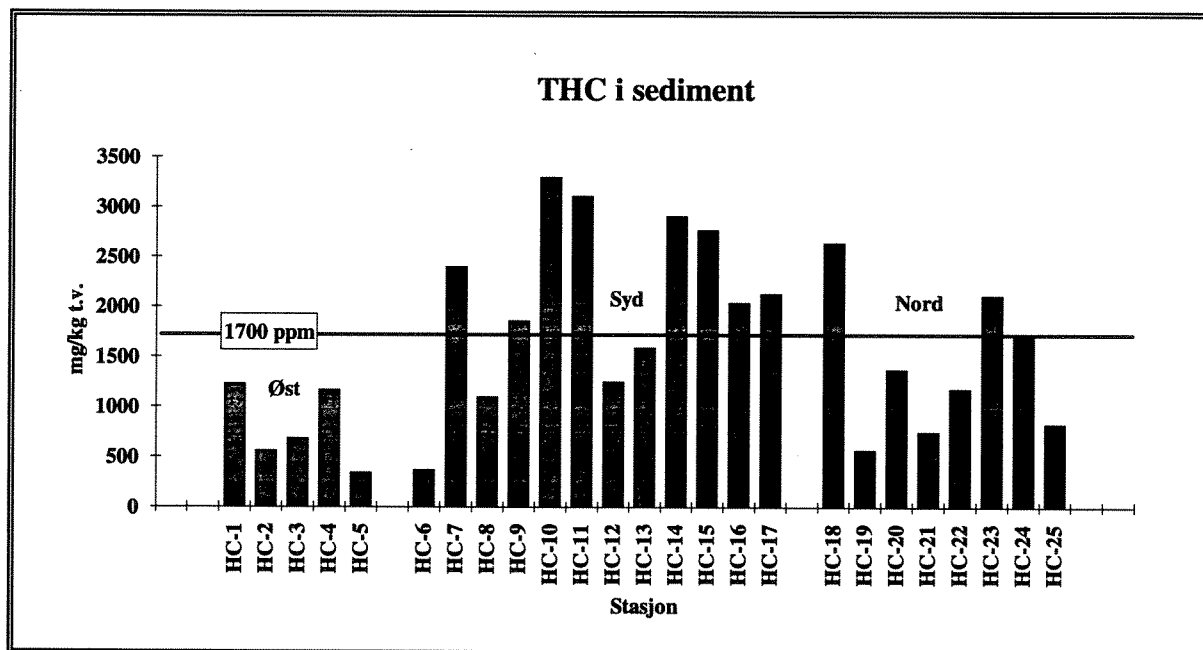
4.1. Kjemiske analyser

4.1.1. Total mengde hydrokarboner - THC

Rådata for THC-analysene i sediment er gitt i vedleggstabell 4. Det ble målt mellom 345-3300 mg/kg tørrvekt. Sett i relasjon til et antatt bakgrunnsnivå tilsvarer dette inntill 35-330 ganger normalnivået. Dette viser at deler av sjøbunnen utenfor og rundt Sjursøya er sterkt forurenset med hydrokarboner. Gjennomsnittsnivået for Sjursøya var på omkring 1700 mgTHC/kg tørrvekt og 60% av prøvene lå over dette nivået (fig. 3).

Konsentrasjonene i sedimentene varierte kraftig og det lot seg ikke gjøre å etablere noen helt entydige fallende eller stigende konsentrasjonsgradienter (hverken mht. økende avstand fra land eller potensielle kilder). De registrerte forekomstene peker likevel mot tilførsler av oljehydrokarboner på sydsiden av øya, med hovedtransport mot syd-sydvest og økende dyp (cf. fig. 2 og 3), men at tilførsler fra andre områder og generell belastning ikke helt kan avskrives. Hydrokarbonene som tilføres fra øya til sjøen utenfor, fordeler seg mao. svært ujevnt og påvirkes fysisk, kjemisk og biologisk før, under og etter avsetning.

Den høyeste enkeltverdien for THC (tidligere data), men samtidig de gjennomgående laveste verdiene, ble målt i den avgrensede bukten/sundet mot øst. Det må også påpekes at det ble registrert bemerkelsesverdige høye verdier på nord-siden (uten entydig gradient) hvor halvparten av prøvene lå over gjennomsnittet for Sjurøyaområdet (vedleggsfigur 1).



Figur 3. Konsentrasjoner av total mengde hydrokarboner i sedimenter mg/kg tørrvekt fra Sjurøya 1993.

Liten sedimentering nær land (pga. fysisk forstyrrelse f. eks. båttrafikk, propellstrømmer), vanddypt og redoksforholdene har trolig størst innvirkning på fordelingen. Totalt sett har 30% av prøvene høyere THC-konsentrasjoner enn gjennomsnittskonsentrasjon for prøver målt i Indre Oslofjord (2000 mgTHC/kg tørrvekt), og kan sammenlignes med f. eks. området utenfor Fagerstrand. Men verdiene er generelt lavere enn sterkt belastede og avgrensede lokaliteter som Svestad Marina og Bjørvika (fig.1).

Hydrokarbonprofilene i de analyserte sedimentprøvene mangler det karakteristiske alkanmønsteret som er typisk for mineraloljer, og dette skyldes trolig bakteriell nedbrytning. Det er derfor ikke mulig fra kromatogrammene å angi oljetype, men det forekommer visuelle indikasjoner på at det er blanding av flere oljetyper i sedimentprøvene.

Analyse av de 15 kildeprøvene ble utført i to omganger, men det ble ikke kvantifisert THC kun registrert fri olje. Fase I besto av 5 kildeprøver (NOTEBY 1994, brønn nr. 32, 38, 56, 58 og 74, hhv. NIVA ID nr. 26-30). Under Fase II i undersøkelsen ble det prøvetatt ytterligere 10 brønner/kildeprøver, men 5 av disse viste ikke spor av THC, til tross for at det tidligere skulle være påvist olje i disse. Følgende brønner ble derfor sløyfet for videre analyser; brønn nr. 15, 35, 90, 91 og 92 (NOTEBY 1994). Kildeprøver som inngikk i Fase II var brønn nr. 5, 23, 37, 50 og 52 (hhv. NIVA ID nr. 31-35).

Kromatogrammene de 5 kildeprøvene Fase I viste at brønn 56, 58 og 75, var relativt like (kp. C₁₂-C₃₀) og besto trolig av nedbrutt bunkersolje. Disse var forskjellig fra brønn 38 og 32 (kp. C₁₀-C₂₂) som liknet nedbrutt diesolje. Ingen av disse kildeprøve liknet i utgangspunktet på sedimentprøvene beskrevet over mht. kvalitativt THC-innhold (Frøydis Oreld pers. med. og vedlegg 1).

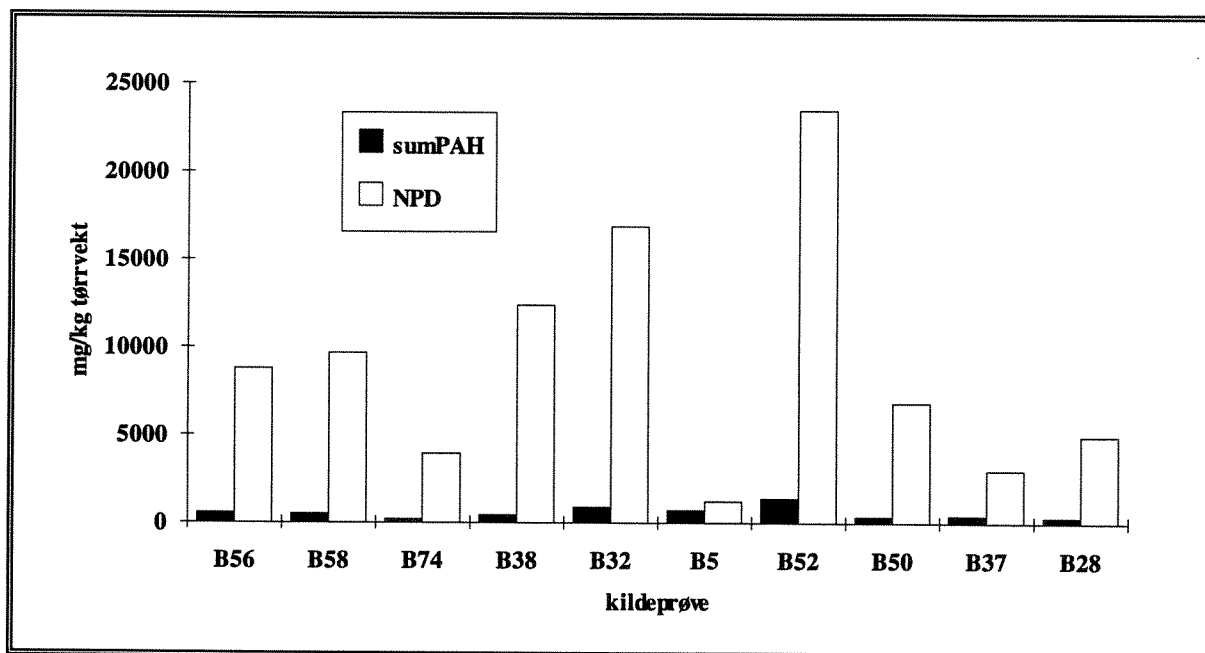
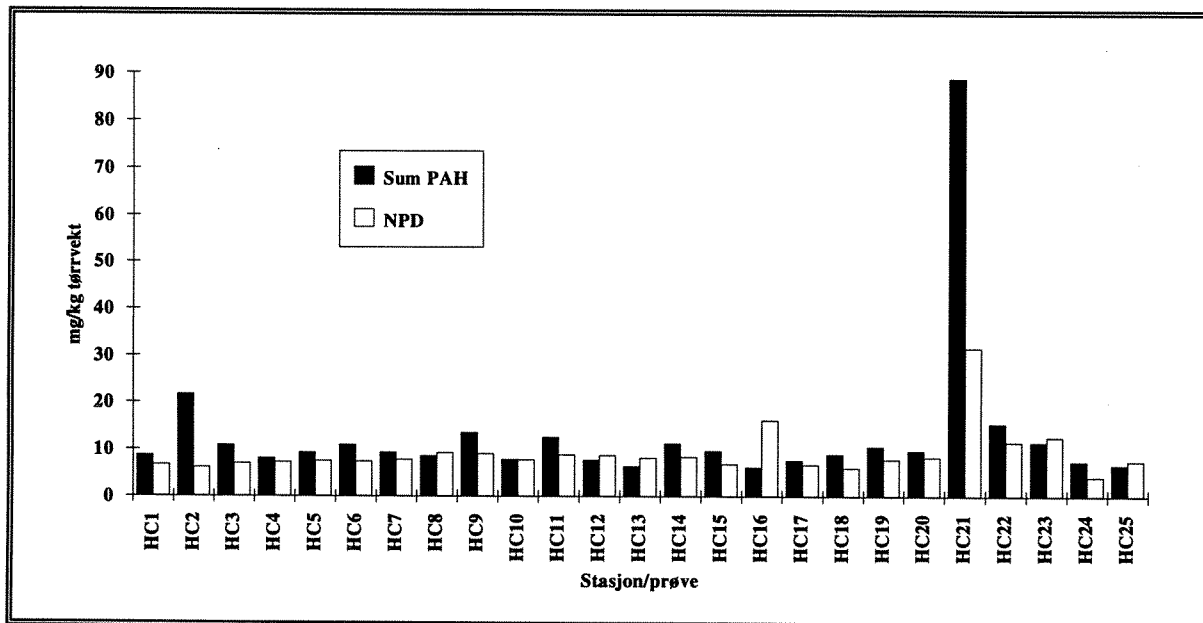
Tilsvarende karakteristikk av de 5 kildeprøvene Fase II var at brønn 5 liknet noe på brønn 56, 58 og 74 (Fase I), bla. med sitt innhold av type tung olje. Brønn 52 som var svært nedbrutt, men var likevel noe lik brønn 32 (Fase I) og ble karakterisert som type diesel til lett fyringsolje. Brønn 50 liknet mest på brønn 38 (Fase I) i form av nedbrutt diesolje. Brønn 37 (Fase II) hadde et innhold som kunne karakteriseres som lett diesel eller White Spirit og var svært ulik alle andre kildeprøver. Brønn 23 var også ulik alle andre kildeprøver (Frøydis Oreld pers. med. og vedlegg 1). Forskjellene mellom kildeprøver og sedimenter kan indikere selektiv nedbrytning og ulik nedbrytingshastighet.

4.1.2. PAH/NPD i sedimenter og kildeprøver

Rådata for PAH/NPD-analysene i sediment er gitt i vedleggstabell 5 og 6. PAH-konsentrasjonene i sedimentprøvene var omtrent som forventet ut fra tidligere registreringer av PAH i nærområdet til Sjursøya. Et unntak var st. 21 på nord-side av øya (fig. 2) som understøtter den flekkvise fordeling av PAH som tidligere er registrert i det indre havnebasseng (Konieczny 1991, 1992a, 1992b, 1994). Konsentrasjonene lå for sumPAH i intervallet 6-89 mg/kg tørt sediment og for sumNPD fra ca. 4-32 mg/kg tørt sediment. Gjennomsnittet for overflatesedimentene var hhv. 13 ppm for PAH og 9 ppm for NPD og begge verdier antyder et høyt forurensningsnivå (fig. 4). Det var også rimelig god samvariasjon mellom PAH, KPAH og NPD (vedleggsfigur 2).

Alle sedimentprøvene (n=25) inneholdt forholdsmessig mye NPD, gjennomsnittlig ca. 90% av sum kvantifiserte aromater. I enkelte av prøvene var innholdet av NPD høyere enn PAH (fig. 4). Prøvene med relativt sett mest NPD ligger alle på sydsiden av Sjursøya. Et anslag av total PAH mengde i olje kan gis som 1-10% (Jon Knutzen, NIVA pers. med) noe som passer med den høye relative andel NPD. Det foreligger begrenset informasjon om andelen KPAH i olje, men andelen

var gjennomgående høy i sedimentene (>40% beregnet fra kun PAH). Beregnet fra totalinnholdet av aromater var KPAH innholdet på ca. 20%. Dette peker i retning av at det også forekommer noe forbrenningsrelatert PAH i sedimentene, men totalt sett indikerer dette at sedimentene er kraftig forurenset med oljerelatert PAH.



Figur 4. Konsentrasjoner av sumPAH og NPD i sedimentprøver mg/kg tørrvekt (HC1-25) og kildeprøver mg/kg oljebasis/våtvekt (B5-B74, jfr. også NIVA ID-nr. i vedleggstab. 2) fra Sjursøya 1993.

PAH og NPD data fra de 10 kildeprøvene viste noen karakteristiske trekk som visuelt bare delvis understøtter resultatene fra THC-analysene (figur 4). Brønn nr. 56 og 58 synes å inneholde samme

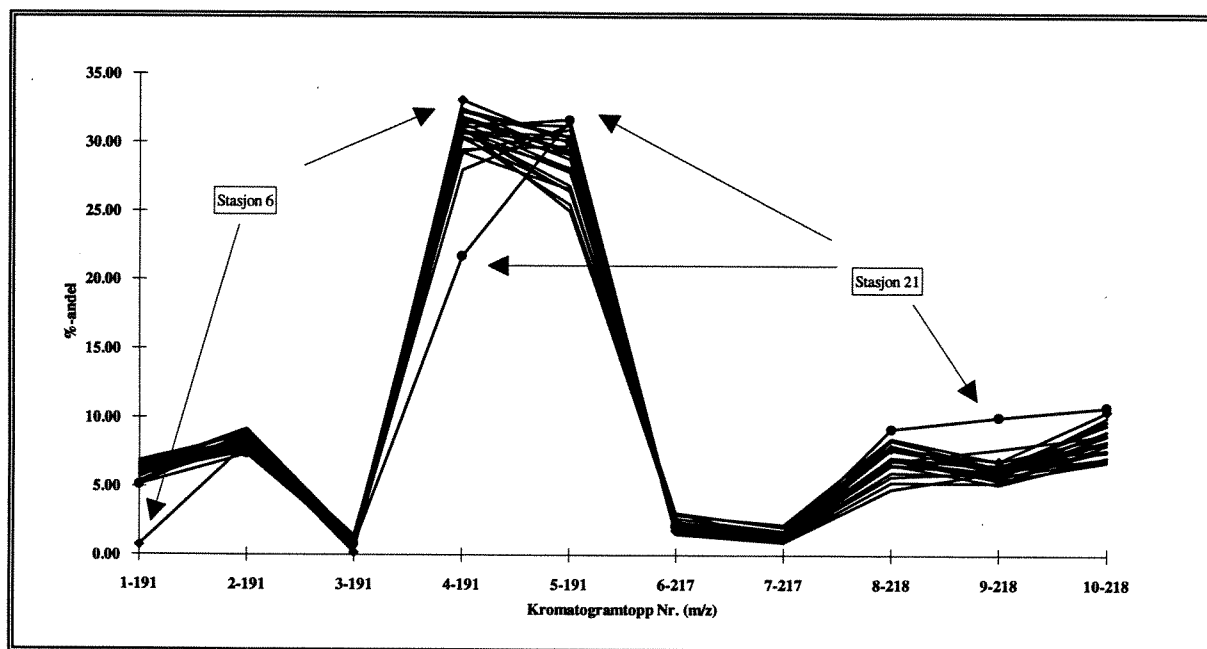
type PAH og er noe lik brønn 38, men er ikke spesielt lik 74 (understøttes delvis av KPAH). Forskjellen her synes å være at de lettere komponentene mangler (nedbrutt?). Visse likhetstrekk kan ses i brønn nr. 32 og 52, med sitt spesielt høye innhold av naftalen, men svært ulik KPAH-andel. Brønn nr. 50, 37 og delvis brønn nr. 5 har fellestrekk ved sitt noe spesielle innhold av tyngre PAH komponenter (KPAH=55-75% beregnet av PAH). Resterende kildeprøver karakteriseres som avvikende (vedleggsfigur 2-6).

4.1.3. Steraner og triterpaner i sediment og kildeprøver

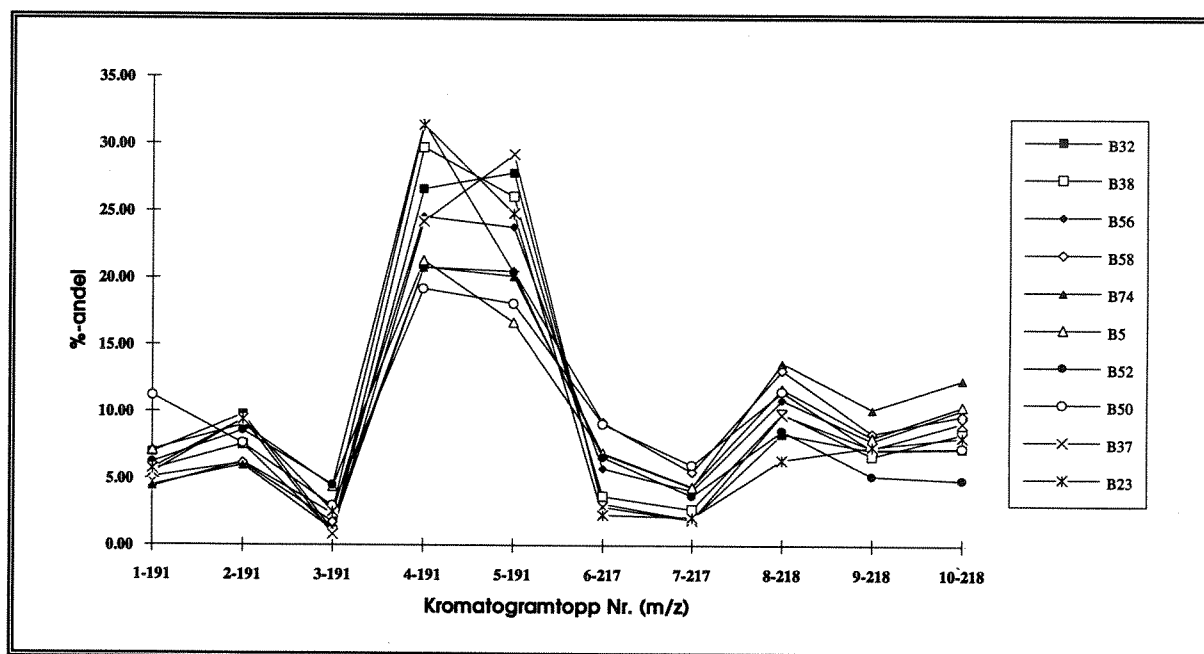
Rådata for innholdet av steraner og triterpaner i sedimenter og kildeprøver er gitt i vedleggstabellene 7 og 8 (jfr. også vedlegg 1). Visuelt tolkning av ionestrømskromatogrammene viste i utgangspunktet få klare likheter mellom de 25 sedimentprøvene og de 10 kildeprøvene (Fase I og II). Sedimentprøvene innbyrdes, hvor det var størst likhet, kunne grupperes i 5 hovedgrupper (med ialt 6 undergrupper) ut fra et utvalg karakteristiske topper i kromatogrammene (jfr. tab. 1 og vedlegg 1).

Tabell 1. Grupper av sedimentprøver (st.1-25) etter innholdet av steraner/triterpaner (visuell karakteristikk av Nina Gjøs) sammen med avtagende % likhet (fra Cluster-analyse).

Gruppering	Visuelt likhet	Cluster-anal							
		% likhet							
			99,9	99,5	99				
I	a	1			1				
		11			11				
		4		4		4			
		17		17		17	98,5	98	
	b	10				10	10		
		18		18	18	18	18		
		7		7	7	7	7		
		8		8	8	8	8		
		13		13	13	13	13		
		14		14	14	14	14		
		15		15	15	15	15		
		12	12	12	12	12	12	12	
	c	9	9	9	9	9	9	97,5	
	d	20					20		
		23					23		
22			22	22	22	22	22		
25			25	25	25	25	25		
							97	96	
II	a	2				2	2	2	
		3				3	3	3	
	b	19						19	
		24				24	24	24	24
								92	
III		6							6
		5				5	5	5	5
IV		16				16			88
V		21							21



Figur 5. Prosentfordeling av de utvalgte kromatogramtopper for steraner og triterpaner i sedimenter (25 stasjoner) fra Sjursøya 1993. (Figuren er kun illustrativ mht. hovedmønster, øvrige detaljer gis i teksten).



Figur 6. Prosentfordeling av de utvalgte kromatogramtopper for steraner og triterpaner i kildeprøvene (10 brønner) fra Sjursøya 1993. (Figuren er kun illustrativ mht. hovedmønster, øvrige detaljer gis i teksten).

I fig. 5 er det illustrert den prosentvise fordelingen av de utvalgte toppene, som samlet danner et hovedmønster. Kun to stasjoner (St. 6 og 21) synes å avvike fra hovedmønsteret. De største prosentforskjeller prøvene imellom fremtrer ved de 4 toppene; #4-191, #5-191, #8-218 og #10-218.

Forskjellene alle kildeprøvene imellom synes å være noe større, spesielt toppene #4-191 og #5-191, og dette kan i utgangspunktet skyldes den ulike opprinnelse (fig. 6 og vedleggstab. 8). Hovedtrekkene er at brønn 56 og 58 er svært like og har noen felles trekk med brønn 74 og 38. Brønn 32 avviker fra de andre (bla. #4-191 < #5-191). Det er også noen likheter mellom kildeprøvene Fase I og II, f. eks. likner 32 noe på 52, men ingen er helt like (Frøydis Oreld pers. med. og vedlegg 1).

4.2. Likhetsanalyser

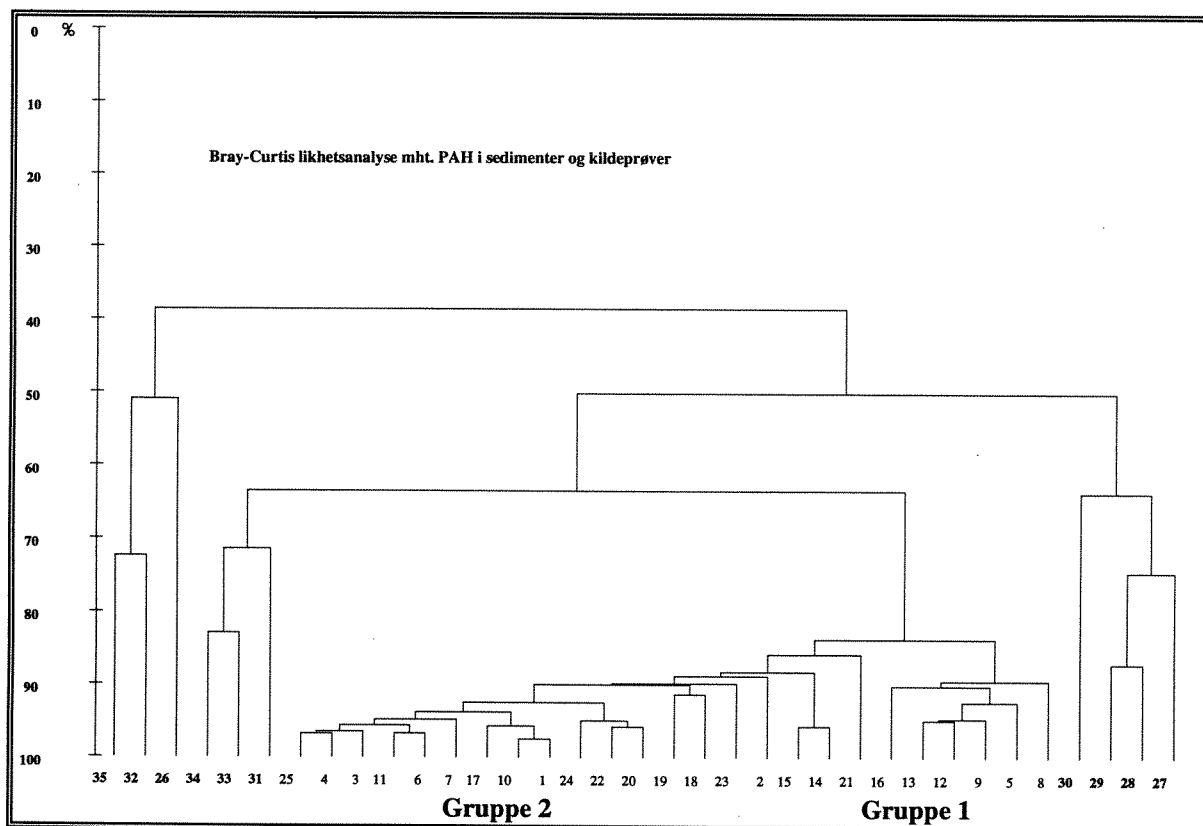
Utfra resultatene av de kjemiske analyser ble det beregnet individuelle %-andeler for tilstedeværende PAH-forbindelser og steraner/triterpaner. Prosentandelene er benyttet i kjøringen av den multivariate tallbehandlingen (Cluster- og MDS-analysen). Det er foretatt kjøring av likhetsanalyser i flere nivåer (trinnvis) for å oppnå separasjon av sedimentstasjonene. Samkjøring av data som i utgangspunktet stammer fra forskjellige materiale (kategorier som vann, jord, sediment, organismer etc.), fører normalt til at prøver under samme kategori grupperer seg tett sammen. Det er derfor i enkelte tilfeller nødvendig å foreta denne trinnvise siling av data for at konsentrasjons- og avstandsgradienter skal fremkomme i MDS-diagrammene.

I cluster-analysen mht. prøvenes PAH-innhold grupperte sedimentstasjonene i to hovedgrupper, separert ved ca. 85% likhet (fig. 7). Dette betyr at PAH-sammensetningen i sedimentene innbyrdes er svært lik, men entydig forskjellig fra kildeprøvene. Den ene hovedgruppen (Gruppe I bestående av st. 5, 8, 9, 12, 13 og 16) viser 90% likhet og disse ligger alle innenfor et avgrenset område på ca. 100x100m syd for oljehavnen omkring tankskipsutstikkeren med gjennomsnittsdypet er ca. 40m (jfr. fig. 2). Dersom man ser på PAH-sammensetningen for Gruppe I (fig. 8) forklares grupperingen trolig av to faktorer. De 6 prøvene hadde alle de laveste innhold av sum benzopyrener og benzofluorantener (BP+BFI) og høyeste andel av fenatren, fluoranten og pyren (F+Fl+P).

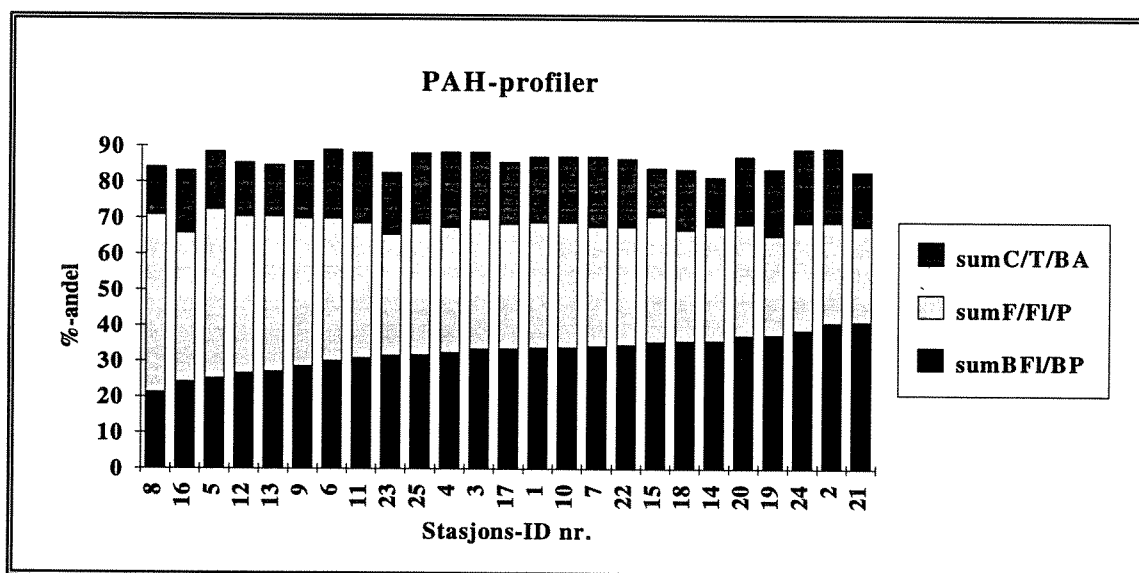
Ytterligere en stasjon skiller seg ut fra de andre sedimentprøvene (St. 21) og det er samsvarende med at prøven hadde det desidert høyeste innhold av komponentene benzopyrener og benzofluorantener (BP+BFI).

Resterende sedimentprøver grupperer seg mer eller mindre sammen innenfor nærmere 90% likhet (Gruppe II). Det er ingen helt klare sammenhenger mellom geografiske beliggenheten av de resterende 18 prøvestasjonene, men dog enkelte interessante undergrupper. Bla. st. 14 og 15 ligger svært nær hverandre vest for Gruppe I, likeledes st. 18 og 19 nær OHV verksted, st. 20, 22 og 24 på nordsiden og st. 3, 4 og 25 som ligger mot nordøst i området adskilt av den etablerte landforbindelsen (jfr. fig. 2).

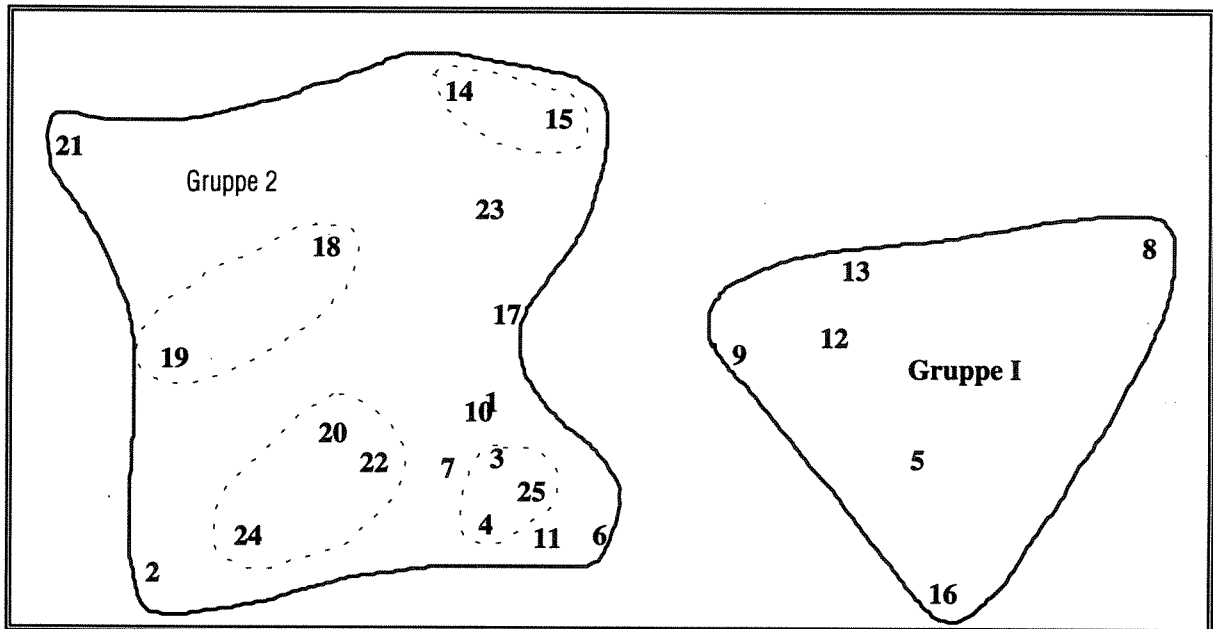
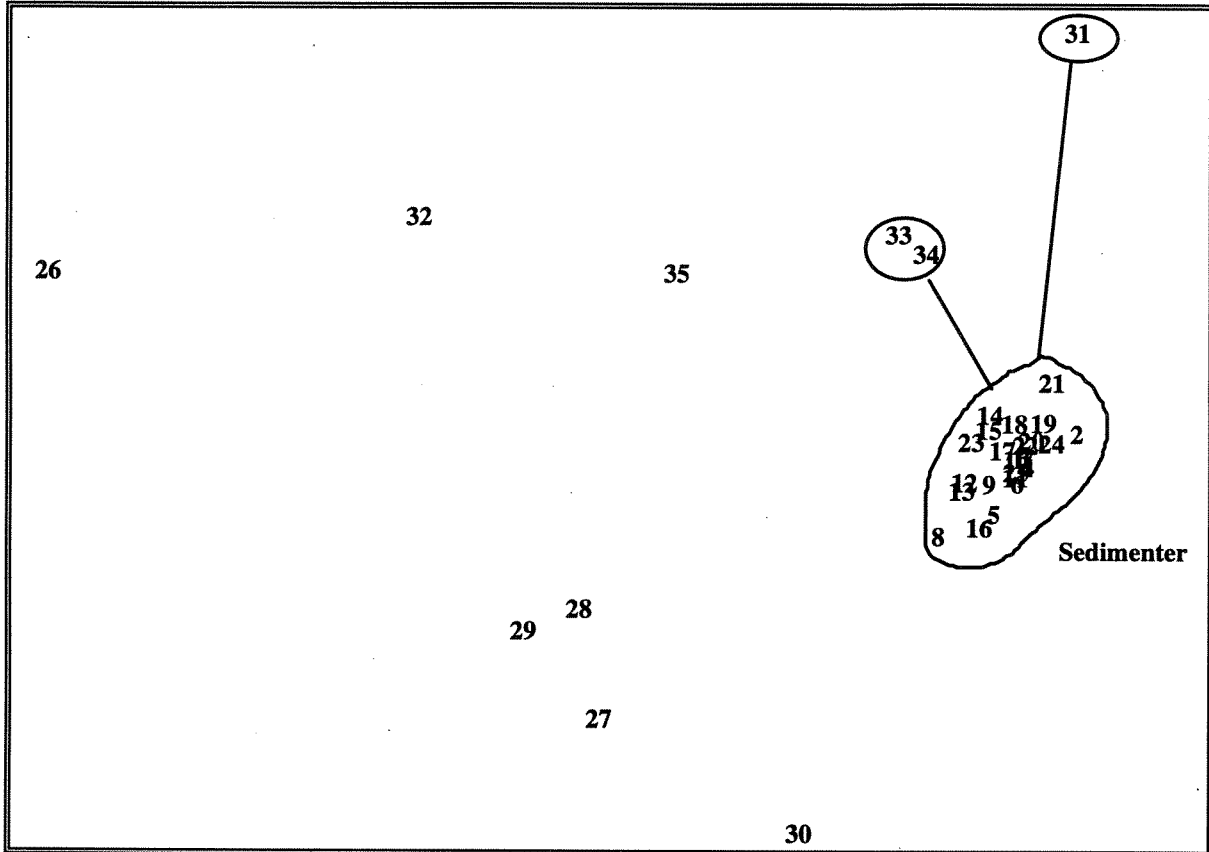
De kildeprøvene som synes å ha størst likhet med sedimentprøvene (>60% mht. PAH-innhold) er 3 brønner fra Fase II; iht. NOTEBY (1994) brønn nr. 5, 50 og 52 (NIVA ID nr. 31, 33 og 34). Dette lar seg vanskelig forklare da hverken lokalisering, PAH mengder eller PAH-sammensetning indikerer denne samme sammenhengen (jfr. fig 2, vedleggstab. 8 og vedleggsfig. 3). Også MDS-analysen understøtter en slik sammenheng.



Figur 7. Clusterdiagram for Bray-Curtis likhetsindeks mellom %-andel av de respektive PAH-forbindelsene i 25 sedimentprøver og 10 kildeprøver (markert uthevet) fra Sjursøya 1993. Nummerering refererer til NIVA stasjonskode (jfr. vedleggstabell 1 og 2).

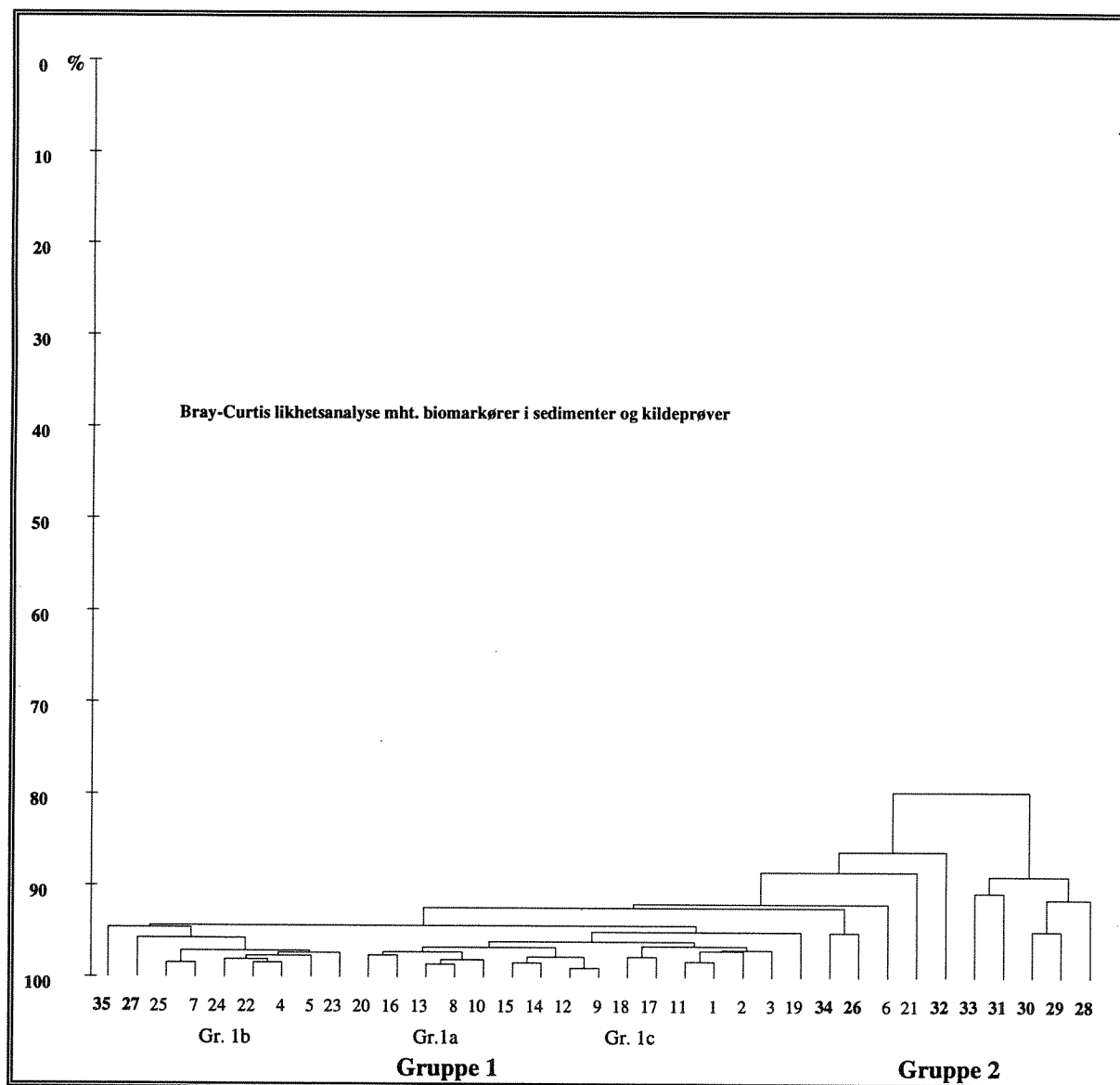


Figur 8. PAH-profiler for sedimentprøver fra Sjursøya 1993 (Gruppe I - St. 5, 8, 9, 12, 13 og 16 til venstre, cf. fig. 7).

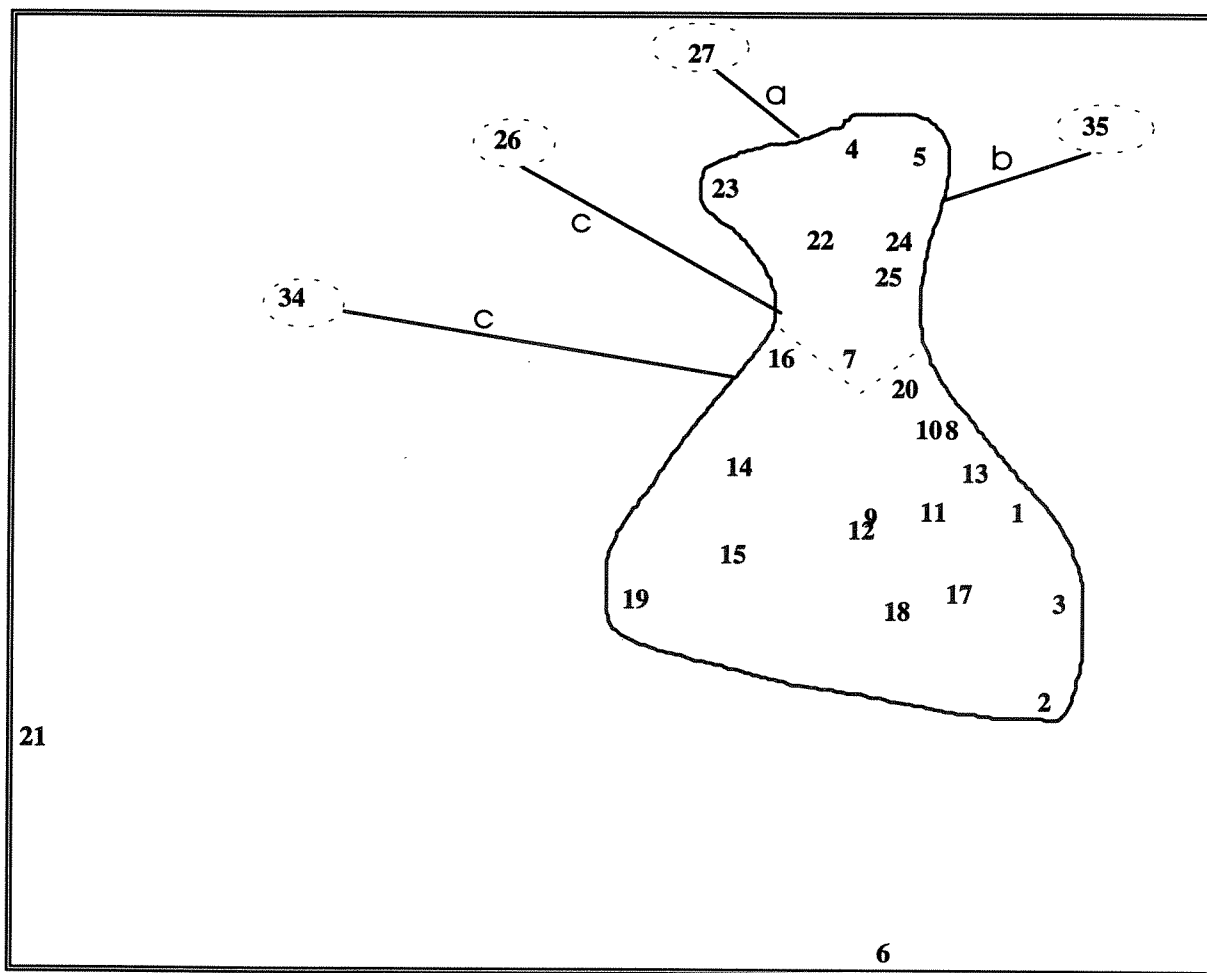
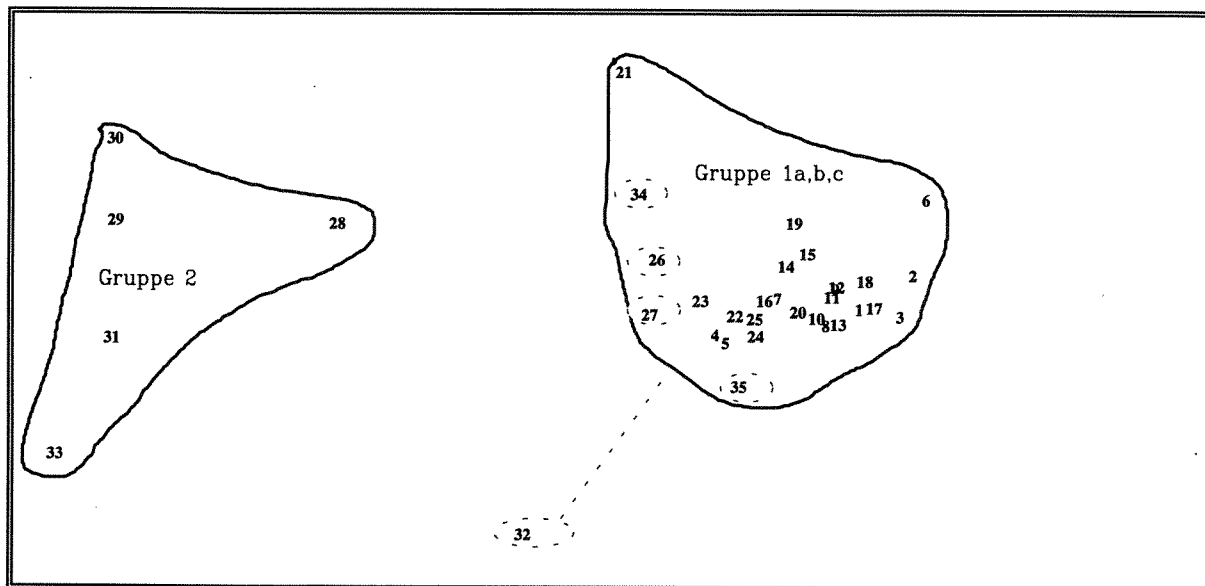


Figur 9. Ordinasjonsplott (MDS) for PAH-innhold i sedimenter+kildeprøver (øverst), kun sedimenter (nederst), Sjursøya 1993. Grupperingen (Gr. I og II) basert på resultatet fra cluster-analysen cf. fig. 7. Hovedgruppering markert med ——— og undergrupper i Gr. 2 markert med - - - - - jfr. tekst.

Tilsvarende resultater fra cluster- og MDS-analysen mht. steraner og triterpaner gir den beste sammenheng mellom hydrokrbonforekomstene i grunnen på Sjurøya og sedimentene i sjøen utenfor. Cluster-analysen viser at 4 av kildebrønnene grupperer seg sammen med hovedmengden av sedimentprøvene (jfr. fig. 10). Dette var brønnene 38, 37, 32 og 52 (ca. 92-95% likhet). De resterende 6 brønner viser best innbyrdes sammenheng, men også 80% likhet med sedimentprøvene. Av de 4 kildeprøvene som forklarer denne sammenheng i hele datamaterialet er 3 lokalisert langs eller nær det steinsatte kaiområdet mot syd og en noe lenger inn på området.



Figur 10. Clusterdiagram for Bray-Curtis likhetsindeks mellom %-andel av de respektive utvalgte ionestrømstoppene for biomarkører i 25 sedimentprøver og 10 kildeprøver (markert uthevet) fra Sjurøya 1993. Nummerering refererer til NIVA-stasjonskode (jfr. vedleggstabell 1 og 2, jfr. også vedleggsfigur 7).

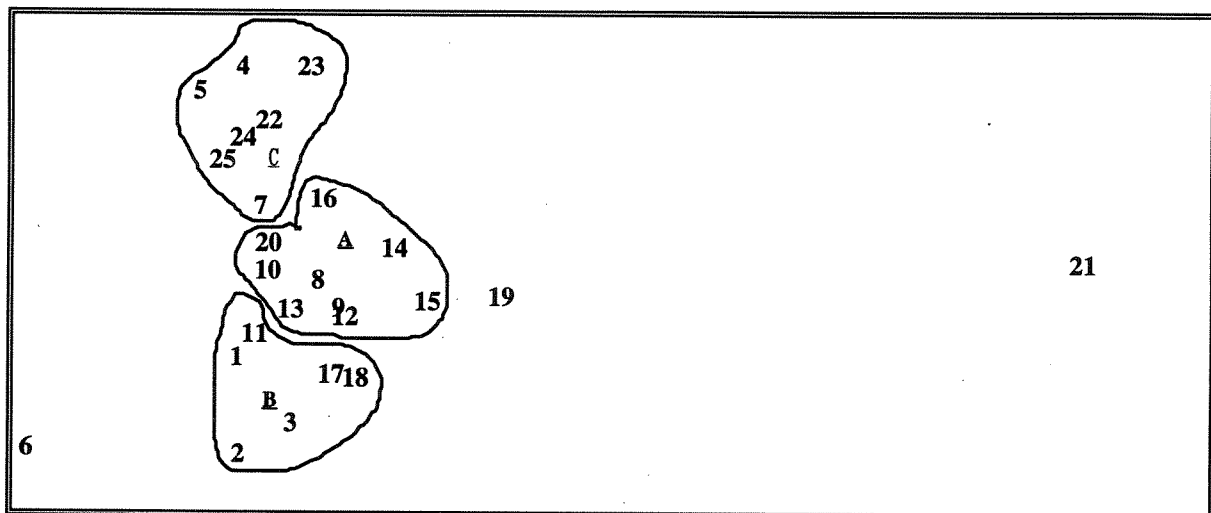


Figur 11. Ordinasjonsplott (MDS) for steraner og triterpaner i sedimenter+alle kildeprøver (øverst), sedimenter og utvalgte kildeprøver (nederst) fra Sjursøya 1993. Grupperingen er basert på resultater fra cluster-analysen cf. fig. 10. Hovedgrupper markert med _____ og kildeprøver som viser god sammenheng med sedimenter er markert med -----.

Ordinasjonsdiagrammet utdyper dette forholdet og viser hvor nær de nevnte kildeprøver plasserer seg sedimentprøvene (fig. 11). Det påpekes at stasjon 6 i Bekkelagsbassenget og stasjon 21 på nordsiden av øya skiller seg klart fra resten av sedimentprøvene (cf. fig. 11 nedre del). Ved å eliminere de kildeprøver som minst likhet oppnås en bedre oppløsning i ordinasjonsplottet. Brønn 38 forklarer trolig den beste sammenhengen (a) og deretter brønn 37 sammenheng (b) med stasjon 4, 5, 7, 22, 24 og 25 geografisk lokalisert mot øst og nord (fig. 2). De to brønner viser deretter størst grad av likhet med resterende sedimentprøver. Sammenhengen (c) mellom alle sedimentprøvene og de to brønnene 32 og 52 kommer deretter og kan sidestilles i betydning. Unntatt fra de skisserte sammenhenger (a,b og c) er st. 6 og 21 (jfr. fig. 11).

Sedimentene videre sammenheng innbyrdes vist i fig. 12 antyder størst grad av likhet (basert på steraner og triterpaner) i følgende rekkefølge (cf. også fig. 2); St. 9 og 12 sammen med St. 14 og 15. Disse grupperer seg med tilnærmet grad av likhet med St. 8 og 13, St. 10, samt 16 og 20 (gruppe A). Gruppe A danner en tilnærmet avstandsgradient i sedimentene fra brønnene 37 og 38 lokalisert sentralt på det steinsatte kaianlegget mot syd.

Gruppe C bestående av St. 1, 2, 3, 11, 17 og 18. Den noe atypiske St. 19 har størst grad av likhet (ca. 96%) med gruppe A og B. En tredje gruppering (gruppe B) utgjøres av de resterende prøver lokalisert både mot øst og nord (igjen unntatt st. 6 og 21).



Figur 13. Ordinasjonsplott (MDS) for steraner og triterpaner i sedimentprøvene fra Sjørøya 1993. Grupperingen basert på cluster-analysen fig. 10.

4.3. Kildeevaluering - diskusjon

Det er tidligere konstatert lekkasjer flere steder i kaaiområdene rundt Sjørøya, bla. av HEDESELSKABET (1992). Undersøkelser utført av NGI (1992) påpekte også lekkasjer i kaikonstruksjonene mot syd ved sine brønner nr. 8 og 11 (tilsvarer her brønn 34 og 38, jfr. vedleggstab.2). Lekkasjene ble karakterisert ved at en sakte bevegelse i oljen i brønn 38 ved

påvirkning fra grunnvann og tidevann. Ved NGI brønn 3 (tilsvarende nå brønn 22) ble det observert olje som rant fritt ut i fjorden og rapporten konkluderte med at flere andre brønner var påvirket av nedbør og priodevis nedbør.

Det er derfor hevet over en hver tvil at de registrerte sammenhenger mellom de undersøkte sedimentprøver og kildeprøver på land er reelle. Dog antyder flere forhold i undersøkelsen at hydrokarbonforurensningene har mange ulike opphav og at det forekommer blanding av disse. Det faktum at forurensningene kommer fra en rekke steder og de blandes ved transport i løsmassene og grunnvann. Ikke minst gjør dette seg gjeldene når de kommer ut i sjøen og transportretningene er langt fra entydige. Ulike påvirkninger (kjemisk, fysisk og biologisk) av hydrokarbonene før, under og etter "avsetning", fører også til at rekonstruksjonen av enkeltepisoder vanskelig lar seg gjøre.

Basert på dette må tilførsler til grunnen, grunnvannet, sjøen og sjøbunnen utenfor, betraktes under ett, slik at oljehavn fremstår som en belastende forurensningskilde. Belastningen styres av de aktiviteter som tidligere har foregått og som fortsatt antas foregå på Sjursøya.

5. Litteraturhenvisninger

- CHK A/S, 1993.** Supplerende miljøteknisk grunnundersøklese. ABC/Brannøvingsfeltet Haakonsvern, VSD, Bergen kommune FBT lok. nr. 1201 005. CHK-rapport A1617/93-129, 26s + vedlegg.
- CLARKE, K. R., 1991.** Lecture Notes for a Training Workshop on Multivariate Analysis of Benthic Community Data. University of Oslo 25-27 October 1991.
- CLIFFORD, H. T. og W. STEPHENSON, 1975.** An Introduction to Numerical Classification. Academic Press, 229 pp.
- ESSO NORGE A/S, 1990.** Rapport etter søl av Autodiesel fra tank 13, Sjursøya. 29.08.90.
- GEOTEAM TERRAPLAN as., 1993.** Sammendrag av resultater Sjursøya. Notat, 4s.
- GRIMMER, G., 1983.** Environmental carcinogens: Polycyclic aromatic hydrocarbons. Chemistry, occurrence, biochemistry, carcinogenicity. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida. 261pp.
- GRIMMER, G. og H. BÖHNKE, 1978.** Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe und Heterocyclen-Beziehung zum Reifegrad von Erdölen des Gifhorner Troges (Nordwestdeutschland). Erdöl Kohle, 31.
- GRØNER A/S 1990.** Oil pollution control, Texaco's property - Sjursøya, Oslo Norway. Rapport 31.05.90, Mobil Oil A/S Norge.
- HEDESELSKABET, 1992.** Supplerende undersøgelser avfærgeprosjekt, Statoil, Sjursøya. Rapport nr. 314-92630, 22s.
- HELLAND, A., 1994.** Kartlegging av sedimenter utenfor Filipstad, Oslo havn. NIVA-rapport nr. O-93100. (Under utarbeidelse).
- HERLAN, A., 1977.** Kanzerogenen polycyclische Aromaten und Metaboliten als mögliche Bestandteile von Emissionen. Zentralbl. Bakteriöl. Parasitenkd. Infektionskr. Hyg., Apt. 1 Orig. Reihe B, 165, 174.
- IARC, 1987.** IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans. Overall evaluation of carcinogenicity: An updating of IARC Monographs volume 1 to 42. Suppl. 7. Lyon.
- KAARSTAD, I. og T. TEFLER, 1991.** 1990 environmental monitoring survey of the Gullfaks Field. IKU-report no. 22.1968.00/01/90, 249s.
- KNUTZEN, J., 1992.** Preliminary proposals for classification of marine environmental quality respecting micropollutants in water, sediments and selected organisms. NIVA-rapport nr. E-862602/O-89266, l.nr. 2738, 22s.
- KNUTZEN, J. og J. SKEI, 1990.** Kvalitetskriterier for miljøgifter i vann, sedimenter og organismer samt foreløpige forslag til klassifikasjon av miljøkvaliteter. NIVA-rapport nr. O-862602, l.nr. 2540, 139s.
- KNUTZEN, J., B. RYGG og I. THÉLIN, 1993.** Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Virkninger av miljøgifter. (Classification of environmental quality in fjords and coastal waters. Effects of micropollutants). SFT-veiledning Nr. 93:03, TA-923/1993, 26s. (Under trykking).

- KONIECZNY, R.M., 1991.** Undersøkelse av tungmetall- og PAH-forurensede bunnsedimenter fra Bispevika, Indre Oslofjord, i forbindelse med snøtipping fra Bispekaia. NIVA-rapport, O-91099, l.nr. 2654, 19s.
- KONIECZNY, R.M., 1992a.** Kartlegging og vurdering av forurensningssituasjonen i bunnsedimenter fra Oslo havn. NIVA-rapport nr. O-91150, l.nr. 2696, 52s.
- KONIECZNY, R.M., 1992b.** Kartlegging og vurdering av forurensningssituasjonen i området Bjørvika - Bispevika, Oslo havn. NIVA-rapport nr. O-92024, l.nr. 2808, 87s.
- KONIECZNY, R.M., 1993.** Kartlegging og vurdering av forurensningssituasjonen i Svestad Marina, Nesodden. NIVA-notat nr. O-93052, 6s + vedlegg.
- KONIECZNY, R.M., T.M., JONHSEN, J. KLUNGSØYR og J. KNUTZEN, 1993.** Undersøkelse av organiske miljøgifter i bunnsedimenter og marine organismer i nærområdet utenfor ABC/Brannøvingsfeltet Haakonvern, Bergen 1993. NIVA-rapport nr. O-93040, l.nr. 2942, 73s.
- KONIECZNY, R.M., 1994.** Miljøgiftundersøkelse i Indre Oslofjord 1992. Delrapport 4. Miljøgifter i sedimenter. NIVA-rapport nr. O-921311, under utarbeidelse.
- KONIECZNY, R.M., O. BRUSKELAND, G. BRØNNSTAD, A. HELLAND og L.R. HOVDE, 1994.** Kartlegging av miljøgifter i sedimenter, Indre Drammensfjord 1993. NIVA-rapport nr. O-93208, l.nr. 3034, 33s+vedlegg.
- LANG, K.F. og EIGEN, I., 1967.** Im Steinkohlenteer nachgewiesene organische Verbindungen. Fortschr. Chem. Forsch., 8, 91-170.
- NGI, 1992.** Undersøkelse av forurensning i grunn og grunnvann på Sjursøya. NGI-rapport nr. 924006-4, Oslo Havnevesen, 14s + vedlegg.
- NOTEBY A/S, 1989.** Miljøanalyse. NOTEBY-rapport nr. 44084, A/S Norske Shell.
- NOTEBY A/S, 1992a.** Kartlegging av oljeforurensning på Sjursøya. NOTEBY-rapport nr. 43192, Mobil Oil A/S Norge.
- NOTEBY A/S, 1992b.** Oljelekkasje på Sjursøya. NOTEBY-rapport nr. 43379, Statoil Norge A/S.
- NOTEBY A/S, 1992c.** Sikring - beredskap Sjursøya, Oslo. Sammenstilling og vurdering av eksisterende bakgrunnsmateriale. NOTEBY-rapport nr. 43380-1, Oljeselskapenes Industrivern, 16s + vedlegg.
- NOTEBY A/S, 1993a.** Tilstandskontroll av brønner på Oljehavnen, Sjursøya. NOTEBY-notat nr. 43393, datert 23.04.1993, 2s.
- NOTEBY A/S, 1993b.** Forurensning i grunnen, Sjursøya, Oslo. Forundersøkelser, detaljprosjektering og borreprogram. NOTEBY-rapport nr. 43393-1, Esso Norge A/S, 19s + vedlegg.

- NOTEBY A/S, 1994.** Forurensninger i grunnen Sjursøya Oljehavn. Vurdering av strømningsforhold i grunnen. Målinger desember-93. NOTEBY-rapport nr. 43393-2, 10s + vedlegg.
- NÆS, K. 1991.** Frigivelse av PAH fra forurenset sjøbunn. NIVA-rapport nr. O-894801, l.nr. 2667, 74s.
- RYGG, B. og I. THÈLIN, 1993.** Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Kortversjon. (Classification of environmental quality in fjords and coastal waters. Short version). SFT-veiledning Nr. 93:02, TA-922/1993, 20s.
- SILJEHOLM, J. 1985.** Vannforurensning og tiltak mot vannforurensninger ved Esso raffineriet på Slagentangen. En miljøkjemisk analyse og "kost/nytte" vurdering. Hovedf. oppg., UiO, 255s.
- SKEI, J. , J. KLUNGSØYR og J. KNUTZEN, 1994.** Miljøgiftundersøkelser i Bergen havneområde og byfjorden 1993. Fase 1. Miljøgifter i spiselige organismer og bunnsedimenter. NIVA-rapport nr. O-93017. (Under utarbeidelse).
- SPORSTØL, S., N. GJØS, R.G. LICHTENTHALER, K.O. GUSTAVSEN, F. ORELD og J. SKEI, 1983.** Source identification of aromatic hydrocarbons in sediments using GC/MS. Environ. Sci. Techn., 17, 282-286.

VEDLEGGSTABELLER

Vedleggstabell 1. Oversikt over stasjoner og forenklet beskrivelse sedimentprøver tatt utenfor Sjursøya 1993. Beliggenhet ref. til fig. 2.

ID nr.	Stasjon	Vann dyp	Område	Beskrivelse av og kommentarer til sedimenter
1	St. HC 1	4m	Ø	Grågrønn bløt topp over mørk grå siltig leire, org. rik, +fauna
2	St. HC 2	6m	Ø	Grågrønn bløt topp over mørk grå siltig leire, org. rik, +fauna
3	St. HC 3	5m	Ø	Brungrønn slam over gråsort siltig leire, +fauna
4	St. HC 4	24m	SØ	Sort bløtt slam, svak H ₂ S-lukt
5	St. HC 5	44m	SØ	Sort bløtt slam, H ₂ S-lukt
6	St. HC 6	50m	S	Sort bløtt slam, H ₂ S-lukt. Ref. st. Bekkelagsbassenget.
7	St. HC 7	22m	S	Brungrønn slam noe sandig over gråsort siltig leire
8	St. HC 8	38m	S	Sort bløtt slam over mørk grå siltig leire, H ₂ S-lukt
9	St. HC 9	32m	S	Sort bløtt slam over mørk grå siltig leire, H ₂ S-lukt
10	St. HC 10	30m	S	Mørk grå sandig over grå siltig leire, svak H ₂ S-lukt
11	St. HC 11	32m	S	Mørk grå sandig over grå siltig leire, svak H ₂ S-lukt
12	St. HC 12	42m	S	Sort bløtt slam, H ₂ S-lukt
13	St. HC 13	45m	S	Sort bløtt slam, H ₂ S-lukt
14	St. HC 14	36m	S	Sort bløtt slam, H ₂ S-lukt
15	St. HC 15	38m	S	Sort bløtt slam, H ₂ S-lukt
16	St. HC 16	46m	S	Sort bløtt slam, H ₂ S-lukt
17	St. HC 17	45m	SV	Svært bløt grått slam over mørk grå siltig leire.
18	St. HC 18	16m	NV	Brungrønn topp over gråsort siltig leire, +fauna
19	St. HC 19	6m	NV	Brungrønn topp over gråsort leire, m/ sand/grus/skallfrag. +fauna
20	St. HC 20	15m	N	Brungrønn topp over gråsort siltig leire, +fauna
21	St. HC 21	16m	N	Sort slam over gråsort siltig leire,
22	St. HC 22	16m	N	Sort slam over gråsort siltig leire, org. fiber + korn/frø
23	St. HC 23	14m	N	Sort slam og gråsort siltig leire, skallbanke
24	St. HC 24	16m	NØ	Sort bløtt slam, H ₂ S-lukt
25	St. HC 25	21m	NØ	Sort bløtt slam, H ₂ S-lukt

Vedleggstabell 2. Oversikt og bakgrunnsdata for brønner (kildeprøver) prøvetatt utenfor Sjursøya 1993. NIVA ID refererer til fortløpende nummering for bruk i MDS-analysene og NB 94 til siste gjeldende nummerering (NOTEBY 1994).

NIVA ID	NB 94	NB 93	NB 92	NG 92	HS 93	GT 93	Prøve nivå	Jord mg/kg	Vann µg/l	Vann
26	32	5		7			1.8-2.1m	2000	41000	Kaks, fri fase, middels tykk brun/svart olje
27	38	8		11			ca. 2.0m	8900	300000	Kaks, fri fase, tykk svart olje
28	56	10a			A2					Tykk svart olje over slam
29	58	10b	GR2							Fri fase 50 mm, tykk olje
30	74	14a	BH1							Fri fase, tung og seig olje
31	5					3	0.5m	14690	-	Fri fase 6 mm
32	15					11	0.5m	5245	-	Fri fase 1 mm
33	50					21	2.0m	73	-	Fri fase 80 mm
34	52					20	ca. 3m	30	-	Fri fase 3 mm
35	37					26	ca. 1m	528	-	Fri fase 10 mm
36*	35					27	5.5m	165	-	Fri fase 0.5 mm
37*	23					28	4.5m	355	-	Fri fase 1 mm
38*	92			12			-	-	360	ikke jordprøve
39*	91			13			-	-	190	ikke jordprøve
40*	90			14			ca. 3.0	110	180	Løsmasse

NB = Noteby, NG = NGI, HS = Hedeselskapet, GT = Geoteam Terraplan. * = kildeprøver som ble ekskludert fra videre undersøkelser.

Vedleggstabell 3. Tilstandsklasser og forurensningsgrader for utvalgte organiske miljøgifter i marine sedimenter (ppb og ppm, tørrvektsbasis). Basert på Knutzen og Skei 1990, Kaarstad og Telfer 1991, Knutzen 1992, Knutzen et al. 1993, Rygg og Thélin 1993. 1) Benzo(a)pyren

Klasse	I	II	III	IV	V
Parameter	God	Mindre god	Nokså dårlig	Dårlig	Megert dårlig
Sum PAH (µg/kg)	<300	300-2000	2000-6000	6000-20000	>20000
B(a)P (µg/kg) ¹	<10	10-50	50-200	200-500	>500
THC (mg/kg)	<10	10-100	100-1000	1000-10000	>10000
Grad	1	2	3	4	5
Parameter	Liten	Moderat	Markert	Sterk	Meget sterk
Sum PAH (µg/kg)	<1	1-7	7-20	20-70	>70
B(a)P (µg/kg) ¹	<1	1-5	5-20	20-50	>50
THC (mg/kg)	<1	1-10	10-100	100-1000	>1000

Vedleggstabell 4. Konsentrasjoner av total mengde hydrokarboner THC i sedimenter mg/kg tørrvekt fra Sjursøya 1993

Lokalitet	Prøve kode	Sed. nivå, cm	Kons. THC ppm
Sjursøya Ø	HC 1	0-2	1230
Sjursøya Ø	HC 2	0-2	563
Sjursøya Ø	HC 3	0-2	683
Sjursøya SØ	HC 4	0-2	1170
Sjursøya SØ	HC 5	0-2	345
Sjursøya S	HC 6	0-2	367
Sjursøya S	HC 7	0-2	2400
Sjursøya S	HC 8	0-2	1100
Sjursøya S	HC 9	0-2	1860
Sjursøya S	HC 10	0-2	3300
Sjursøya S	HC 11	0-2	3110
Sjursøya S	HC 12	0-2	1250
Sjursøya S	HC 13	0-2	1590
Sjursøya S	HC 14	0-2	2910
Sjursøya S	HC 15	0-2	2770
Sjursøya S	HC 16	0-2	2040
Sjursøya N	HC 17	0-2	2130
Sjursøya V	HC 18	0-2	2640
Sjursøya N	HC 19	0-2	570
Sjursøya N	HC 20	0-2	1370
Sjursøya N	HC 21	0-2	749
Sjursøya N	HC 22	0-2	1180
Sjursøya N	HC 23	0-2	2110
Sjursøya N	HC 24	0-2	1700
Sjursøya N	HC 25	0-2	827
Gj. snitt	n=25	0-2	1537

Vedleggstabell 5. Forekomst av PAH, KPAH og NPD i mg/kg tørrvekt, samt prosentandel KPAH i sedimentprøver fra området utenfor Sjursøya 1993.

Parameter	HC1	HC2	HC3	HC4	HC5	HC6	HC7	HC8	HC9	HC10	HC11	HC12	HC13
Naftalen	0.215	0.108	0.195	0.15	0.309	0.174	0.256	0.515	0.553	0.168	0.159	0.357	0.307
Acenaftylen	0.018	0.021	0.03	0.013	0.018	0.018	0.019	0.068	0.046	0.017	0.016	0.018	0.027
Acenaften	0.038	0.037	0.036	0.02	0.051	0.057	0.037	0.104	0.059	0.038	0.043	0.055	0.063
Fluorene	0.1	0.089	0.105	0.063	0.085	0.114	0.078	0.18	0.172	0.081	0.103	0.103	0.129
Fenantren	0.538	0.816	0.707	0.446	0.652	0.856	0.494	0.954	0.974	0.426	0.917	0.735	0.535
Antracene	0.16	0.232	0.178	0.131	0.096	0.185	0.147	0.112	0.212	0.111	0.337	0.113	0.118
Fluoranten	1.111	2.728	1.58	1.199	1.923	1.876	1.296	1.522	2.031	1.035	1.945	1.261	0.945
Pyren	1.4	2.542	1.671	1.207	1.853	1.648	1.341	1.798	2.622	1.267	1.868	1.392	1.3
C/T	0.859	2.168	1.055	0.912	0.853	1.075	0.971	0.671	1.331	0.841	1.326	0.72	0.551
B(a)A	0.744	2.307	0.979	0.793	0.651	1.025	0.867	0.473	0.834	0.602	1.145	0.443	0.367
B(b,j,k)F	1.441	3.707	1.708	1.323	1.096	1.541	1.438	0.862	2.066	1.292	1.843	0.969	0.848
B(a)P	0.922	3.111	1.178	0.799	0.781	1.101	1.037	0.606	1.076	0.829	1.293	0.674	0.531
D(a,h)A	0.036	0.073	0.054	0.032	0.018	0.036	0.024	0.013	0.022	0.026	0.034	0.007	0.021
I(1,2,3c,d)P	0.577	2.032	0.751	0.509	0.472	0.662	0.728	0.344	0.721	0.53	0.734	0.4	0.348
B(g,h,i)P	0.546	1.702	0.661	0.531	0.494	0.619	0.63	0.36	0.852	0.553	0.777	0.465	0.308
Total PAH	8.705	21.673	10.888	8.128	9.352	10.987	9.363	8.582	13.571	7.816	12.54	7.712	6.398
sum PAH	8.334	21.418	10.522	7.882	8.889	10.624	8.973	7.715	12.741	7.512	12.219	7.179	5.872
sum KPAH	3.72	11.23	4.67	3.456	3.018	4.365	4.094	2.298	4.719	3.279	5.049	2.493	2.115
% KPAH	43	52	43	43	32	40	44	27	35	42	40	32	33
NPD	6.75	6.18	6.99	7.32	7.57	7.45	7.88	9.3	9.05	7.75	8.86	8.71	8.21

Parameter	HC14	HC15	HC16	HC17	HC18	HC19	HC20	HC21	HC22	HC23	HC24	HC25
Naftalen	0.527	0.434	0.249	0.23	0.224	0.077	0.146	0.721	0.246	0.638	0.075	0.121
Acenaftylen	0.046	0.024	0.011	0.017	0.021	0.151	0.02	0.197	0.025	0.025	0.004	0.015
Acenaften	0.048	0.044	0.07	0.036	0.048	0.076	0.048	0.203	0.117	0.094	0.039	0.04
Fluorene	0.162	0.126	0.235	0.098	0.085	0.245	0.097	0.644	0.152	0.201	0.061	0.073
Fenantren	0.697	0.582	0.303	0.472	0.61	0.751	0.559	4.711	1.063	1.122	0.498	0.457
Antracene	0.286	0.229	0.184	0.146	0.177	0.258	0.159	1.329	0.25	0.207	0.091	0.13
Fluoranten	1.033	0.991	1.184	0.85	0.962	1.138	1.21	8.847	2.187	1.423	0.93	1.012
Pyren	1.868	1.826	1.097	1.336	1.194	1.042	1.253	10.24	1.88	1.363	0.801	0.98
C/T	0.87	0.802	0.634	0.712	0.846	0.974	0.953	6.516	1.521	1.02	0.749	0.695
B(a)A	0.659	0.508	0.452	0.604	0.667	1	0.87	6.943	1.418	0.96	0.77	0.626
B(b,j,k)F	1.769	1.578	0.73	1.266	1.33	1.754	1.694	14.4	2.528	1.694	1.321	1.073
B(a)P	1.179	1.009	0.453	0.735	0.878	1.17	1.1	9.26	1.621	1.087	0.943	0.624
D(a,h)A	0.196	0.108	0.033	0.06	0.09	0.142	0.13	2.829	0.374	0.172	0.105	0.054
I(1,2,3c,d)P	1.063	0.839	0.313	0.56	0.968	1.02	0.801	12.88	1.209	0.858	0.604	0.42
B(g,h,i)P	0.82	0.58	0.256	0.51	0.804	0.759	0.631	9.193	0.913	0.665	0.417	0.356
Total PAH	11.223	9.68	6.204	7.632	8.904	10.557	9.671	88.91	15.504	11.53	7.408	6.676
sum PAH	10.44	9.052	5.639	7.251	8.526	10.008	9.36	87.14	14.964	10.57	7.229	6.427
sum KPAH	4.866	4.042	1.981	3.225	3.933	5.086	4.595	46.31	7.15	4.771	3.743	2.797
% KPAH	43	42	32	42	44	48	48	52	46	41	51	42
NPD	8.37	6.86	16.2	6.77	6.03	7.88	8.32	31.6	11.6	12.6	4.14	7.48

Vedleggstabell 6. Forekomst av PAH, KPAH og NPD i mg/kg olje, samt prosentandel KPAH i kildeprøver fra Sjursøya 1993.

Brønn nr.	Br. 5	Br. 23	Br. 32	Br. 37	Br. 38	Br. 50	Br. 52	Br. 56	Br. 58	Br. 74
Parameter										
Naftalen	0	78.1	645	21.8	36	7.8	440	12.9	21.2	0
Acenaftylen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Acenaften	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fluorene	0	0	68.7	0	49.6	12.1	134	34.8	46.9	7.1
Fenantren	4.7	31.7	111	6.4	94.3	31.4	293	144	174	13.7
Antracen	0	0	0	0	0	0	0	0	0.27	0
Fluoranten	2.7	16.5	14.7	16.6	15.5	13.3	10.7	9.9	9.1	4.1
Pyren	21.1	37	24.7	65.9	103	48.9	40.2	71.4	59.8	60.2
C/T	50.3	27	10.6	40.6	74.9	14.7	21.1	138	104	71.6
B(a)A	26.7	11.8	9.2	21.7	49.1	8.1	23.3	48.2	31.8	23
B(b,j,k)F	115	18.8	5.3	37.5	8.7	42.1	69.4	19.7	18.3	11.9
B(a)P	101	10.6	0	31.5	4.8	26.5	56.6	16.2	12.9	9.2
D(a,h)A	174	43.7	0	93	0	75.4	174	38.9	26.1	0
I(1,2,3c,d)P	118	14.8	0	38.1	0	40.9	67.7	9.5	2.4	0
B(g,h,i)P	98.9	14.4	0	26	1.5	27.4	46.9	9.9	4.5	3.8
Total PAH	712.4	304.4	889.2	399.1	437.4	348.6	1376.9	553.4	511.27	204.6
sum PAH	712.4	226.3	175.5	377.3	351.8	328.7	802.9	505.7	443.17	197.5
sum KPAH	534.7	99.7	14.5	221.8	62.6	193	391	132.5	91.5	44.1
% KPAH	75.0	32.7	1.6	55.5	14.3	55.3	28.3	23.9	17.8	21.55
NPD	1210	4930	16900	2990	12400	6830	23500	8790	9660	3950

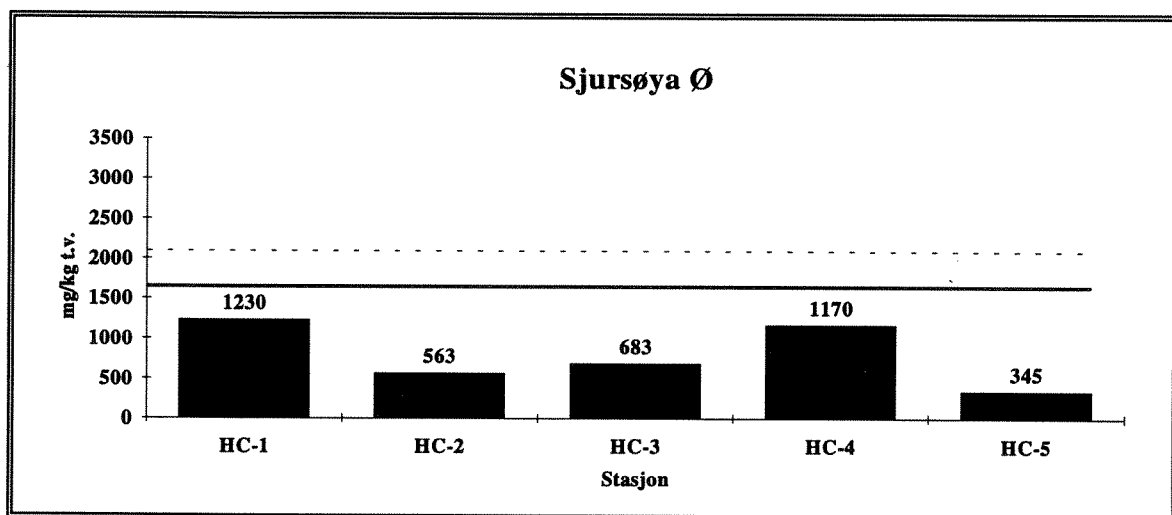
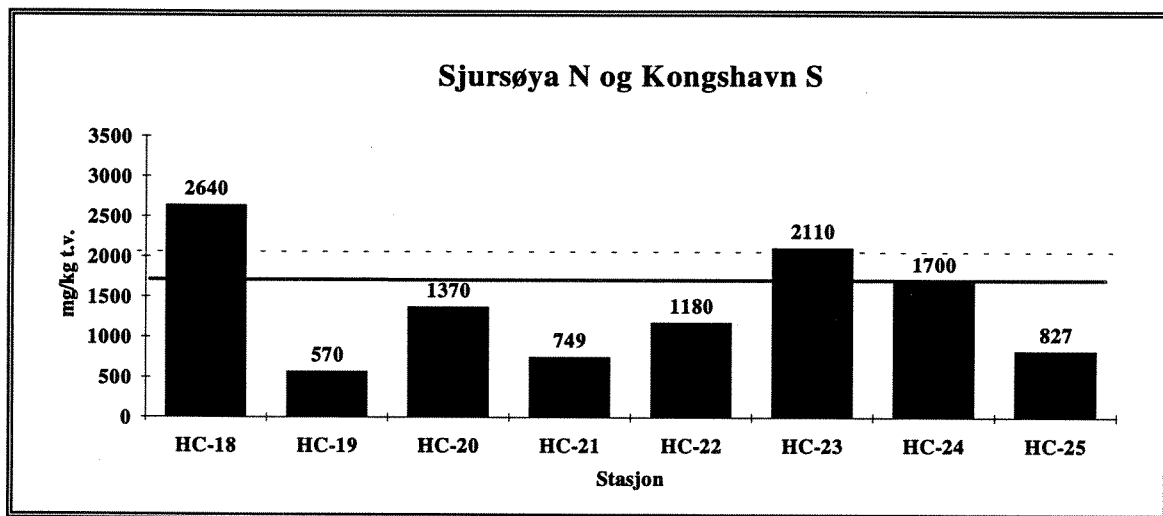
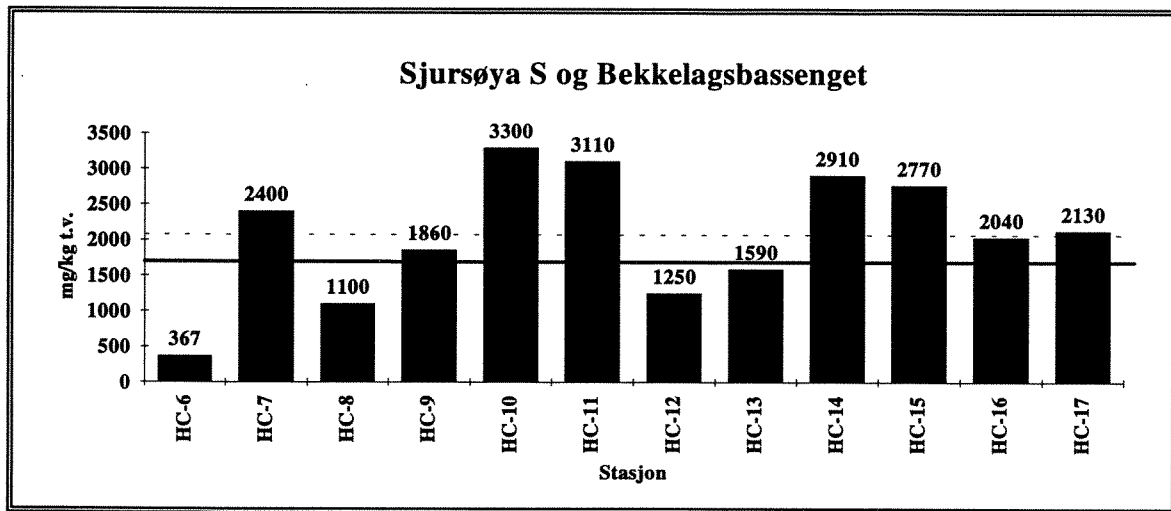
Vedleggstabell 7. Prosentandel av utvalgte topper fra inonstrømsdiagrammene for steraner og triterpaner i overflatesedimenter utenfor Sjursøya 1993.

Nr.-m/z	HC1	HC2	HC3	HC4	HC5	HC6	HC7	HC8	HC9	HC10
1-191	5.92	5.38	6.34	6.85	6.59	0.72	5.89	6.32	5.64	6.57
2-191	8.49	7.96	8.93	8.07	8.39	8.06	7.55	9.16	8.78	7.91
3-191	0.72	0.53	0.99	0.72	0.59	0.15	0.90	1.26	1.19	0.88
4-191	32.47	32.38	32.23	30.45	31.01	33.08	30.95	30.87	30.65	31.73
5-191	29.10	30.42	30.35	25.49	25.02	29.93	27.83	29.12	30.15	28.78
6-217	1.75	1.51	1.60	3.08	2.47	1.81	2.37	2.05	1.76	2.26
7-217	1.10	0.91	0.95	2.02	1.38	1.14	1.58	1.45	1.24	1.59
8-218	5.71	4.79	5.28	8.01	8.35	7.79	7.04	7.02	6.93	7.02
9-218	6.02	6.07	5.26	6.27	6.41	6.85	6.40	5.79	6.04	5.62
10-218	8.70	10.04	8.06	9.04	9.80	10.47	9.49	6.96	7.63	7.64
Nr.-m/z	HC11	HC12	HC13	HC14	HC15	HC16	HC17	HC18	HC19	HC20
1-191	5.85	5.63	6.23	5.36	5.12	6.66	6.48	5.75	5.78	6.45
2-191	7.51	8.65	8.51	8.54	8.52	7.89	7.92	7.63	7.82	8.27
3-191	0.84	1.16	1.18	1.19	1.44	0.87	0.92	0.80	0.66	0.79
4-191	31.82	30.82	31.86	29.48	29.30	30.41	31.44	31.08	28.02	31.38
5-191	29.27	30.49	29.45	29.74	30.92	28.16	31.20	31.65	31.31	28.09
6-217	1.85	2.07	2.17	1.99	2.10	2.16	1.89	1.73	1.88	1.96
7-217	1.22	1.32	1.39	1.38	1.44	1.47	1.26	1.23	1.17	1.26
8-218	6.51	6.61	6.98	7.68	7.12	8.50	6.59	6.02	6.82	6.86
9-218	6.06	6.14	5.45	6.93	6.51	6.17	5.14	5.83	7.74	6.59
10-218	9.07	7.10	6.80	7.70	7.53	7.69	7.16	8.26	8.79	8.35
Nr.-m/z	HC21	HC22	HC23	HC24	HC25					
1-191	5.11	6.34	6.07	6.85	6.18					
2-191	7.33	8.47	8.26	8.75	7.84					
3-191	0.75	0.57	0.66	0.67	0.47					
4-191	21.72	30.28	29.27	30.90	30.94					
5-191	31.60	26.52	26.58	26.42	26.85					
6-217	2.11	2.68	2.91	3.05	2.44					
7-217	1.36	1.77	2.21	1.24	1.63					
8-218	9.19	7.93	8.48	7.73	7.64					
9-218	10.05	6.44	6.83	6.08	6.28					
10-218	10.78	9.00	8.73	8.32	9.73					

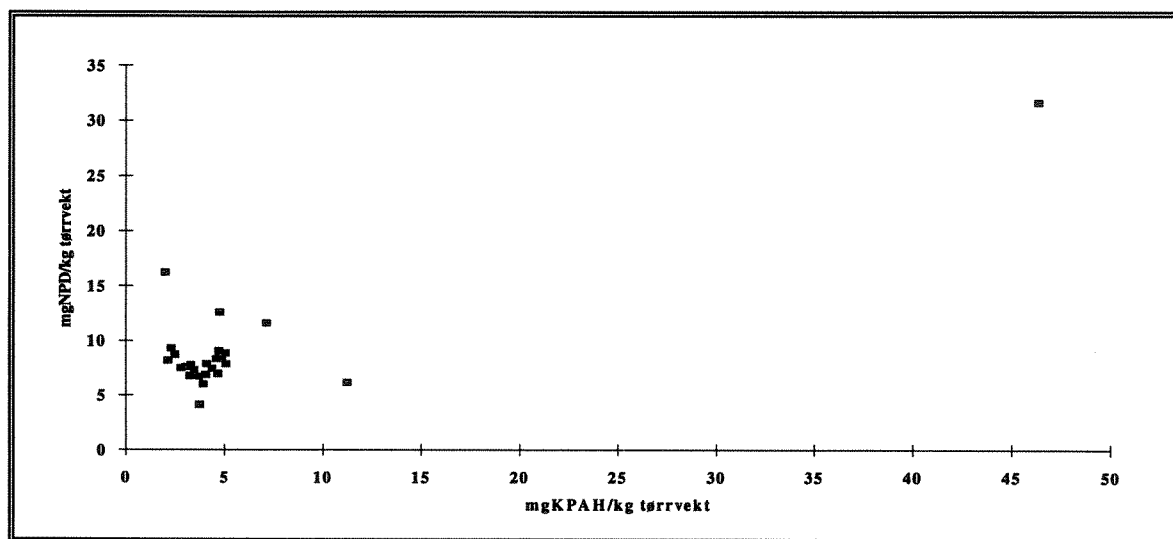
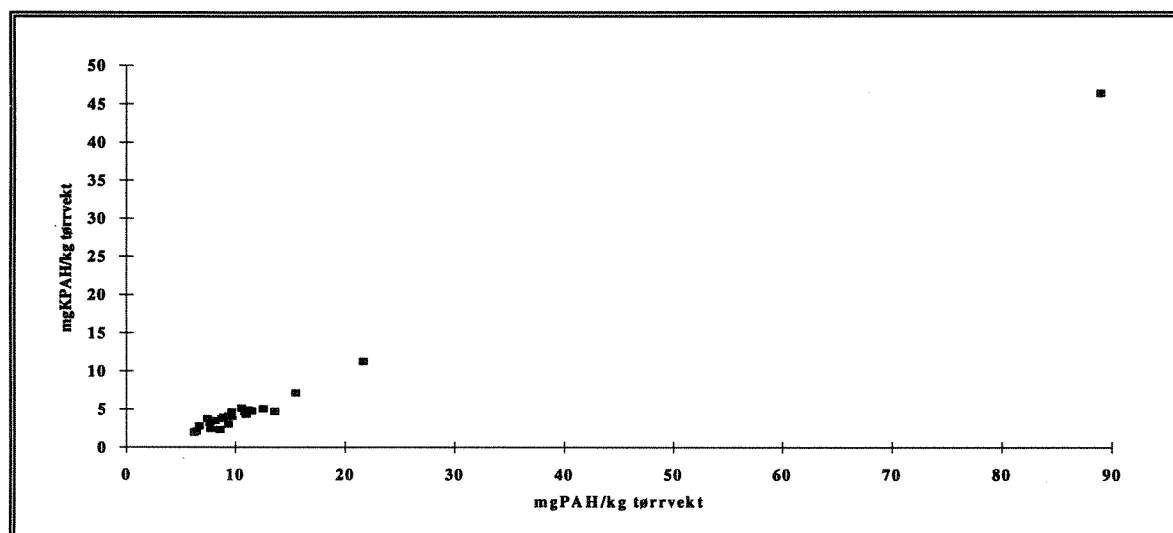
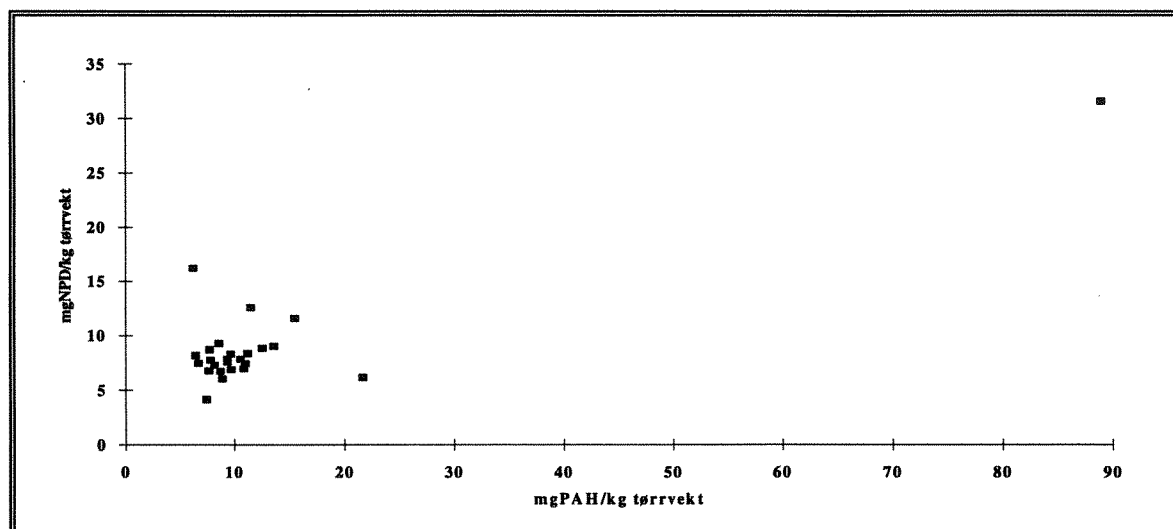
Vedleggstabell 8. Prosentandel av utvalgte topper fra inonstrømsdiagrammene for steraner og triterpaner i kildebrønner fra Sjursøya 1993.

Nr. m/z	Br. 5	Br. 23	Br. 32	Br. 37	Br. 38	Br. 50	Br. 52	Br. 56	Br. 58	Br. 74
1-191	7.1	5.7	8.7	5.4	5.4	11.2	6.2	4.6	4.9	4.5
2-191	9	9.4	8	9.4	7.1	7.6	8.6	6.5	6.2	5.8
3-191	4.4	2.5	1	0.8	1.3	2.9	4.5	1.5	2.2	1.42
4-191	21.3	31.4	26	24.2	29.2	19.2	31.5	21.7	18.9	19.3
5-191	16.7	24.8	27.1	29.2	24.6	18.1	20.4	20.5	18.7	18.8
6-217	6.9	2.3	3.2	2.9	3.9	9.1	6.6	7.1	9.6	7.6
7-217	4.4	2.1	1.8	1.9	2.4	6	3.7	5.4	5.9	4.5
8-218	11.7	6.4	9.8	9.8	11.5	11.5	8.6	12.6	14.5	14.8
9-218	8.1	7.4	7.2	7.3	6.2	7.2	5.2	9.3	8.7	10.5
10-218	10.4	8.1	7.3	9.2	8.5	7.3	4.9	10.8	10.4	12.7

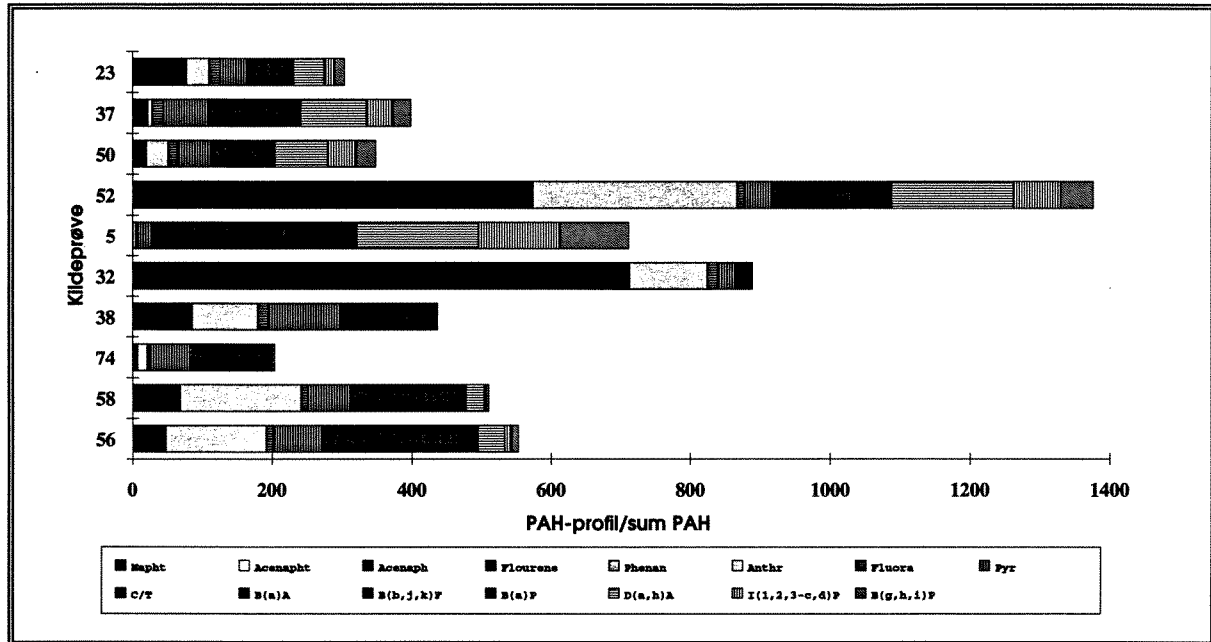
VEDLEGGFIGURER



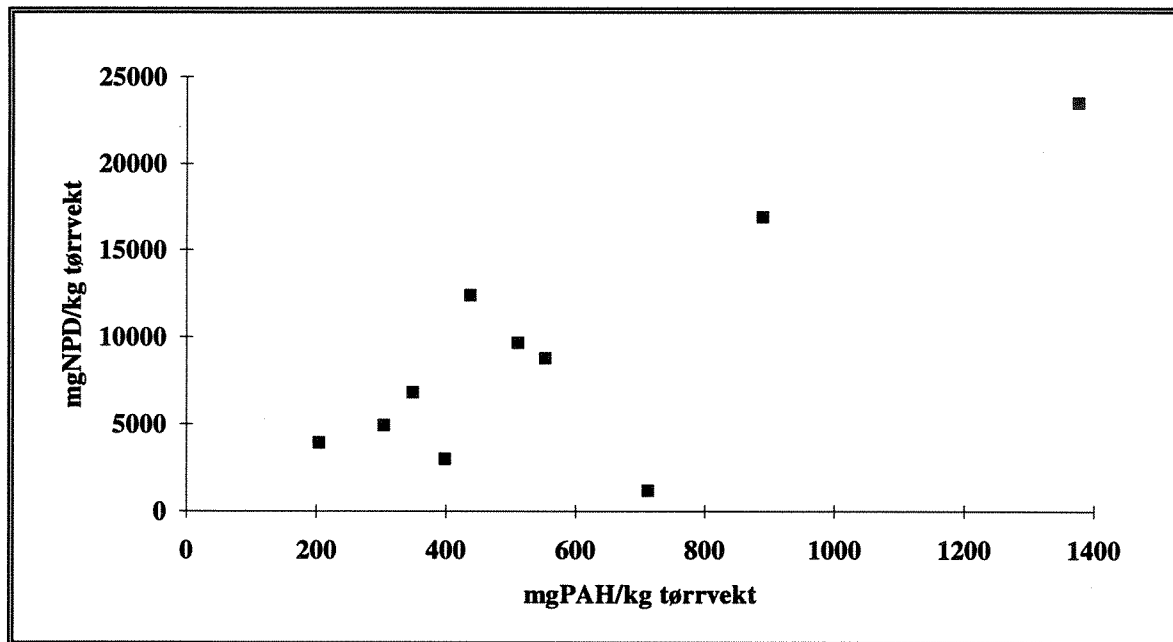
Vedleggsfigur 1. THC i overflatesediment. Gjennomsnitt for prøver fra Sjursøya markert —, gjennomsnitt for prøver fra Indre Oslofjord (n=52) markert - - - - -.



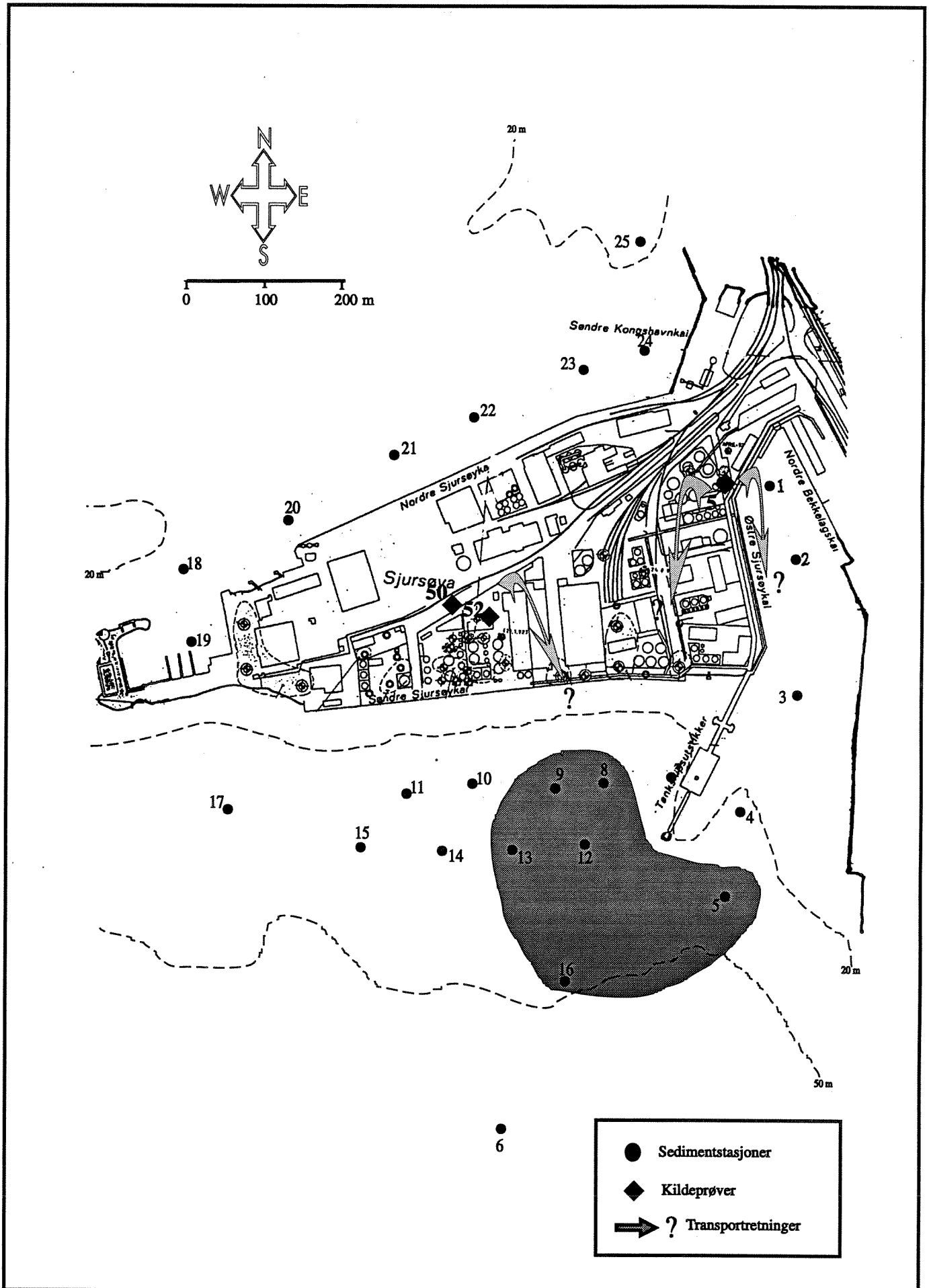
Vedleggsfigur 2. Innbyrdes forhold mellom sum PAH, sum KPAH og sum NPD i sedimenter mg/kg tørrvekt fra Sjursøya 1993.



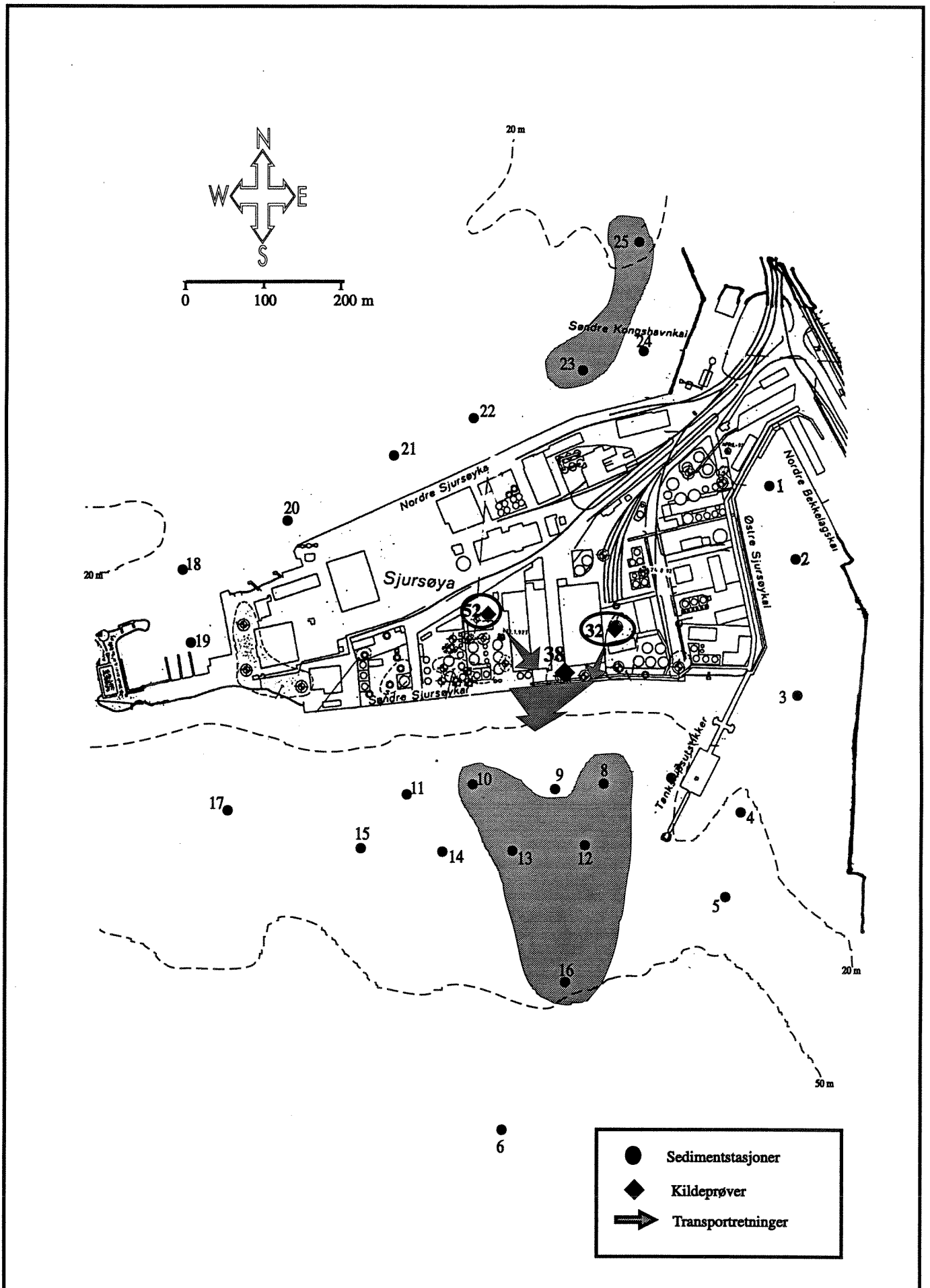
Vedleggsfigur 3. PAH-sammensetning/profil i kildeprøver, som sum av enkeltforbindelser (kun illustrativ, jfr. tekst).



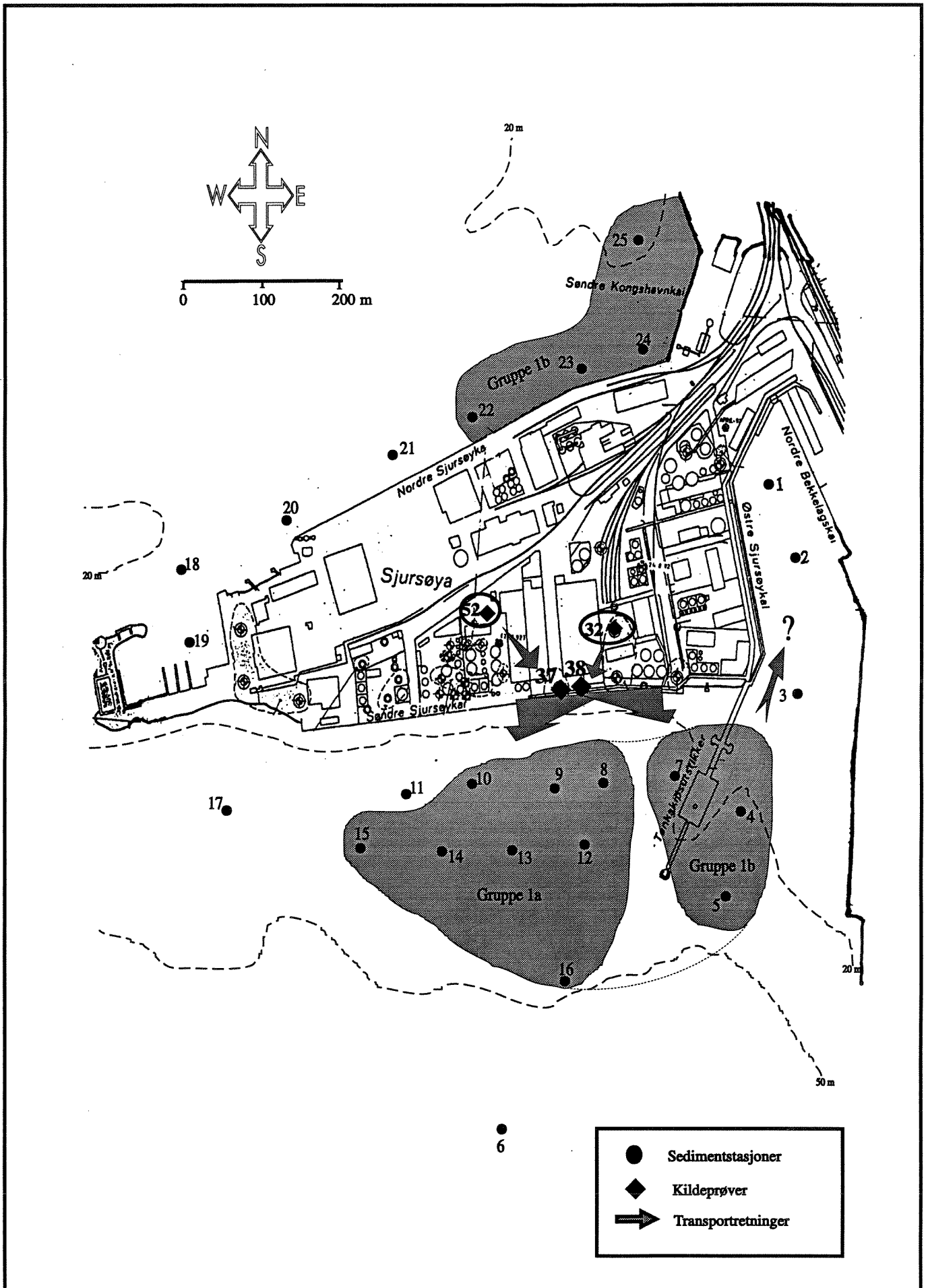
Vedleggsfigur 4. Forholdet mellom NPD og PAH i mg/kg tørrvekt i kildeprøvene fra Sjursøya 1993.



Vedleggsfigur 5. Kildeprøver og sedimentstasjoner gruppert etter sammenlingbart innhold av PAH.



Vedleggsfigur 6. Kildeprøver og sedimentstasjoner gruppert etter sammenlingbart innhold av forholdet NPD:PAH.



Vedleggsfigur 7. Kildeprøver og sedimentstasjoner gruppert etter sammenlingbart innhold av steraner og triterpaner

ANDRE VEDLEGG

Adresse/Address:
Postboks 124 Blindern
N-0314 Oslo 3, NORWAY

Besøksadresse/Location:
Forskningsveien 1

Telefon/Telephone:
+47 22 06 73 00

Telefax:
+47 22 06 73 50

Telex:
71 536 SI N

NIVA
Postboks 69 Korsvoll
0808 Oslo

Att.: Roger Konieczny

Rapport

Deres ref.:
RMK

Vår ref.:
FOR/114406-061

Direkte innvalg:
22067632

Oslo,
1993-08-17

Oppdrag nr.:
114406-061

Oppdragets tittel:

Oljeanalyse av sedimenter fra Sjursøya

Sammendrag

Gasskromatografisk analyse av 25 sedimentprøver fra Sjursøya viser at prøvene inneholder hydrokarboner i kokepunktsområdet ca. n-C₁₂ til n-C₃₅ alkan (ca. 215°-490°C). Mengden hydrokarboner varierer fra 345 til 3300 mg/kg tørt sediment. Prøvene har mest sannsynlig vært utsatt for en betydelig grad av nedbrytning og det er derfor ikke mulig ut i fra hydrokarbonprofilen å fastslå hvilke oljetyper prøvene kan være forurenset med. GC/MS analyse av biomarkørene steraner og triterpaner i sedimentprøvene og 5 mulige kildeprøver viser at det er få likhetspunkter mellom sedimentprøvene og kildeprøvene.

Innledning

Til analyse forelå 25 sedimentprøver fra Sjursøya. Totalmengden hydrokarboner (THC) skulle bestemmes i alle prøvene vha. gasskromatografi. Utvalgte aromatiske enkelt forbindelser skulle bestemmes vha. koplet gasskromatografi/massespektrometri.

Eksperimentelt

Opparbeidingsprosedyren er basert på en metode som har vært i bruk ved SI siden 1978 og som senere er blitt anbefalt av "The Intergovernmental Oceanographic Commission" ("The Determination of Petroleum Hydrocarbons in Sediments, UNESCO 1982").

Ca 20 - 50 g vått sediment forsåpes med 80 ml 0.5 N metanolisk NaOH under koking med tilbakeløpskjøling i 2 timer. Etter forsåpning filtreres prøvene med sug og vaskes med 50 ml metanol og 75 ml diklormetan (første ekstraksjonsvolum). Filtratet overføres til skilletrakt og rystes. Diklormetanfasen tappes av og filtratet ekstraheres ytterligere en gang med 50 ml diklormetan. Det samlede diklormetane ekstraktet tørkes med natriumsulfat (Na_2SO_4), oppkonsentreres og polare komponenter fjernes ved kromatografering på Bond-Elut Silica kolonne (Analytichem International). Etter eluering med hexan fra Bond Elut blir ekstraktene oppkonsentrert til et passende volum og analysert med gasskromatografi (GC).

Gasskromatografi benyttes til å bestemme prøvens innhold av hydrokarboner. Kvantifiseringen gjøres med en flammeionisasjonsdetektor. Detektorresponsen (arealet) fra prøven sammenlignes med responsen fra en kjent standard. Arealet måles i kokepunktområdet n-C₁₀ til n-C₄₀ alkan. Marin diesel er benyttet som standard i denne analysen. GC-analysen gir i tillegg til mengdeangivelsen, også et GC-kromatogram som gir et "fingeravtrykk" av ulike oljetyper. Dette kan benyttes til identifikasjon av hva slags olje som foreligger.

De utvalgte aromatiske enkelt forbindelsene bestemmes vha. datastyrt gasskromatografi/massespektrometri (GC/MS) og registrering av enkeltioner (MID). Følgende forbindelser er bestemt: naftalen, fenantren/ antracen, dibenzotiofen og deres C₁-, C₂- og C₃-alkylerte derivater (sum NPD), naftalen, acenaftylene, acenaften, fluoren, fenantren, antracen, fluoranten, pyren, krysen/trifenylen, benzo(a)antracen, benzo(b,j,k)fluoranten, benzo(a)pyren, dibenzo(a,h)antracen, indeno(1,2,3-c,d)pyren og benzo(g,h,i)perylene. I tillegg ble steraner og triterpaner bestemt. Disse forbindelsene er såkalte biomarkører og benyttes for sporing av oleforurensning. Forbindelsene (med unntak av biomarkørene) kvantifiseres ved integrering av molekyllionene. Verdiene blir korrigert for forskjeller i ekstraksjonsutbytte, flyktighet og GC/MS respons mellom forbindelsen og den interne standarden ved bruk av responsfaktorkurver på flere nivåer. Følgende deutererte interne standarder er brukt: bifenyl-d₁₀, fenantren d-10 og pyren d-10.

Mengden av det ekstraherte materialet er angitt i mg/kg tørt sediment (ppm). Tørrvekten av sedimentprøvene ble bestemt ved at en aliquot av prøven ble tørket i to døgn ved 105°C.

Resultat og diskusjon

GC-kromatogrammene av de analyserte prøvene sammen med et kromatogram av standard marin diesel er gjengitt i figurene 1-8. Eksempler på ionestrømskromatogram av biomarkørene triterpaner og steraner er gjengitt i figurene 9-11. Analysebetingelsene for GC og GC/MS er gitt i vedlegg 1.

Resultatene viser at prøvene inneholder hydrokarboner i kokepunktområdet n-C₁₂ til n-C₃₅ alkan (ca. 215° - 490°C). Mengden hydrokarboner varierer fra 345 til 3300 mg/kg tørt sediment. THC-resultatene er gitt i resultattabellen.

Hydrokarbonprofilen fra de analyserte prøvene mangler det karakteristiske alkanmønsteret som er typisk for mineraloljer. Prøvene hadde en råten lukt. Det er mest sannsynlig at prøvene har vært utsatt for bakteriell nedbrytning (karakteristisk alkanmønster er forsvunnet). Det er ikke mulig å fastslå hvilken type olje disse prøvene kan være forurenset med. Kromatogrammene indikerer at det kan være en blanding av flere oljetyper.

Resultatene fra GC/MS analysen av de utvalgte aromatene er gitt i resultattabellen.

Figur 7 viser gasskromatogram av de 5 analyserte kildeprøvene. Kildeprøvene brønn 10a, brønn 10b og brønn 14a har relativt like hydrokarbonprofiler. Hydrokarbonene er i kokepunktområdet ca. n-C₁₂ til n-C₃₀ alkan (215°-450°C). Kromatogrammene viser også at prøvene har vært utsatt for en viss grad av nedbrytning. Hydrokarbonprofilen kan være av typen bunkersolje. Kildeprøvene brønn 8 og prøveikum 5 har relativt like hydrokarbonprofiler. Hydrokarbonene er i kokepunktområdet ca. n-C₁₀ til n-C₂₂ alkan (170°-370°C). Kromatogrammene viser en nedbrutt oljeprøve som kan være av typen diesel. Ingen av kildeprøvene har en gasskromatografisk profil som er lik med sedimentprøvene. Figur 8 viser gasskromatogram av kildeprøve brønn 10a og fem utvalgte sedimentprøver.

GC/MS analysen av biomarkørene steraner og triterpaner (lite følsomme for avdampning og nedbrytning) viser at kildeprøvene brønn 10a og brønn 10b er svært like og at kildeprøve prøveikum 5 er helt forskjellig fra de øvrige kildeprøvene. Kildeprøvene brønn 8, brønn 10a/10b og brønn 14a har mange felles trekk, men også en del forskjeller.

Resultatet fra analysen av biomarkørene viser få likhetspunkter mellom kildeprøvene og sedimentprøvene fra Sjursøya .

Resultattabell

	HC-1A	HC-2A	HC-3A	HC-4A	HC-5A	HC-6A
THC	1230	563	683	1170	345	367
NPD	6.74	6.18	6.99	7.32	7.57	7.45
Naftalen	0.215	0.108	0.195	0.150	0.309	0.174
Acenaftylen	0.018	0.021	0.030	0.013	0.018	0.018
Acenaften	0.038	0.037	0.036	0.020	0.051	0.057
Fluoren	0.100	0.089	0.105	0.063	0.085	0.114
Fenantren	0.538	0.816	0.707	0.446	0.652	0.856
Antracen	0.160	0.232	0.178	0.131	0.096	0.185
Fluoranten	1.111	2.728	1.580	1.199	1.923	1.876
Pyren	1.400	2.542	1.671	1.207	1.853	1.648
Krysen/Trifenylen	0.859	2.168	1.055	0.912	0.853	1.075
Benzo(a)antracen	0.744	2.307	0.979	0.793	0.651	1.025
Benzo(b,j,k)fluoranten	1.441	3.707	1.708	1.323	1.096	1.541
Benzo(a)pyren	0.922	3.111	1.178	0.799	0.781	1.101
Dibenzo(a,h)antracen	0.036	0.073	0.054	0.032	0.018	0.036
Indeno(1,2,3-c,d)pyren	0.577	2.032	0.751	0.509	0.472	0.662
Benzo(g,h,i)perylen	0.546	1.702	0.661	0.531	0.494	0.619

Resultattabell (forts)

	HC-7A	HC-8A	HC-9A	HC-10A	HC-11A	HC-12A
THC	2400	1100	1860	3300	3110	1250
NPD	7.88	9.30	9.05	7.75	8.86	8.71
Naftalen	0.256	0.515	0.553	0.168	0.159	0.357
Acenaftylen	0.019	0.068	0.046	0.017	0.016	0.018
Acenaften	0.037	0.104	0.059	0.038	0.043	0.055
Fluoren	0.078	0.180	0.172	0.081	0.103	0.103
Fenantren	0.494	0.954	0.974	0.426	0.917	0.735
Antracen	0.147	0.112	0.212	0.111	0.337	0.113
Fluoranten	1.296	1.522	2.031	1.035	1.945	1.261
Pyren	1.341	1.798	2.622	1.267	1.868	1.392
Krysen/Trifenylen	0.971	0.671	1.331	0.841	1.326	0.720
Benzo(a)antracen	0.867	0.473	0.834	0.602	1.145	0.443
Benzo(b,j,k)fluoranten	1.438	0.862	2.066	1.292	1.843	0.969
Benzo(a)pyren	1.037	0.606	1.076	0.829	1.293	0.674
Dibenzo(a,h)antracen	0.024	0.013	0.022	0.026	0.034	0.007
Indeno(1,2,3-c,d)pyren	0.728	0.344	0.721	0.530	0.734	0.400
Benzo(g,h,i)perylen	0.630	0.360	0.852	0.553	0.777	0.465

Resultattabell (forts)

	HC-13A	HC-14A	HC-15A	HC-16A	HC-17A	HC-18A
THC	1590	2910	2770	2040	2130	2640
NPD	8.21	8.37	6.86	16.2	6.77	6.03
Naftalen	0.307	0.527	0.434	0.249	0.230	0.224
Acenaftylen	0.027	0.046	0.024	0.011	0.017	0.021
Acenaften	0.063	0.048	0.044	0.070	0.036	0.048
Fluoren	0.129	0.162	0.126	0.235	0.098	0.085
Fenantren	0.535	0.697	0.582	0.303	0.472	0.610
Antracen	0.118	0.286	0.229	0.184	0.146	0.177
Fluoranten	0.945	1.033	0.991	1.184	0.850	0.962
Pyren	1.300	1.868	1.826	1.097	1.336	1.194
Krysen/Trifenylen	0.551	0.870	0.802	0.634	0.712	0.846
Benzo(a)antracen	0.367	0.659	0.508	0.452	0.604	0.667
Benzo(b,j,k)fluoranten	0.848	1.769	1.578	0.730	1.266	1.330
Benzo(a)pyren	0.531	1.179	1.009	0.453	0.735	0.878
Dibenzo(a,h)antracen	0.021	0.196	0.108	0.033	0.060	0.090
Indeno(1,2,3-c,d)pyren	0.348	1.063	0.839	0.313	0.560	0.968
Benzo(g,h,i)perylen	0.308	0.820	0.580	0.256	0.510	0.804

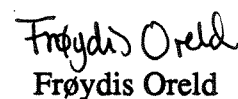
Resultattabell (forts)

	HC-19A	HC-20A	HC-21A	HC-22A	HC-23A	HC-24A	HC-25A
THC	570	1370	749	1180	2110	1700	827
NPD	7.88	8.32	31.6	11.6	12.6	4.14	7.48
Naftalen	0.077	0.146	0.721	0.246	0.638	0.075	0.121
Acenaftylen	0.151	0.020	0.197	0.025	0.025	0.004	0.015
Acenaften	0.076	0.048	0.203	0.117	0.094	0.039	0.040
Fluoren	0.245	0.097	0.644	0.152	0.201	0.061	0.073
Fenantren	0.751	0.559	4.711	1.063	1.122	0.498	0.457
Antracen	0.258	0.159	1.329	0.250	0.207	0.091	0.130
Fluoranten	1.138	1.210	8.847	2.187	1.423	0.930	1.012
Pyren	1.042	1.253	10.235	1.880	1.363	0.801	0.980
Krysen/Trifenylen	0.974	0.953	6.516	1.521	1.020	0.749	0.695
Benzo(a)antracen	1.000	0.870	6.943	1.418	0.960	0.770	0.626
Benzo(b,j,k)fluoranten	1.754	1.694	14.398	2.528	1.694	1.321	1.073
Benzo(a)pyren	1.170	1.100	9.260	1.621	1.087	0.943	0.624
Dibenzo(a,h)antracen	0.142	0.130	2.829	0.374	0.172	0.105	0.054
Indeno(1,2,3-c,d)pyren	1.020	0.801	12.880	1.209	0.858	0.604	0.420
Benzo(g,h,i)perylen	0.759	0.631	9.193	0.913	0.665	0.417	0.356

Prøver oppbevares på SINTEF SI i 6 måneder etter at oppdraget er utført om ikke annet avtales med oppdragsgiver. Analyseresultater rapportert i dette dokument er frembragt ved analyse av de anførte prøver i den stand de ble mottatt ved SINTEF SIs analyselaboratorium. Resultatene kan ikke uten videre betraktes som representative for andre deler av det materialet prøvene er tatt fra. SINTEF SI overtar intet ansvar for oppdragsgivers bruk av resultatene eller for konsekvenser av slik bruk. *Delvis* kopiering av denne rapport er ikke tillatt uten skriftlig samtykke fra SINTEF SI.

Med hilsen
SINTEF SI


Nina Gjøs


Frøydis Oreld

Vedlegg: Analysebetingelser for GC og GC/MS analysen
11 figurer

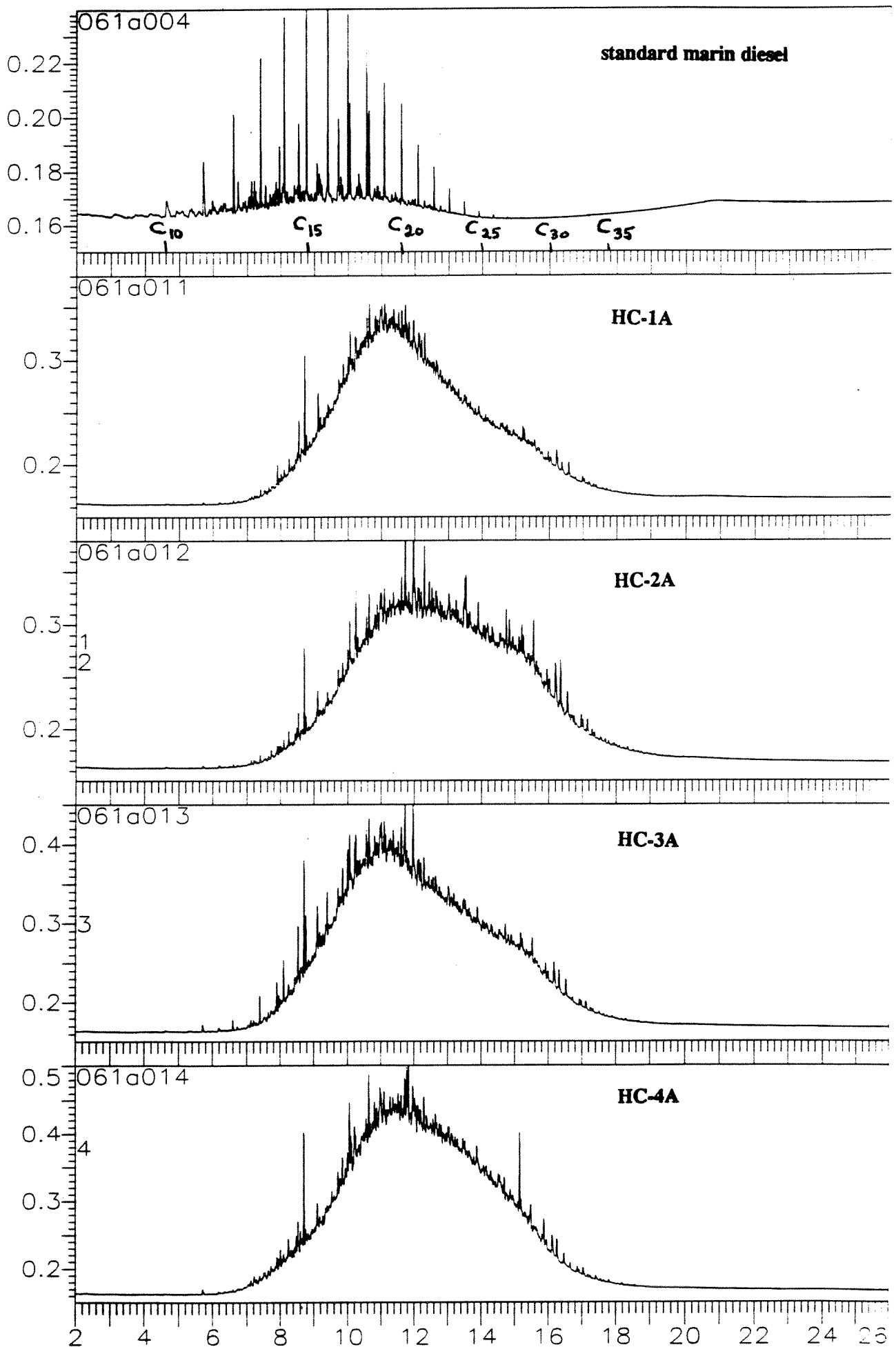
Analysebetingelser for GC :

Gasskromatograf : HP 5880 med autosampler HP 7673 A
 GC-kolonne : 12.5 m x 0.20 mm i.d. , fused silica crosslinked with dimethylsilicon
 Temperaturer
 Kolonne : 50°C (3 min) - 20°C/min - 350°C (10 min)
 Injektor : 280°C
 Detektor : 350°C
 Bæregass : Hydrogen
 Injisert volum : 1.0 µl splitless
 Data : Turbochrom 3

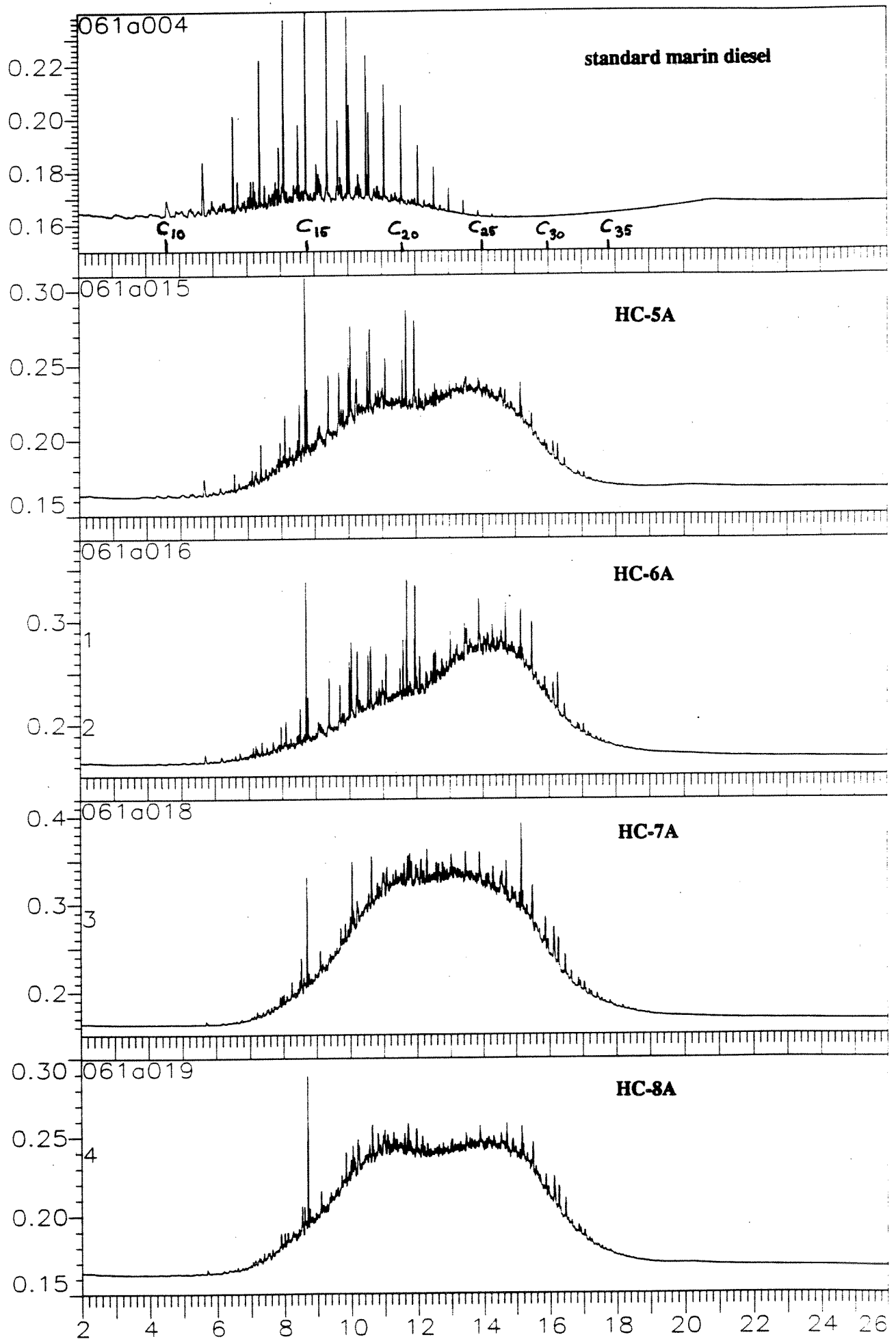
Analysebetingelser for GC/MS :

Gasskromatograf/massespektrometer : Finnigan 9610/4023
 Data system : Super Nova 4 x
 Kolonne : 30 m x 0.25mm, 0.25 µm DB-5 ms
 Temperaturer:
 Kolonne : 60°C (1 min) - 5°C/min - 300°C(10 min)
 Injektor : 250°C
 Ionekilde : 250°C
 Bæregass : Helium, 26 psi
 Ionisering : Electron impact, 70 eV
 Scan frekvens : 1 scan/0.8 sec
 Injeksjons volum : 1 µl
 Masser (m/z) C₀-C₃ naftalen : 128, 142, 156, 170
 C₀-C₃ fenantren : 178, 192, 206, 220
 C₀-C₃ dibenzotiofen : 184, 198, 212, 226
 Acenaftylen : 152
 Acenaften : 154
 Fluoren : 166
 4-6 ring aromater : 202,228, 252, 276

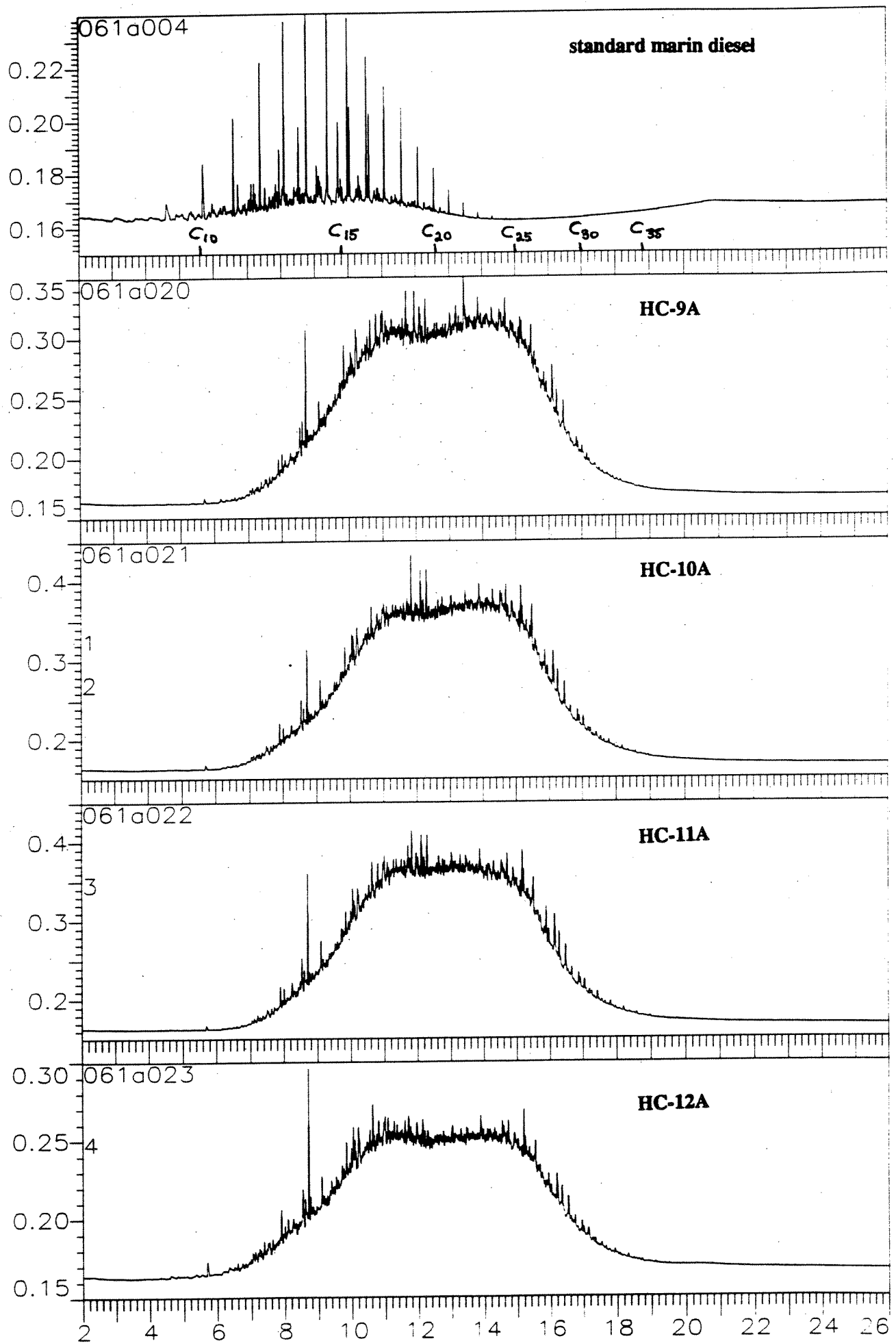
 Deutererte standarder : 164, 188, 212,
 Biomarkører : 191, 217, 218, 231, 253



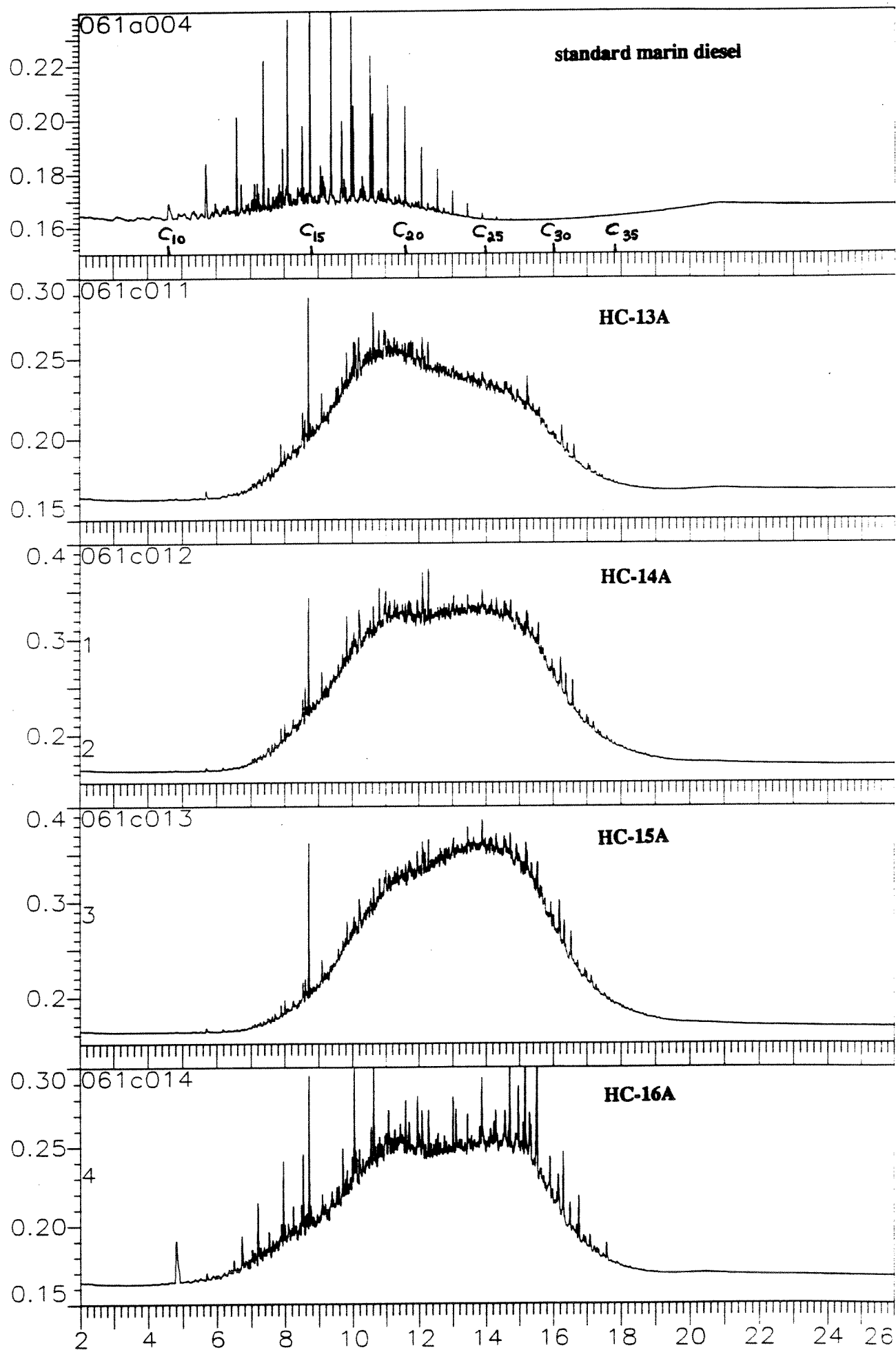
Figur 1: Gasskromatogram av prøvene 1A-4A



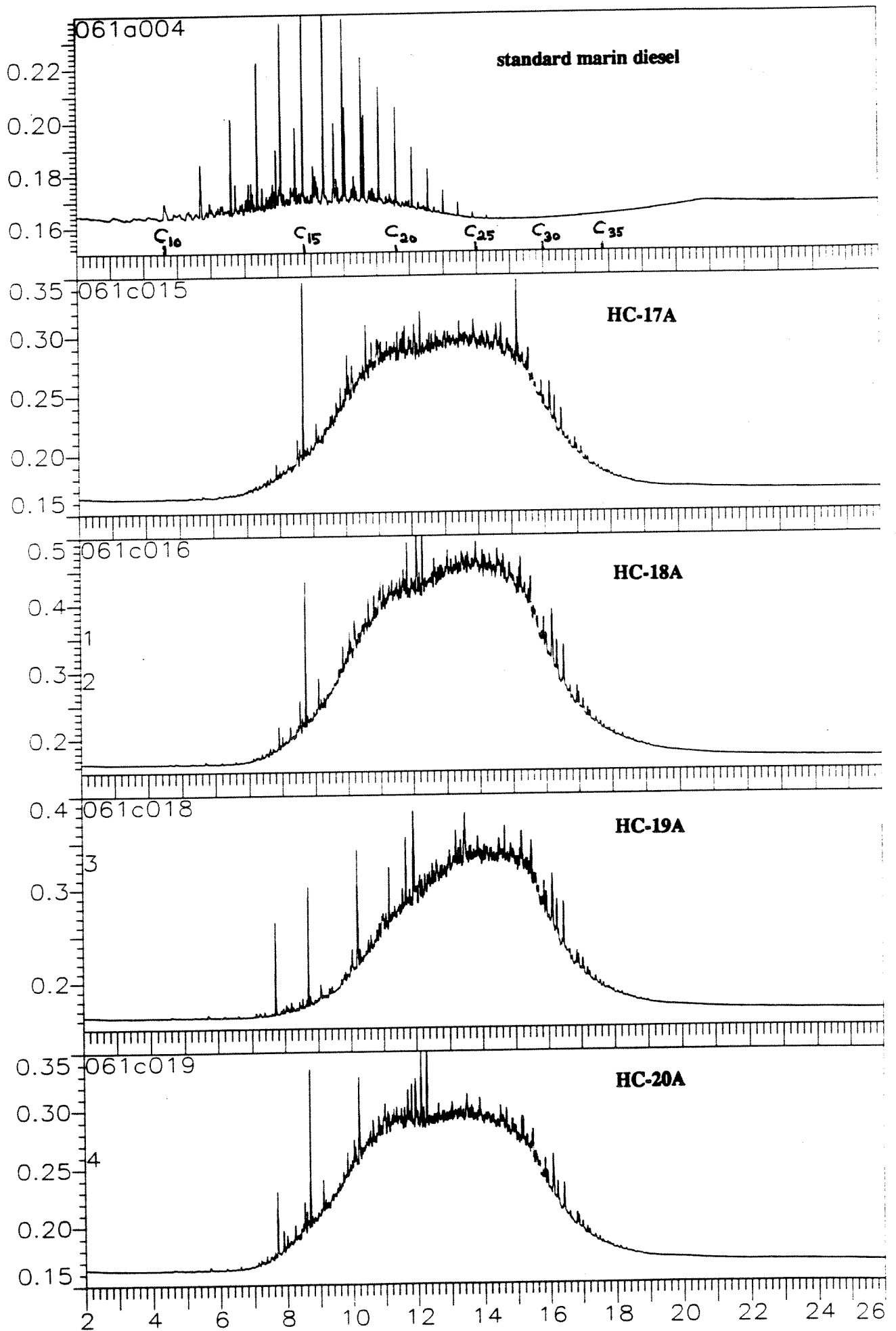
Figur 2: Gasskromatogram av prøvene 5A-8A



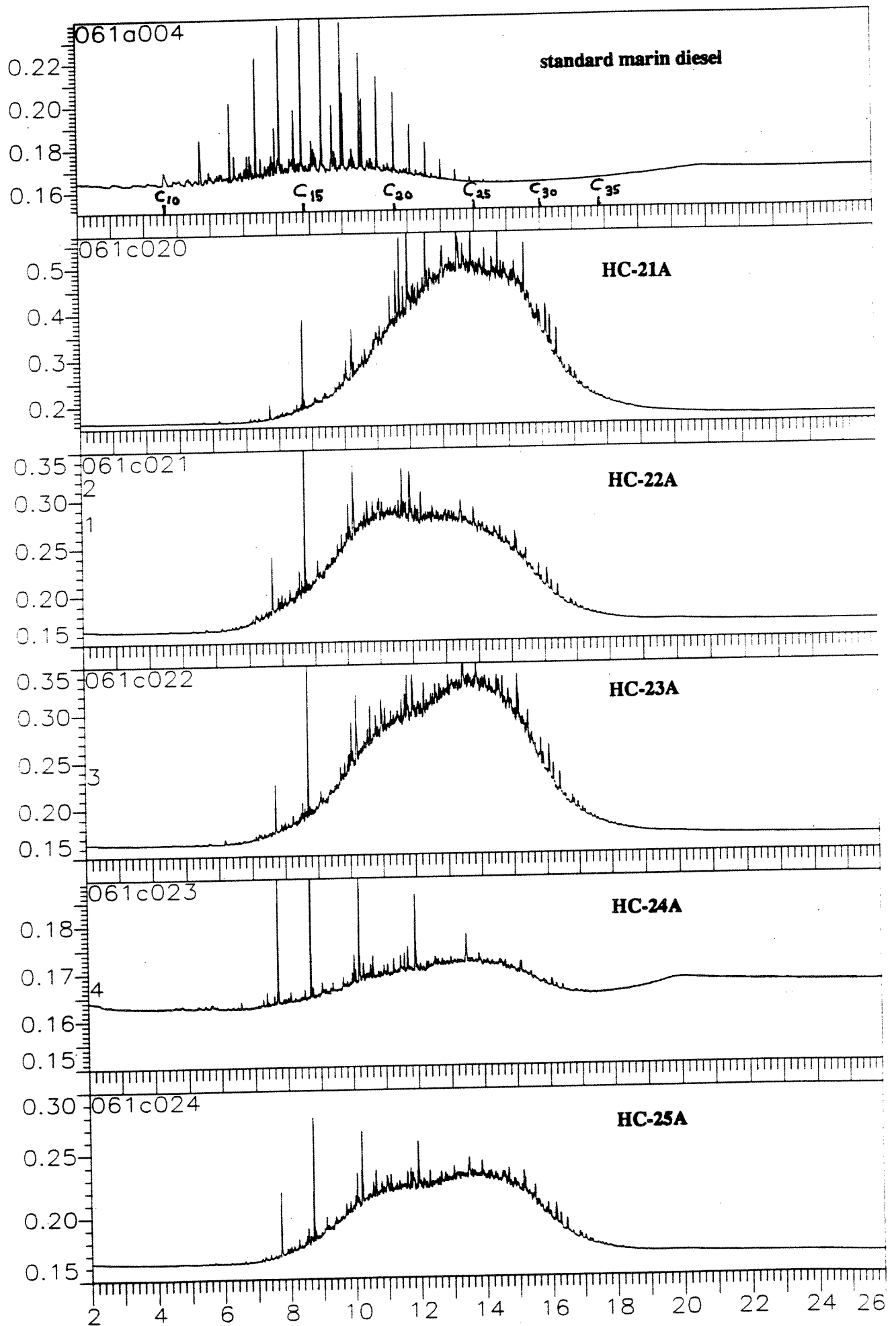
Figur 3: Gasskromatogram av prøvene 9A-12A



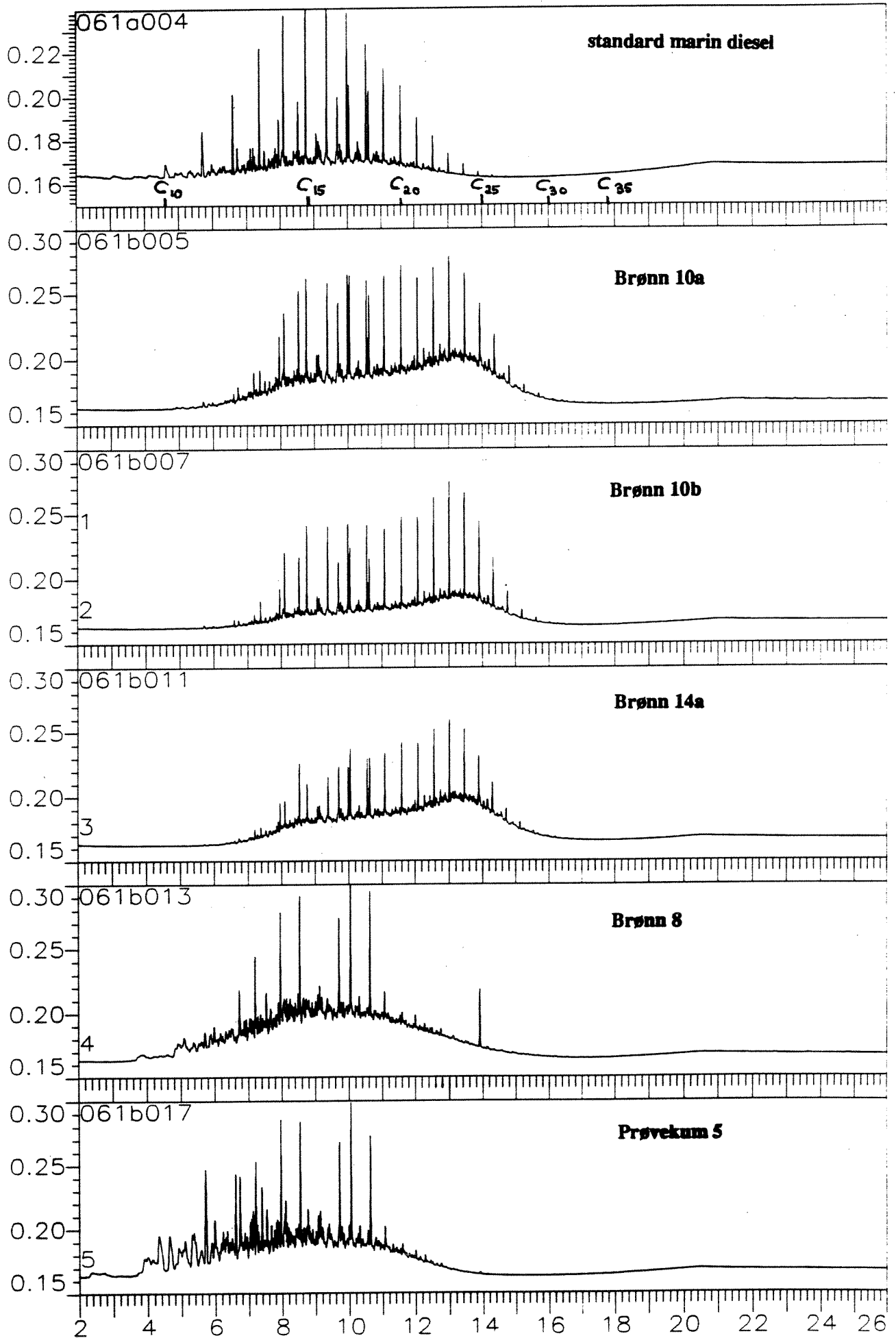
Figur 4: Gasskromatogram av prøvene 13A-16A



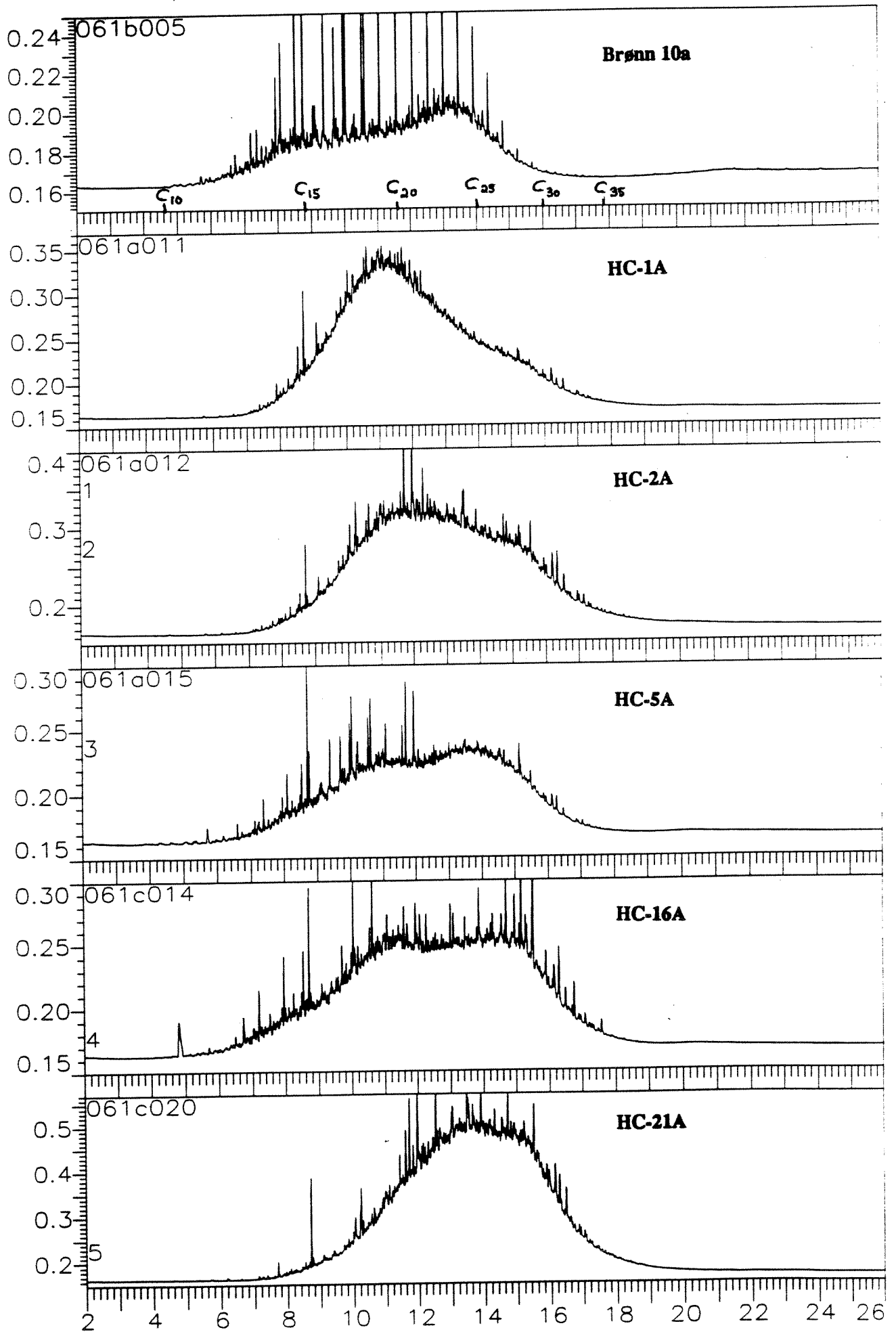
Figur 5: Gasskromatogram av prøvene 17A-20A



Figur 6: Gasskromatogram av prøvene 21A-25A



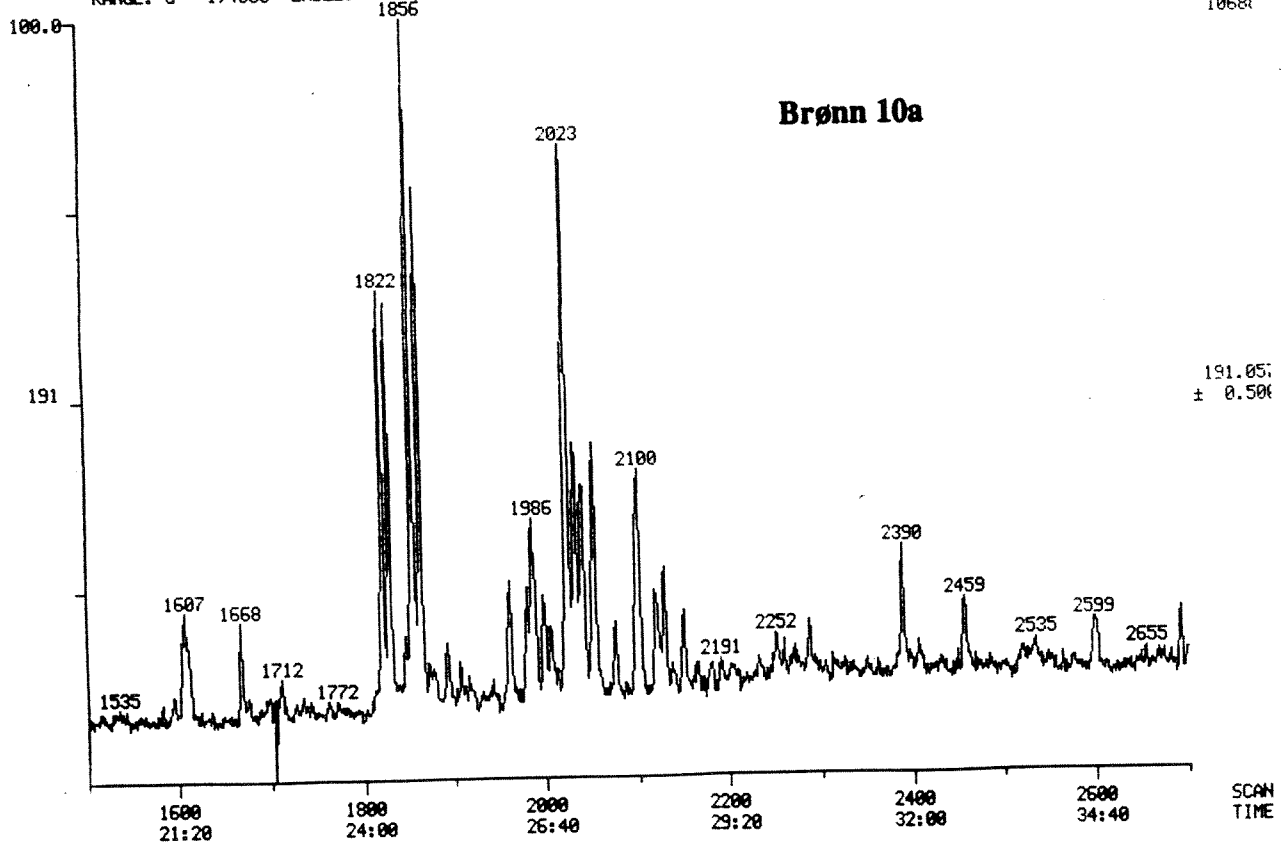
Figur 7: Gasskromatogram av kildeprøvene



Figur 8: Gasskromatogram av kildeprøve Brønn 10a og 5 utvalgte sedimentprøver

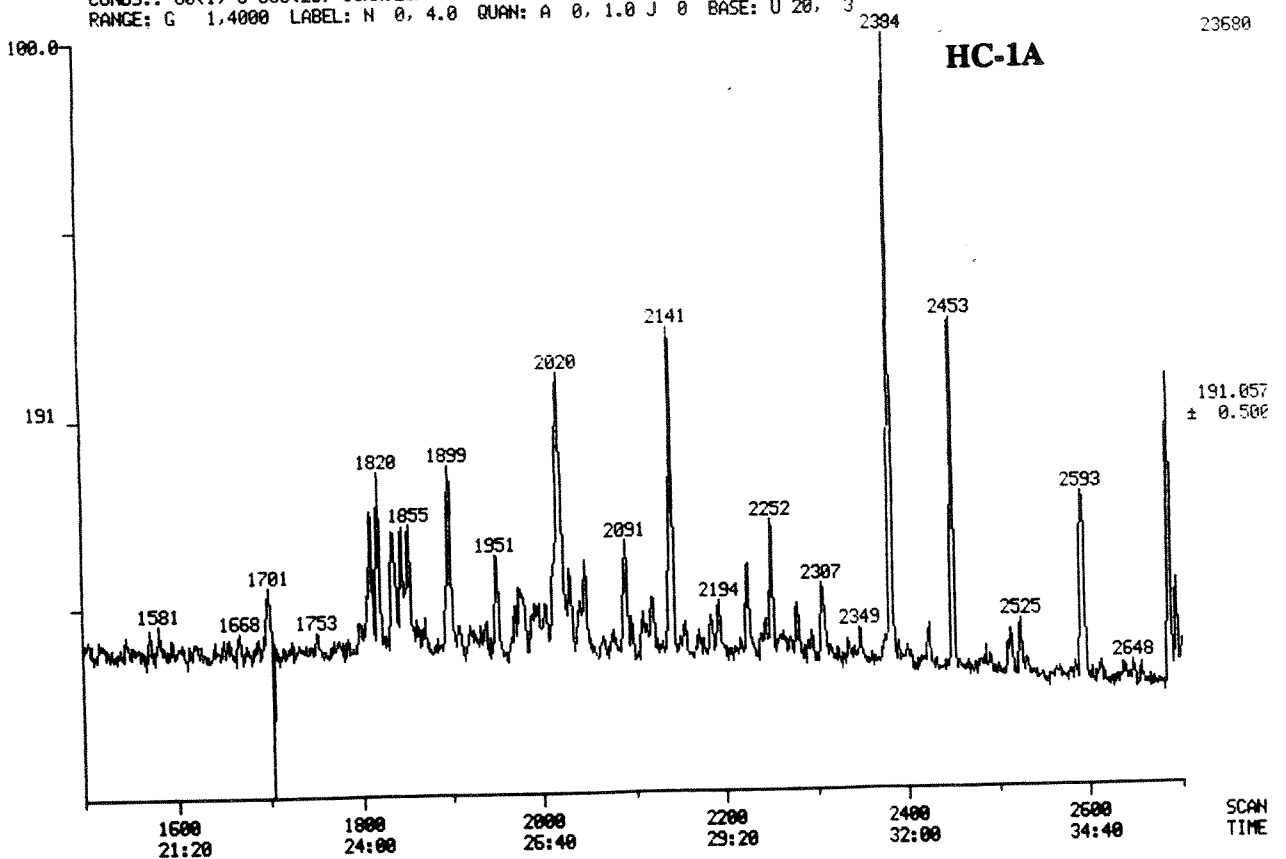
MIDMASS CHROMATOGRAM DATA: NIVAX10A #1181 SCANS 1500 TO 2700
 06/29/93 2:19:00 CALI: 4023 #1
 SAMPLE: 114406-061 NIVA SEDIMENTER, KILDEPROVER
 CONDS.: 60(1)-5-300(10), 30MX.25MM.,25UM DB-5
 RANGE: G 1.4000 LABEL: N 0, 4.0 QUAN: A 0, 1.0 J 0 BASE: U 20, 3

10681



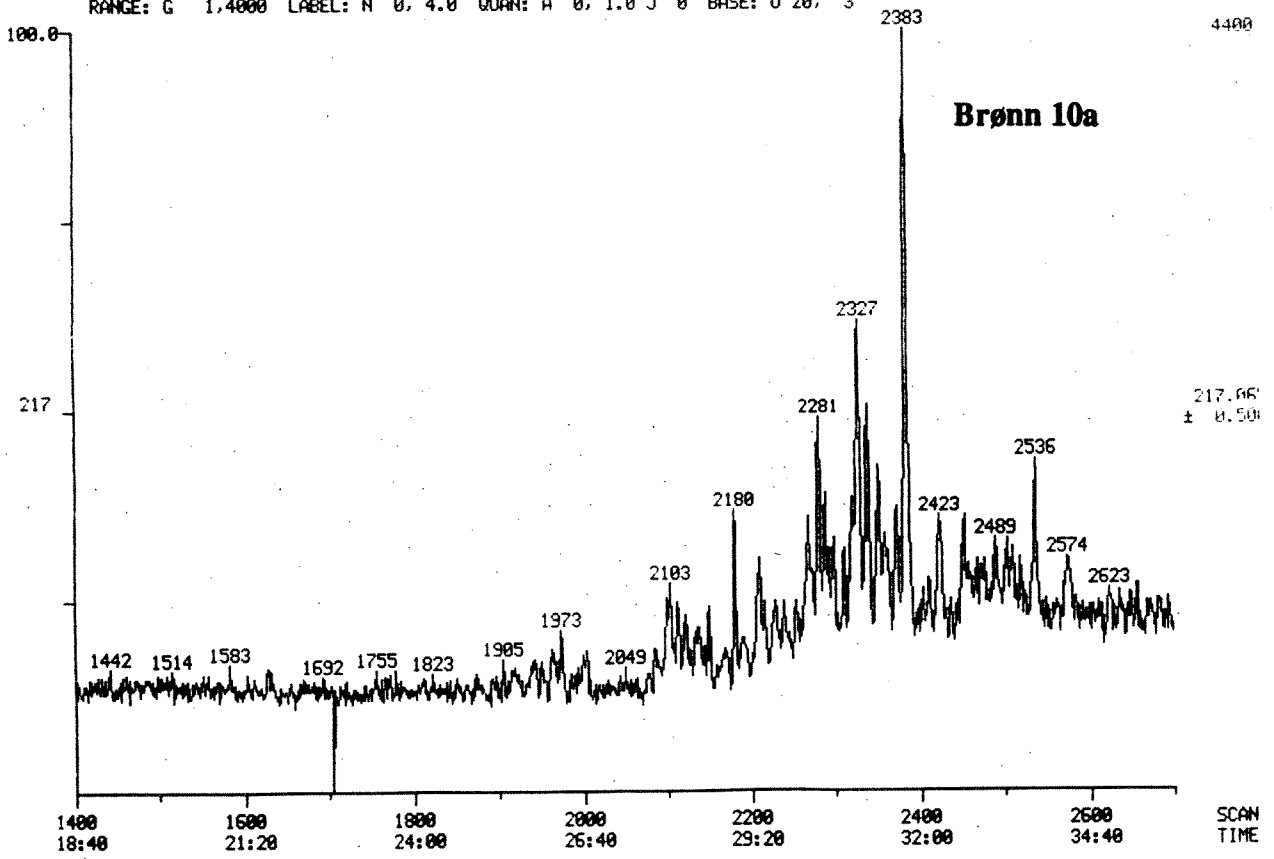
MIDMASS CHROMATOGRAM DATA: NIVAX1 #1181 SCANS 1500 TO 2700
 06/17/93 6:20:00 CALI: 4023 #1
 SAMPLE: 11114406-061 NIVA SEDIMENTER PAH,NPO,BIOMARKRER
 CONDS.: 60(1)-5-300(20) 30MX.25MM.,25UM DB-5MS
 RANGE: G 1.4000 LABEL: N 0, 4.0 QUAN: A 0, 1.0 J 0 BASE: U 20, 3

23680

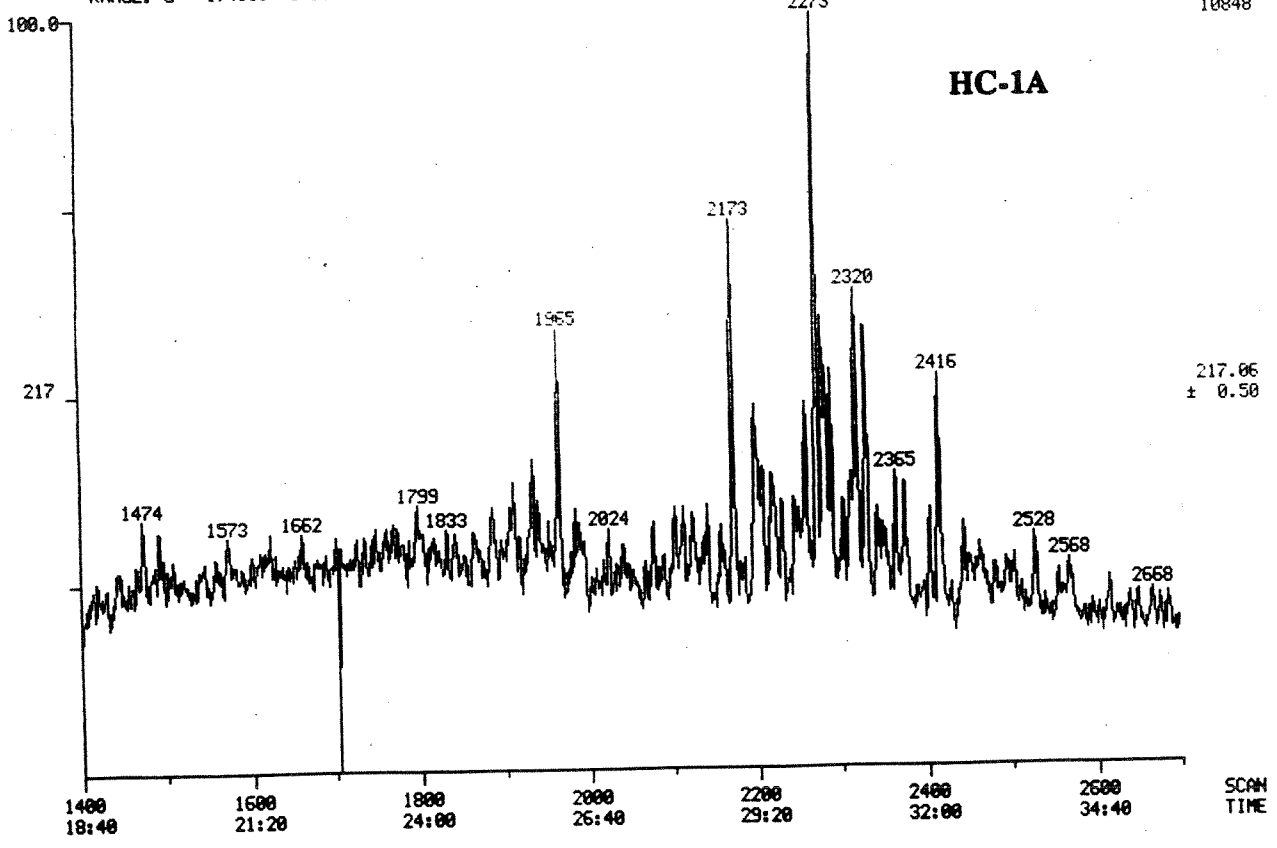


Figur 9: Ionestrømskromatogram av triterpaner (m/z 191)

MIDMASS CHROMATOGRAM DATA: NIUAX10A #1181 SCANS 1400 TO 2700
 06/29/93 2:19:00 CALI: 4023 #1
 SAMPLE: 114406-061 NIUA SEDIMENTER, KILDEPROVER
 CONDS.: 60(1)-5-300(10), 30MX.25MM, 25UM DB-5
 RANGE: G 1.4000 LABEL: N 0, 4.0 QUAN: A 0, 1.0 J 0 BASE: U 20, 3



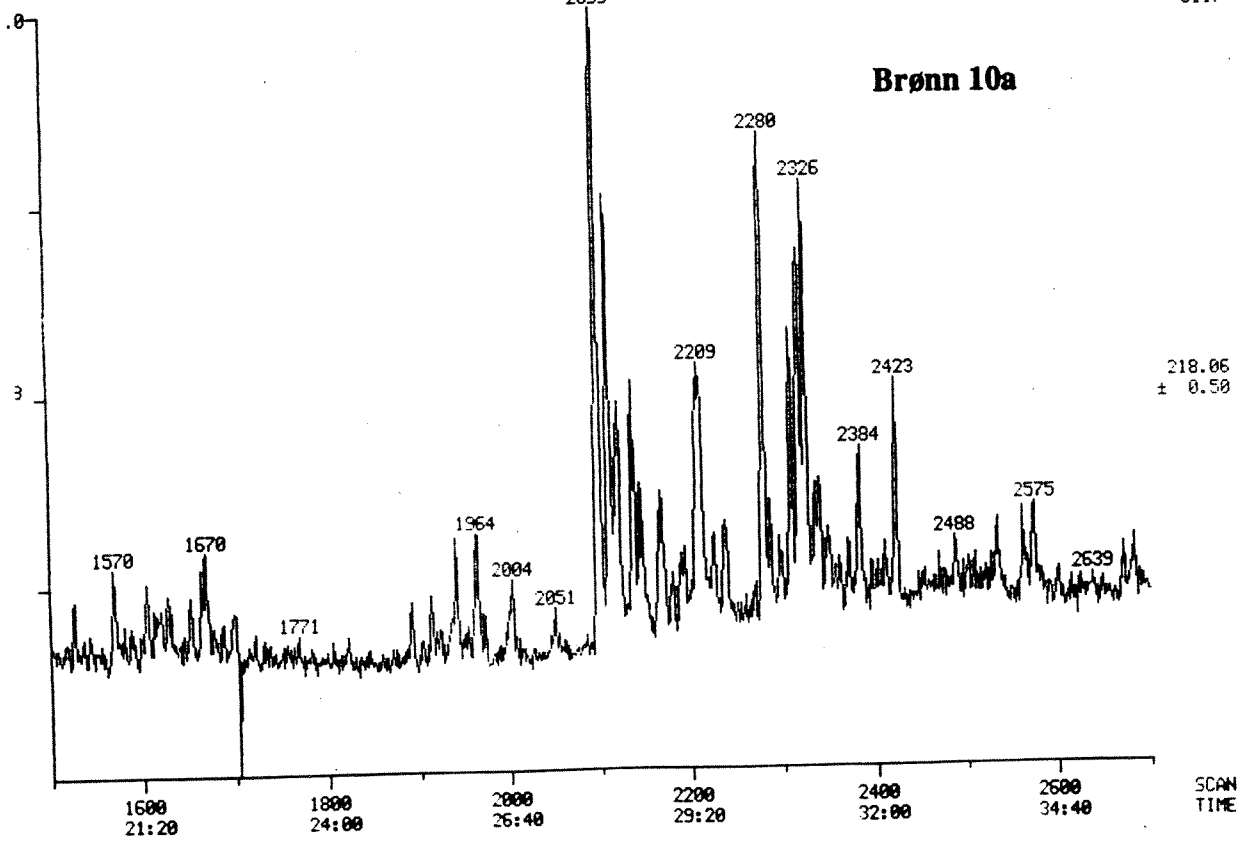
MIDMASS CHROMATOGRAM DATA: NIUAX1 #1181 SCANS 1400 TO 2700
 06/17/93 6:20:00 CALI: 4023 #1
 SAMPLE: 11114406-061 NIUA SEDIMENTER PAH,NPD,BIOMARKRER
 CONDS.: 60(1)-5-300(20) 30MX.25MM, 25UM DB-5MS
 RANGE: G 1.4000 LABEL: N 0, 4.0 QUAN: A 0, 1.0 J 0 BASE: U 20, 3



Figur 10: Ionestrømskromatogram av steraner (m/z 217)

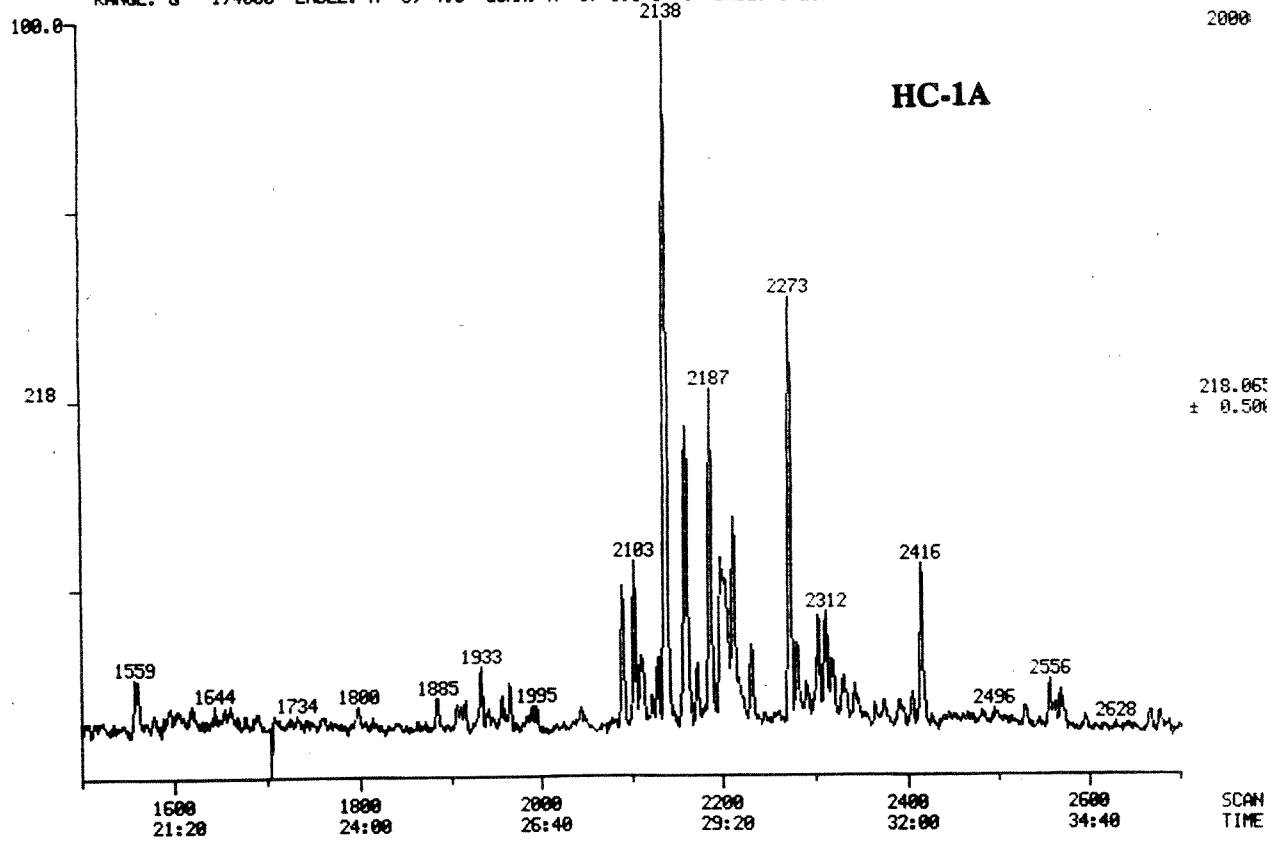
MIDMASS CHROMATOGRAM DATA: NIUAX10A #1181 SCANS 1500 TO 2700
 06/29/93 2:19:00 CALI: 4023 #1
 SAMPLE: 114406-061 NIUA SEDIMENTER, KILDEPROVER
 CONDS.: 60(1)-5-300(10), 30MX, 25MM, .25UM DB-5
 RANGE: G 1,4000 LABEL: N 0, 4.0 QUAN: A 0, 1.0 J 0 BASE: U 20, 3

3111



MIDMASS CHROMATOGRAM DATA: NIUAX1 #1181 SCANS 1500 TO 2700
 06/17/93 6:20:00 CALI: 4023 #1
 SAMPLE: 11114406-061 NIUA SEDIMENTER PAH,NPD,BIOMARKRER
 CONDS.: 60(1)-5-300(20) 30MX, 25MM, .25UM DB-5MS
 RANGE: G 1,4000 LABEL: N 0, 4.0 QUAN: A 0, 1.0 J 0 BASE: U 20, 3

2000



Figur 11: Ionestrømskromatogram av steraner (m/z 218)



NIVA
Postboks 69 Korsvoll
0808 Oslo

Att.: Roger Konieczny

Rapport

Deres ref.:
RMK

Vår ref.:
FOR/270090.10

Direkte innvalg:
22067632

Oslo,
1994-02-04

Oppdragets tittel:

Oljeanalyse av sedimenter fra Sjursøya

Oppdrag nr.:
270090.10
Prøveserie:
1993-181

Sammendrag

Fem kildeprøver tatt på Sjursøya er analysert for THC, utvalgte aromatiske enkeltkomponenter og biomarkører (Fase II). De fem kildeprøvene tatt på Sjursøya i juni 1993 (Fase I) er analysert på nytt for utvalgte aromatiske enkeltkomponenter. En %-kvantifisering av ti utvalgte biomarkører er utført for samtlige ti kildeprøver (Fase I og II), og for de 25 sedimentprøvene fra Sjursøya som tidligere er analysert for THC, utvalgte aromatiske enkeltkomponenter og biomarkører. (Fase I).

Innledning

Prøvene som rapporteres her utgjør Fase II i prosjektet "Oljeanalyse av sedimenter fra Sjursøya" (ref: bestillingsbrev fra NIVA datert 12. november 1993 og rapport fra SINTEF, 114406-061 datert 1993-08-17). Fase II omfatter GC/MS analyse av utvalgte aromatiske enkeltforbindelser (NPD/PAH) av de 5 kildeprøvene fra Fase I (beskrevet i SINTEF rapport 114406-61), samt THC, aromatiske enkelt forbindelser og biomarkører i 10 supplerende kildeprøver mottatt på SINTEF i Oslo 11/11 1993.

SINTEF

Adresse/Address:
Postboks 124 Blindern
N-0314 Oslo 3, NORWAY

Besøksadresse/Location:
Forskningsveien 1

Telefon/Telephone:
+47 22 06 73 00

Telefax:
+47 22 06 73 50

Telex:
71 536 SI N

Enterprise nr.: 948007029

Prøvebeskrivelse

Nr.	Prøvenavn:	Prøvebeskrivelse:
1	Hull 3 9/11-93	olje/mudder ca. 2 cm lag over vannprøven, lukter fyringsolje
2	Hull 11 8/11-93	blank, klar prøve
3	Hull NGI 12 9/11-93	blank, klar prøve
4	Hull NGI 13 9/11-93	matt prøve m. noe sort bunnfall
5	Hull NGI 14 9/11-93	blank, klar prøve
6	Hull 20 8/11-93	oljeprøve, lukter diesel
7	Hull 21 8/11-93	blank, nesten klar prøve m. noe bunnfall, diesellukt
8	Hull 26 8/11-93	matt, fargeløs prøve, tjærelukt
9	Hull 27 8/11-93	fargeløs, klar prøve
10	Hull 28 8/11-93	matt, fargeløs prøve, lukter litt brent olje

Eksperimentelt

Prøvene merket Hull 3 og Hull 20 bestod av fri oljefase. Oljen ble tørket med natriumsulfat, en aliquot av oljen ble veid og løst i diklormetan og intern standard ble tilsatt.

De øvrige prøvene uten fri oljefase ble tilsatt intern standard og ekstrahert med diklormetan. Diklormetanekestraktene ble tørket med natriumsulfat og konsentrert til et passende volum og analysert.

Prøvene ble først analysert med gasskromatografi (GC) og deretter med koplet gasskromatografi/massespektrometri (GC/MS).

Gasskromatografi benyttes til å bestemme prøvens innhold av hydrokarboner. GC-analysen gir også et GC-kromatogram som viser et "fingeravtrykk" av hydrokarbonene. Dette kan benyttes til identifikasjon av hva slags olje som foreligger.

De utvalgte aromatiske enkelt forbindelsene bestemmes vha. datastyrt gasskromatografi/massespektrometri (GC/MS) og registrering av enkeltioner (MID). Følgende forbindelser er bestemt: naftalen, fenantren/ antracen, dibenzotiofen og deres C₁-, C₂- og C₃-alkylerte derivater (sum NPD), naftalen, acenaftylen, acenaften, fluoren, fenantren, antracen, fluoranten, pyren, krysen/trifenylen, benzo(a)antracen, benzo(b,j,k)fluoranten, benzo(a)pyren, dibenzo(a,h)antracen, indeno(1,2,3-c,d)pyren og benzo(g,h,i)perylene. I tillegg ble steraner og triterpaner bestemt. Disse forbindelsene er såkalte biomarkører og benyttes for sporing av oljeforurensning. Forbindelsene (med unntak av biomarkørene) kvantifiseres ved integrering av molekylionene. Verdiene blir korrigert for forskjeller i ekstraksjonsutbytte, flyktighet og GC/MS respons mellom forbindelsen og den interne standarden ved bruk av responsfaktorkurver på flere nivåer. Følgende deutererte interne standarder er brukt: bifenyld₁₀, fenantren d-₁₀ og pyren d-₁₀.

Noen få utvalgte komponenter (fem fra ionestrømskromatogrammene av triterpanene, m/z 191 og fem fra ionestrømskromatogrammene av steranene, m/z 217 og m/z 218) er valgt ut til å representere en relativ kvantifisering av biomarkørene. For hver prøve er arealet av de ti utvalgte komponentene lagt sammen og summen er satt til 100%. Den relative sammensetningen av de ti enkeltkomponentene er så regnet ut i forhold til totalsummen.

De ti komponentene er de samme som er valgt ut til EUROCRUDE Intercalibration Exercise. (Et europeisk samarbeidsprosjekt om oljeidentifikasjon)

Resultat og diskusjon

Det ble påvist hydrokarboner i fem av de ti analyserte kildeprøvene fra Fase II. GC-kromatogrammene av de fem prøvene er gjengitt i figur 1. Eksempler på ionestrømskromatogram som inneholder de ti utvalgte biomarkørene triterpaner og steraner er gjengitt i figurene 2 og 3. Analysebetingelsene for GC og GC/MS er gitt i vedlegg 1.

Resultatet fra GC analysen viser at oljeprøven fra Hull 3 har en hydrokarbonprofil som ligner på kildeprøvene Brønn 10a, Brønn 10b og Brønn 14a (Fase II). Hydrokarbonene er i kokepunktområdet ca. n-C₁₂ til n-C₃₀ alkan (215°-450°C). Kromatogrammet viser også at prøven har vært utsatt for en viss grad av nedbrytning. Hydrokarbonprofilen kan være av typen bunkersolje. Oljeprøven fra Hull 20 har en hydrokarbonprofil i kokepunktområdet ca n-C₁₀ til n-C₂₂ alkan (170°-370°C) og ligner mest på kildeprøven Prøvekum 5 (Fase I). Kromatogrammet viser en nedbrutt oljeprøve som kan være av typen diesel. Kildeprøvene Hull 21, Hull 26 og Hull 28 var vannprøver uten fri oljefase. Disse tre prøvene inneholder hydrokarboner i kokepunktområdet ca n-C₁₀ til n-C₂₂ alkan (170°-370°C). Hydrokarbonprofilen i prøve Hull 21 er typisk for en svært degradert diesel. Denne hydrokarbonprofilen ligner på kildeprøve Brønn 8 (Fase II). Prøvene Hull 26 og Hull 28 mangler det karakteristiske alkanmønsteret som er typisk for mineraloljer. Det kan derfor ikke gis noen nærmere karakteristikk av disse oljene annet enn at de mest sannsynlig har vært utsatt for en betydelig grad av nedbrytning.

Det ble ikke påvist hydrokarboner i de øvrige 5 kildeprøvene fra Fase II.

Resultatet fra GC/MS analysen av de utvalgte aromatene i de fem kildeprøvene fra Fase I og de fem kildeprøvene fra Fase II er gitt i tabell 1. Resultatene er oppgitt i mg/kg olje (ppm). I de kildeprøvene som ikke hadde fri oljefase (hvor oljemengden ikke kunne veies) er mengden olje beregnet ut i fra THC analysen. Som standard for disse beregningene er kildeprøver med kjent oljemengde benyttet. Som standard for prøvene Hull 21, Hull 26 og Hull 28 er oljeprøven Hull 20 benyttet (Fase II). Som standard for prøvekum 5 er oljeprøven Brønn 8 benyttet (Fase I).

Resultatet av den relative sammensetningen av de ti utvalgte triterpanene og steranene i de fem kildeprøvene fra Fase I og de fem kildeprøvene fra Fase II er gitt i tabell 2. Tilsvarende resultater for de 25 sedimentprøvene fra Sjursøya er gitt i tabell 3. Dersom denne prosent sammensetningen viser likhet mellom noen av prøvene og kildeprøvene er det viktig i tillegg å kontrollere alle ionestrømskromatogrammene mot hverandre (visuell mønstergjenkjenning).

Konklusjonen fra den visuelle kontrollen av ionestrømskromatogrammene fra GC/MS analysen av biomarkørene triterpaner og steraner viser få likhetspunkter mellom sedimentprøvene og de fem kildeprøvene fra Fase II. Ingen av kildeprøvene fra Fase II er like. Det er funnet en del likhetspunkter mellom kildeprøvene fra Fase I og kildeprøverne fra Fase II, men ingen er helt like. Dersom hydrokarbonene som er påvist i sedimentprøvene fra Sjursøya er blandinger fra

flere ulike kilder vil det være svært vanskelig å plukke ut kildene ved å sammenligne ionestrømskromatogrammene visuelt.

Tabell 1. Utvalgte aromater fra kildeprøvene Sjursøya Fase I og Fase II, mg/kg olje

	Brønn 10 A	Brønn 10 B	Brønn 14 A	Brønn 8	Prøvekum 5
NPD	8790	9660	3950	12400	16900
Naftalen	12.9	21.2	i.p.	36.0	645
Acenaftylen	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.
Acenaften	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.
Fluoren	34.8	46.9	7.1	49.6	68.7
Fenantren	144	174	13.7	94.3	111
Antracen	i.p.	0.27	i.p.	i.p.	i.p.
Fluoranten	9.9	9.1	4.1	15.5	14.7
Pyren	71.4	59.8	60.2	103	24.7
Krysen/Trifenylen	138	104	71.6	74.9	10.6
Benzo(a)antracen	48.2	31.8	23.0	49.1	9.2
Benzo(b,j,k)fluoranten	19.7	18.3	11.9	8.7	5.3
Benzo(a)pyren	16.2	12.9	9.2	4.8	i.p.
Dibenzo(a,h)antracen	38.9	26.1	i.p.	i.p.	i.p.
Indeno(1,2,3-c,d)pyren	9.5	2.4	i.p.	i.p.	i.p.
Benzo(g,h,i)perylene	9.9	4.5	3.8	1.5	i.p.

Tabell 1 (forts.)

	Hull 3	Hull 20	Hull 21	Hull 26	Hull.28
NPD	1210	23500	6830	2990	4930
Naftalen	i.p.	440	7.8	21.8	78.1
Acenaftylen	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.
Acenaften	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.
Fluoren	i. p	134	12.1	i.p.	i.p.
Fenantren	4.7	293	31.4	6.4	31.7
Antracen	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.
Fluoranten	2.7	10.7	13.3	16.6	16.5
Pyren	21.1	40.2	48.9	65.9	37.0
Krysen/Trifenylen	50.3	21.1	14.7	40.6	27.0
Benzo(a)antracen	26.7	23.3	8.1	21.7	11.8
Benzo(b,j,k)fluoranten	115	69.4	42.1	37.5	18.8
Benzo(a)pyren	101	56.6	26.5	31.5	10.6
Dibenzo(a,h)antracen	174	174	75.4	93.0	43.7
Indeno(1,2,3-c,d)pyren	118	67.7	40.9	38.1	14.8
Benzo(g,h,i)perylene	98.9	46.9	27.4	26.0	14.4

Tabell 2 Relativ sammensetning av utvalgte triterpaner og steraner i kildeprøver fra Fase I og Fase II

Nr	m/z	Brønn 10 A	Brønn 10 B	Brønn 14 A	Brønn 8	Prøvekum 5
1	191	4.6 (4.1)	4.9 (5.3)	4.5 (4.4)	5.4 (5.9)	8.7 (5.2)
2	191	6.5 (6.0)	6.2 (6.1)	5.8 (6.2)	7.1 (8.0)	8.0 (11.6)
3	191	1.5 (3.2)	2.2 (1.2)	1.4 (0.9)	1.3 (0.9)	1.0 (1.1)
4	191	21.7 (27.3)	18.9 (22.7)	19.3 (22.3)	29.2 (30.6)	26.0 (27.3)
5	191	20.5 (27.0)	18.7 (22.3)	18.8 (21.5)	24.6 (27.5)	27.1 (28.6)
6	217	7.1 (4.4)	9.6 (8.8)	7.6 (6.1)	3.9 (3.5)	3.2 (3.1)
7	217	5.4 (2.8)	5.9 (5.0)	4.5 (4.2)	2.4 (1.8)	1.8 (2.1)
8	218	12.6 (9.1)	14.5 (11.8)	14.8 (12.6)	11.5 (8.3)	9.8 (6.9)
9	218	9.3 (6.4)	8.7 (8.0)	10.5 (10.0)	6.2 (5.2)	7.2(7.1)
10	218	10.8 (9.4)	10.4 (9.1)	12.7 (12.1)	8.5 (8.3)	7.3 (7.2)

For disse kildeprøvene fra Fase I er det oppgitt to måleresultater. Det ene måleresultatet er det som ble funnet da kildeprøven fra Fase I ble analysert på nytt samtidig med kildeprøvene fra Fase II. Tallet i parentes er det resultatet som ble funnet da disse kildeprøvene ble analysert samtidig med de 25 sedimentprøvene fra Sjursøya (Fase I).

Tabell 2 (forts.)

Nr	m/z	Hull 3	Hull 20	Hull 21	Hull 26	Hull.28
1	191	7.1	6.2	11.2	5.4	5.7
2	191	9.0	8.6	7.6	9.4	9.4
3	191	4.4	4.5	2.9	0.8	2.5
4	191	21.3	31.5	19.2	24.2	31.4
5	191	16.7	20.4	18.1	29.2	24.8
6	217	6.9	6.6	9.1	2.9	2.3
7	217	4.4	3.7	6.0	1.9	2.1
8	218	11.7	8.6	11.5	9.8	6.4
9	218	8.1	5.2	7.2	7.3	7.4
10	218	10.4	4.9	7.3	9.2	8.1

Tabell 3 Relativ sammensetning av utvalgte triterpaner og steraner i sedimentprøver fra Sjursøya Fase II

Nr	m/z	HC-1A	HC-2A	HC-3A	HC-4A	HC-5A	HC-6A
1	191	5.9	5.4	6.3	6.9	6.6	0.7
2	191	8.5	8.0	8.9	8.1	8.4	8.1
3	191	0.7	0.5	1.0	0.7	0.6	0.2
4	191	32.5	32.4	32.2	30.5	31.0	33.1
5	191	29.1	30.4	30.4	25.5	25.0	29.9
6	217	1.8	1.5	1.6	3.1	2.5	1.8
7	217	1.1	0.9	1.0	2.0	1.4	1.1
8	218	5.7	4.8	5.3	8.0	8.4	7.8
9	218	6.0	6.1	5.3	6.3	6.4	6.9
10	218	8.7	10.0	8.1	9.0	9.8	10.5

Tabell 3 (forts.)

Nr	m/z	HC-7A	HC-8A	HC-9A	HC-10A	HC-11A	HC-12A
1	191	5.9	6.3	5.6	6.6	5.9	5.6
2	191	7.6	9.2	8.8	7.9	7.5	8.7
3	191	0.9	1.3	1.2	0.9	0.8	1.2
4	191	31.0	30.9	30.7	31.7	31.8	30.8
5	191	27.8	29.1	30.2	28.8	29.-3	30.5
6	217	2.4	2.1	1.8	2.3	1.9	2.1
7	217	1.6	1.5	1.2	1.6	1.2	1.3
8	218	7.0	7.0	6.9	7.0	6.5	6.6
9	218	6.4	5.8	6.0	5.6	6.1	6.1
10	218	9.5	7.0	7.6	7.6	9.1	7.1

Tabell 3 (forts.)

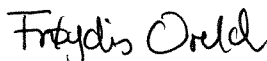
Nr	m/z	HC-13A	HC-14A	HC-15A	HC-16A	HC-17A	HC-18A
1	191	6.2	5.4	5.1	6.7	6.5	5.8
2	191	8.5	8.5	8.5	7.9	7.9	7.6
3	191	1.2	1.2	1.4	0.9	0.9	0.8
4	191	31.9	29.5	29.3	30.4	31.4	31.1
5	191	29.5	29.7	30.9	28.2	31.2	31.7
6	217	2.2	2.0	2.1	2.2	1.9	1.7
7	217	1.4	1.4	1.4	1.5	1.3	1.2
8	218	7.0	7.7	7.1	8.5	6.6	6.0
9	218	5.5	6.9	6.5	6.2	5.1	5.8
10	218	6.8	7.7	7.5	7.7	7.2	8.3


Tabell 3 (forts.)

Nr	m/z	HC-19A	HC-20A	HC-21A	HC-22A	HC-23A	HC-24A	HC-25A
1	191	5.8	6.5	5.1	6.3	6.1	6.9	6.2
2	191	7.8	8.3	7.3	8.5	8.3	8.8	7.8
3	191	0.7	0.8	0.8	0.6	0.7	0.7	0.5
4	191	28.0	31.4	21.7	30.3	29.3	30.9	30.9
5	191	31.3	28.1	31.6	26.5	26.6	26.4	26.9
6	217	1.9	2.0	2.1	2.7	2.9	3.1	2.4
7	217	1.2	1.3	1.4	1.8	2.2	1.2	1.6
8	218	6.8	6.9	9.2	7.9	8.5	7.7	7.6
9	218	7.7	6.6	10.1	6.4	6.8	6.1	6.3
10	218	8.8	8.4	10.8	9.0	8.7	8.3	9.7

Prøver oppbevares på SINTEF Industriell kjemi i 6 måneder etter at oppdraget er utført om ikke annet avtales med oppdragsgiver. Analyseresultater rapportert i dette dokument er frembragt ved analyse av de anførte prøver i den stand de ble mottatt ved SINTEFs analyselaboratorium. SINTEF tar intet ansvar for oppdragsgivers bruk av resultatene eller for konsekvenser av slik bruk. Delvis kopiering av denne rapport er ikke tillatt uten skriftlig samtykke fra SINTEF.

Med hilsen
SINTEF Industriell kjemi


Frøydís Oreld
Prosjektleder


Arne Lund Kvernheim
Laboratorieleder

Vedlegg: Analysebetingelser for GC og GC/MS analysen
3 figurer

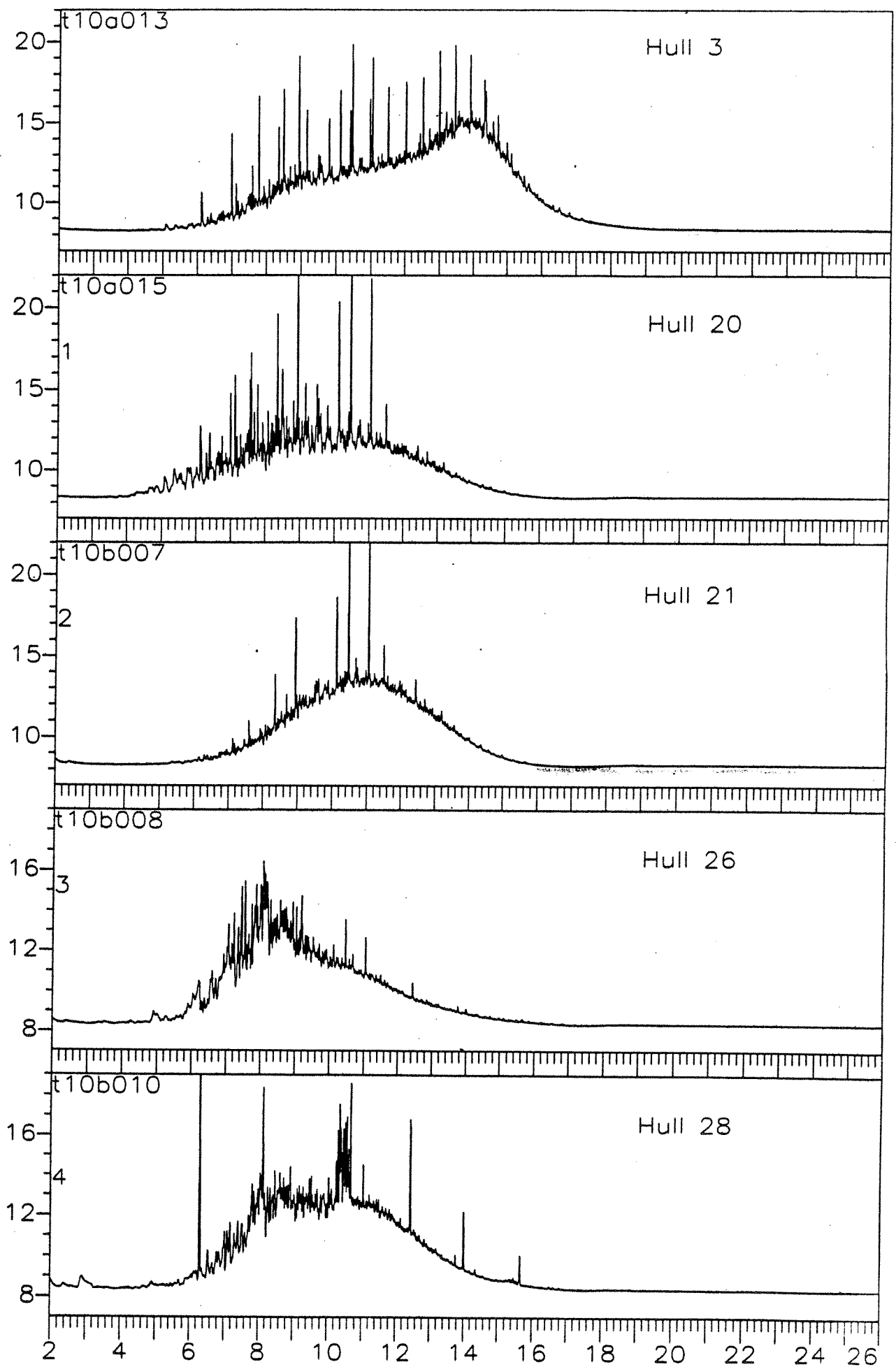
Analysebetingelser for GC :

Gasskromatograf : HP 5880 med autosampler HP 7673 A
 GC-kolonne : 12.5 m x 0.20 mm i.d. , fused silica crosslinked with dimethylsilicon
 Temperaturer
 Kolonne : 50°C (3 min) - 20°C/min - 350°C (10 min)
 Injektor : 280°C
 Detektor : 350°C
 Bæregass : Hydrogen
 Injisert volum : 1.0 µl splitless
 Data : Turbochrom 3

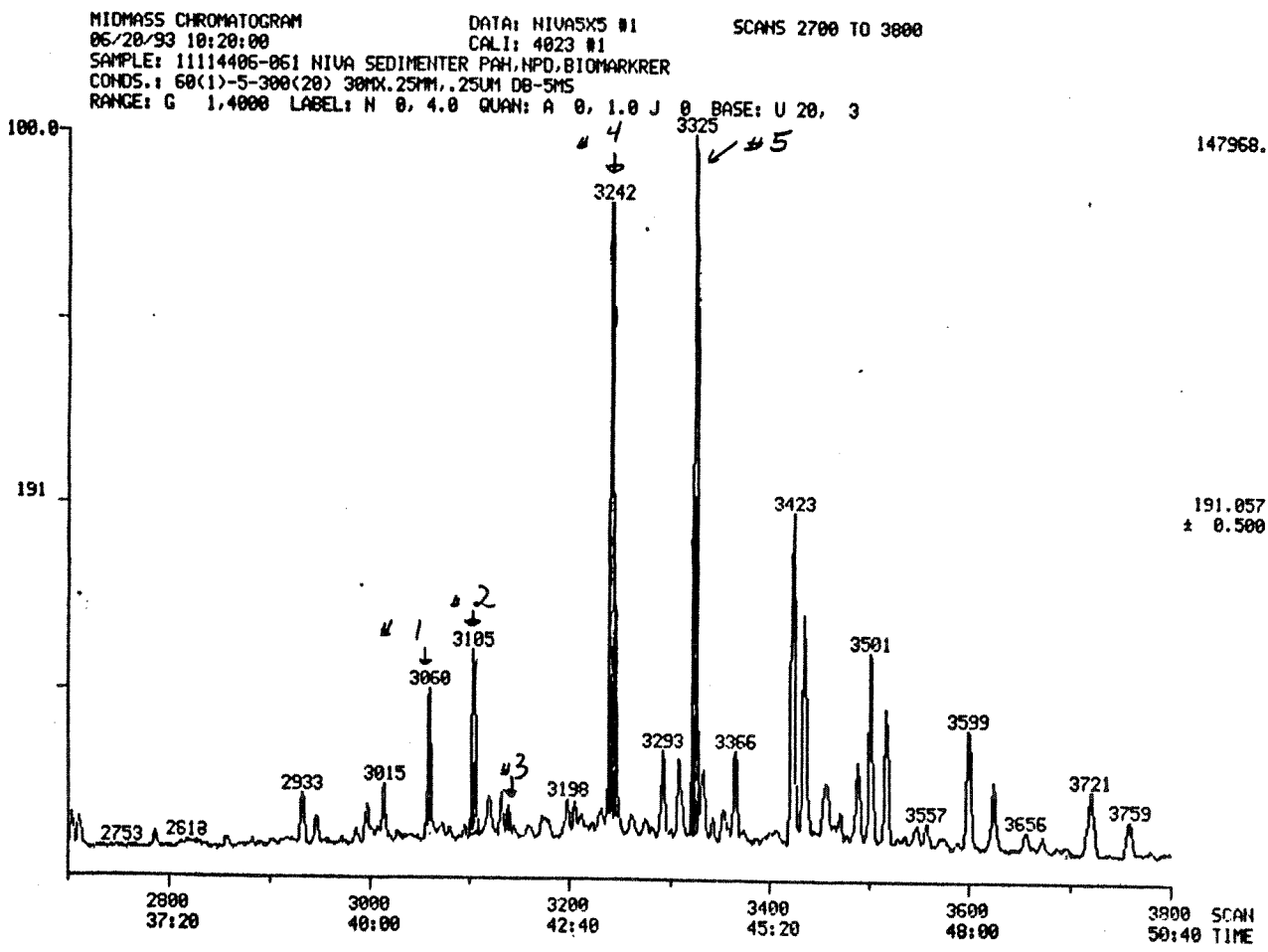
Analysebetingelser for GC/MS :

Gasskromatograf/massespektrometer : Finnigan 9610/4023
 Data system : Super Nova 4 x
 Kolonne : 30 m x 0.25mm, 0.25 µm DB-5 ms
 Temperaturer:
 Kolonne : 60°C (1 min) - 5°C/min - 300°C(10 min)
 Injektor : 250°C
 Ionekilde : 250°C
 Bæregass : Helium, 26 psi
 Ionisering : Electron impact, 70 eV
 Scan frekvens : 1 scan/0.8 sec
 Injeksjons volum : 1 µl
 Masser (m/z) C₀-C₃ naftalen : 128, 142, 156, 170
 C₀-C₃ fenantren : 178, 192, 206, 220
 C₀-C₃ dibenzotiofen : 184, 198, 212, 226
 Acenaftalen : 152
 Acenaften : 154
 Fluoren : 166
 4-6 ring aromater : 202,228, 252, 276

 Deutererte standarder : 164, 188, 212,
 Biomarkører : 191, 217, 218, 231, 253

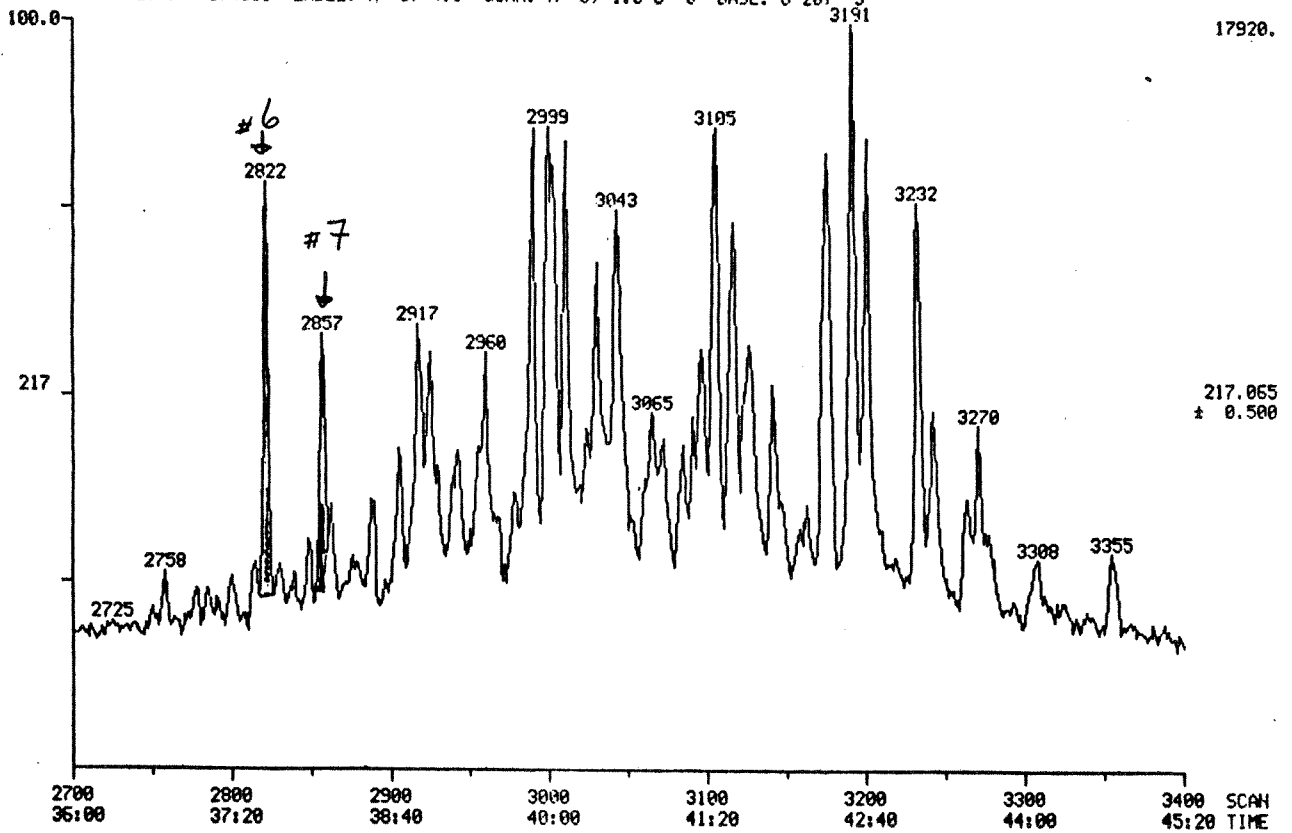


Figur 1: Gasskromatogram av kildeprøvene fra FaseII

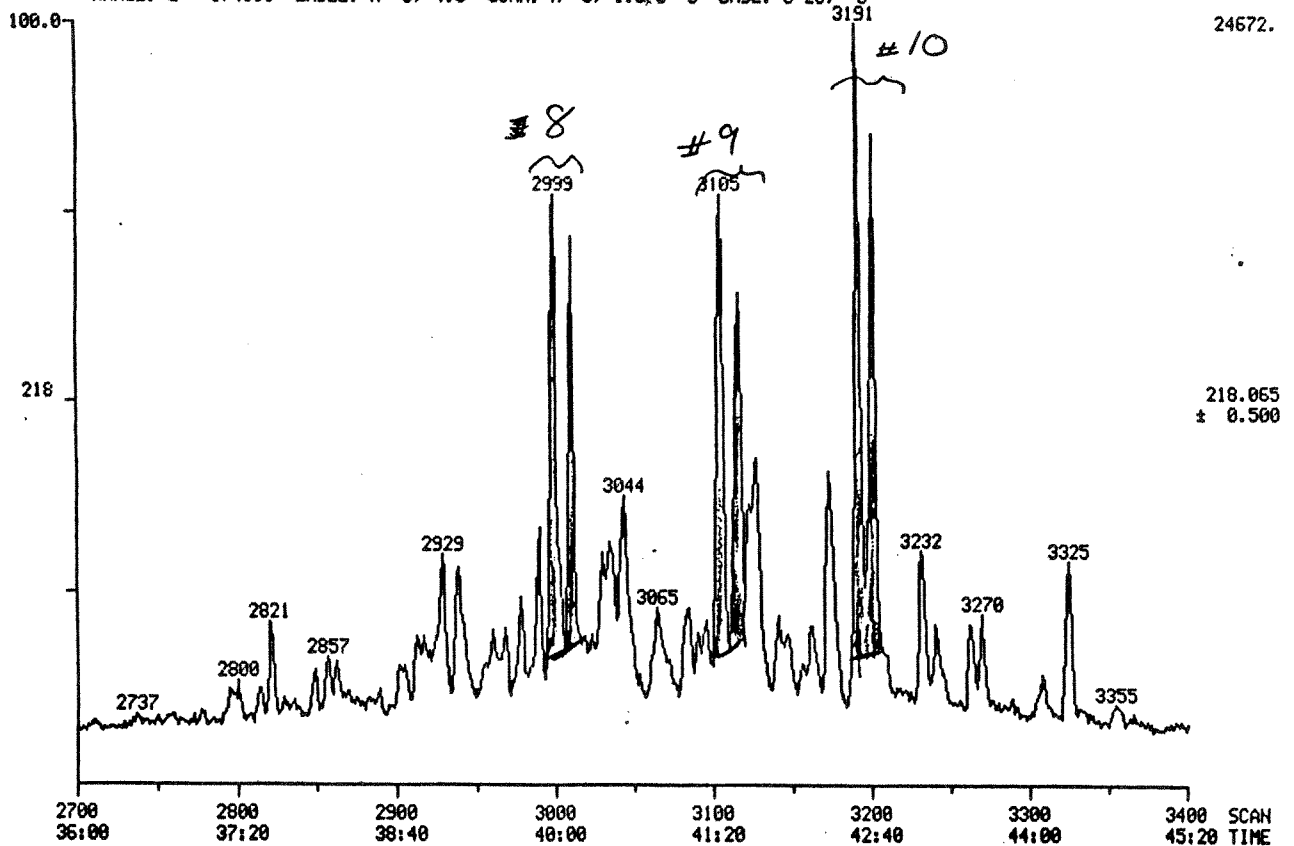


Figur 2: Ionestrømskromatogram av triterpaner m/z 191

MIDMASS CHROMATOGRAM DATA: NIUA5X5 #1 SCANS 2700 TO 3400
 06/20/93 10:20:00 CALI: 4023 #1
 SAMPLE: 11114406-061 NIUA SEDIMENTER PAH,NPD,BIOMARKRER
 COND.S.: 60(1)-5-300(20) 30MX.25MM,.25UM DB-5MS
 RANGE: G 1.4000 LABEL: N 0, 4.0 QUAN: A 0, 1.0 J 0 BASE: U 20, 3



MIDMASS CHROMATOGRAM DATA: NIUA5X5 #1 SCANS 2700 TO 3400
 06/20/93 10:20:00 CALI: 4023 #1
 SAMPLE: 11114406-061 NIUA SEDIMENTER PAH,NPD,BIOMARKRER
 COND.S.: 60(1)-5-300(20) 30MX.25MM,.25UM DB-5MS
 RANGE: G 1.4000 LABEL: N 0, 4.0 QUAN: A 0, 1.0 J 0 BASE: U 20, 3



Figur 3: Ionestrømskromatogram av steraner m/z 217 og m/z 218

NIVA



Norsk institutt for vannforskning

Postboks 173 Kjelsås, 0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00 Fax: 22 18 52 00

ISBN 82-577-2525-0