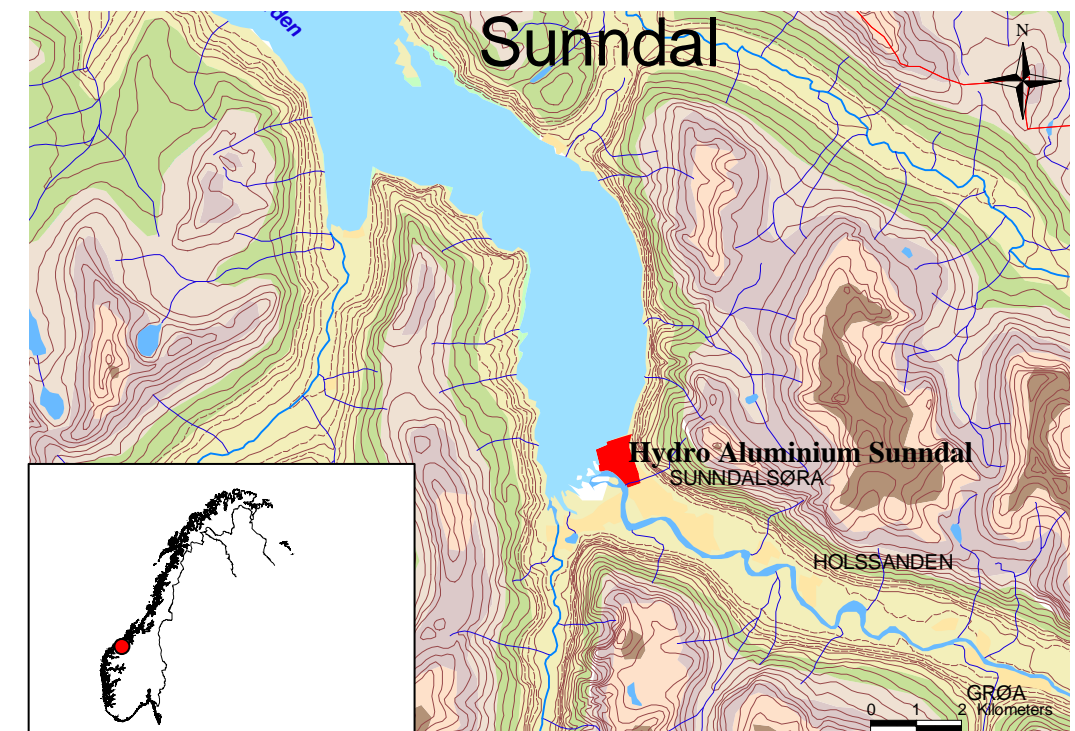




RAPPORT LNR 4780-2004

PAH i passive prøvetakere i  
sjøområdene utenfor Hydro  
Aluminium Sunndal AS



**Hovedkontor**

Postboks 173, Kjelsås  
0411 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00  
Internet: www.niva.no

**Sørlandsavdelingen**

Televeien 3  
4879 Grimstad  
Telefon (47) 37 29 50 55  
Telefax (47) 37 04 45 13

**Østlandsavdelingen**

Sandvikaveien 41  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 62 57 64 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**Vestlandsavdelingen**

Nordnesboder 5  
5005 Bergen  
Telefon (47) 55 30 22 50  
Telefax (47) 55 30 22 51

**Akvaplan-niva**

9296 Tromsø  
Telefon (47) 77 75 03 00  
Telefax (47) 77 75 03 01

Tittel PAH i passive prøvetakere i sjøområdene utenfor Hydro Aluminium Sunndal AS	Løpenr. (for bestilling) 4780-2004	Dato 10.02.2004
	Prosjektnr. Undernr. 21178/22084	Sider Pris 36
Forfatter(e) Torgeir Bakke Frode Uriansrud	Fagområde marine miljøgifter	Distribusjon
	Geografisk område Møre og Romsdal	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Hydro Aluminium Sunndal AS	Oppdragsreferanse SU-M4-NHT-B44-SU00228-00, 5174233
--	---

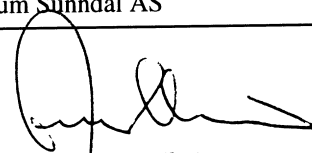
**Sammendrag**

I forbindelse med etablering av ny teknologi ved Hydro Aluminium Sunndal AS har NIVA utført målinger av PAH sjøområdene. Målingene ble gjort med SPMDer (Semi Permeable Membrane Devices). Programmet omfattet til sammen 14 måleperioder á 1-2 mnd fra august 01 til november 03. Konsentrasjonene av løst PAH i sjøen utenfor Hydro Sunndal synes høye i forhold til havneområder generelt, men langt lavere enn det som er funnet utenfor tilsvarende industri andre steder. Gravearbeidene på land og i sjø våren 2002 førte ikke til påviselig økning i løst PAH i vannmassene i sjøen utenfor, men muligens en forsinket kortvarig økning i PAH i vanninntaket til Akvaforsk. Omlegging av produksjonen fra Søderberg til Prebak høsten 02 og våren 03 ga redusert PAH i vannmassene like ved bedriftens utslipp til sjøen sommeren 03. Øvrige målinger tyder også på at den totale PAH-belastningen i indre del av Sunndalsfjorden har gått ned i løpet av 2003. Målingene viste en systematisk avstandsgradient i PAH-profil vestover fra bedriftens utløp og en dominans av lette PAH-forbindelser fra april 03.

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>PAH</li> <li>Passive prøvetakere (SPMD)</li> <li>Sundalsfjorden</li> <li>Hydro Aluminium Sunndal AS</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>PAH</li> <li>Semi-permeable membrane devices (SPMD)</li> <li>Sundalsfjorden</li> <li>Hydro Aluminium Sunndal AS</li> </ol>
--	--

  
Torgeir Bakke  
Prosjektleder

  
Kristoffer Næs  
Forskningsleder  
ISBN 82-577-4456-5

  
Jens Skei  
Forskningsdirektør

**PAH i passive prøvetakere i sjøområdene utenfor  
Hydro Aluminium Sunndal AS**

## Forord

*På oppdrag fra Hydro Aluminium A.S (kontrakt nr SU-M4-NHT-B44-SU00228-00 og kontrakt nr 5174233) har Norsk institutt for vannforskning, NIVA, utført målinger i sjøområdene utenfor Hydro Aluminium Sunndal AS, Sunndalsøra. Målingene har omfattet polysykliske aromatiske hydrokarboner PAH i passive prøvetakere. Sentral kontaktperson hos Hydro har vært Leif Ongstad. Ansvarlig lokal kontaktperson i Sunndalsøra har vært Jan Arntzen, senere Hans Magne Haugen. Informasjon om strømmålinger i innerste del av Sunndalsfjorden er gitt av Akvaforsk ved Per Brunsvik. På NIVA har Torgeir Bakke vært prosjektleder for prosjektene. Medarbeidere har vært Aud Helland, (feltarbeid), Tom Tellefsen (tilrettelegging prøvetakere) og Frode Uriansrud (resultatbearbeidelse rapportskrivning). PAH-analysene er gjennomført ved NIVAs analyseavdeling, organisk laboratorium (ansvarlig Lill-Ann Kronvall). Ansvarlig for kvalitetskontroll av prosjektet har vært Kristoffer Næs.*

*Oslo, 10 februar 2004*

*Torgeir Bakke*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>6</b>
<b>1. Bakgrunn og formål</b>	<b>7</b>
<b>2. Gjennomføring</b>	<b>8</b>
2.1 Aktiviteter/hendelser	9
2.2 Overvåkning av anleggsarbeidene på land og sjø (fase 1)	10
2.3 Overvåkning under endring i produksjonsprosessen (fase 2)	11
<b>3. Analyser og databearbeidelse</b>	<b>13</b>
3.1 Analyser av PAH	13
3.2 Resultatbehandling og statistiske analyser	13
<b>4. Resultater og diskusjon</b>	<b>15</b>
4.1 Sirkulasjonsmønster i indre Sunndalsfjord	15
4.2 Målinger av PAH under anleggsarbeidet på land og i sjø (fase 1).	15
4.3 Målinger av PAH under omlegging av produksjonsprosessen (fase 2)	18
4.4 Akkumulering i SPMD som funksjon av eksponeringstid	19
4.5 Sammensetning av akkumulert PAH (PAH-profil)	21
4.5.1 Alle prøver, alle PAH-forbindelsene	22
4.5.2 Alle prøver, 3-6 ring forbindelsene	22
4.5.3 Rigg A – alle PAH-forbindelsene	23
4.5.4 Rigg A – 3-6 rings forbindelsene	23
4.5.5 Rigg C – alle PAH-forbindelsene	23
4.5.6 Rigg C – 3-6 rings forbindelsene	24
4.5.7 Rigg B og D	24
4.5.8 Rigg U – alle PAH-forbindelsene	24
4.5.9 Rigg U – 3-6 rings forbindelsene	24
4.5.10 Samlet inntrykk av profilendringene	25
4.6 Sammenlikning med andre undersøkelser	25
<b>5. Konklusjoner</b>	<b>26</b>
<b>6. Referanser</b>	<b>27</b>
<b>7. Vedlegg</b>	<b>28</b>
7.1 Ekstraksjonsmetoder	28
7.2 Rådata-tabell	29
7.3 PCA-plott av komponentvekter	33

## Sammendrag

I forbindelse med bygging av nytt produksjonsanlegg, legging av sjøvannsledning og omlegging av produksjonsprosessen engasjerte Hydro Aluminium Sunndal AS NIVA til å gjennomføre målinger av PAH i sjøområdene. Gravearbeidene på land og i sjø ble utført i tidsrommet februar- mai 2002. Omlegging av produksjonsprosessen startet i oktober 2002 og ble fullført i mai 2003.

Målingene var basert på bruk av rigger med passive prøvetakere for organiske miljøgifter (Semi Permeable Membrane Devices, SPMD). De ble gjennomført i 2 faser sammenfallende med etablering av nytt anlegg og sjøvannsledning (fase 1) og omlegging av produksjonen (fase 2). Fase 1 gikk fra august 2001 til august 2002. Den omfattet 3 stasjoner langs kanten av deponiområdet vest for hovedkaia samt et SPMD-bur i sjøvannsinntaket til Akvaforsk. Fase 2 av prosjektet gikk fra september 2002 til november 2003. Den omfattet en av stasjonene langs kanten av deponiområdet, målepunktet hos Akvaforsk og en stasjon på ca 12 m dyp (20 m over bunnen) ved utslippet fra renseanleggene. Måleprogrammet omfattet til sammen 14 måleperioder av varighet fra 29 til 72 døgn.

Prøvene fra programmet ble analysert for et utvalg på 23 PAH-forbindelser. I tillegg ble sum av disse beregnet (sumPAH). Resultatbehandlingen omfattet både sumPAH og PAH-sammensetning (PAH-profil) i de ulike prøvene.

Gravearbeidene på land og i sjø ved Hydro Aluminium Sunndal våren 2002 førte ikke til påviselig økning i løst PAH i vannmassene i sjøen utenfor, med mulig unntak for en forsinket økning i PAH i sjøvannsinntaket til Akvaforsk.

Produksjonsomleggingen fra søderbergproduksjon til prebakeproduksjon høst-vinter 2002-2003 synes å ha gitt en reduksjon i løst PAH i vannmassene i nærområdet rundt renseanleggenes utløp til sjøen sommeren 2003. Målinger utenfor fyllingskanten for settlingsbassengene og i vanninntaket til Akvaforsk tyder også på at den totale belastningen av løst PAH i vannmassene i indre del av Sunndalsfjorden har gått ned i løpet av 2003. Målingene bør imidlertid fortsette for å kunne fastslå denne tendensen.

Konsentrasjonene av løste PAH-forbindelser i sjøen utenfor Hydro Sunndal synes å være høye i forhold til havneområder generelt, men langt lavere enn det som er funnet utenfor tilsvarende industri andre steder. Konsentrasjonen i vanninntaket til Akvaforsk synes å ligge 2-10 ganger høyere enn det som er funnet i antatt rene kystområder med samme metodikk.

Til tross for relativt stor variasjon i PAH-sammensetning (profil) over tid i prøvene fra de ulike stasjonene var det en systematisk gradient i PAH-profil fra prøver ved utløpet fra renseanlegget, via prøvene langs fyllingskanten, til prøvene i inntaksvannet til Akvaforsk. Dette samsvarer godt med antatt kildepåvirkning.

Endringene i PAH-profil over tid foregikk til en viss grad parallellt på de ulike stasjonene. Det mest særpregede var at alle profilene fikk en dominans av 2-rings og mindre 3-rings forbindelser på våren-sommeren 2003, noe som muligens reflekterer en endring i utslippsvannets PAH-profil etter prosessendringen.

En eksponeringstid på 1 mnd synes å ha vært tilstrekkelig til å oppnå likevekt mellom PAH i de passive prøvetakerne og i omgivende vannmasser et stykke unna utløpet fra renseanlegget. Slik likevekt ble ikke oppnådd selv etter 50 dagers eksponering i utløpets nærhet, sannsynligvis fordi avløpsvannet ga en høy, men episodisk eksponering av PAH.

## Summary

Title: PAH in semipermeable membrane devices (SPMD) from the area around Hydro Aluminium Sunndal AS.  
Year: 2003

Author: Bakke, T., Uriansrud, F

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-4456-5

In connection with construction of a new production plant, laying of sub-sea water pipeline and changes in the production process, Hydro Aluminium Sunndal AS contacted NIVA to carry out measurements of PAH in the nearby fjord area. The excavation on land and in the sea was carried out in the period Feb.- May 2002. Changes in the production process started Oct. 2002 and finished in May 2003.

SPMD (Semi Permeable Membrane Devices) mounted on a rig were used to measure organic contaminants (PAH, Poly-Aromatic Hydrocarbons). The measurements were carried out in two phases during laying of the sub-sea pipeline (phase 1) and establishment of the new production plant (phase 2). Phase 1 was from Aug. 2001 to Aug. 2002 and involved three SPMD stations along the edge of the industrial land fill and one SPMD-station in the seawater intake at Akvaforsk. Phase 2 of the project lasted from Aug. 2002 to Nov. 2003 and included one station along the industrial land fill, one in the seawater intake at Akvaforsk and one station at 12 m water depth above the water outlet from the treatment plant. The program involved 14 measuring periods with duration from 29 to 72 days.

23 PAH-components were analyzed from the SPMDs. The result evaluation included sumPAH and PAH composition in the individual samples.

Excavation on land and in the sea in spring 2002 did not result in any observable increase in dissolved PAH in the inner fjord, except possibly for a delayed increase in PAHs in the Akvaforsk water intake.

Changes in the production process from S oderberg plant to 100 % Prebake in autumn-spring 2002-2003 seem to have resulted in a reduction in dissolved PAH in seawater around the outlet from the treatment plant during summer 2003. Measurements outside the industrial land fill and in the seawater intake at Akvaforsk also indicated that the total concentration of dissolved PAH in the inner part of the fjord has decreased during 2003. Measurements should continue to document this tendency.

The concentration of dissolved PAH components in the seawater outside Hydro Aluminium Sunndal AS seems to be high compared with other harbor areas, but much lower than from areas with analogous industrial activity. The PAH accumulated from the seawater intake at Akvaforsk was 2-20 times higher than has been found with the same methodology in assumed clean fjord areas.

In spite of relatively large variation in PAH-profiles over time the samples from different stations indicate a systematic gradient in PAH profile from the station close to the cleaning plant outlet via the sample along the edge of the industrial land fill to the seawater intake at Akvaforsk. This corresponds well with location of expected sources. Changes in PAH profiles over time took place to a certain degree simultaneously at the different stations. 2 ring and small 3 ring compounds dominated all profiles in spring-summer 2003. This can reflect changes in PAH profiles in the outletwater from the treatment plant.

An exposure time of one month seems to be sufficient to obtain equilibrium between PAH in SPMDs and the surrounding water at some distance from the treatment plant outlet. This equilibrium was not achieved even after 50 days in SPMDs close to the treatment plant outlet, probably because the discharge water gave a high but episodic exposure to PAH.

# 1. Bakgrunn og formål

I forbindelse med bygging av nytt produksjonsanlegg, legging av sjøvannsledning og omlegging av produksjonsprosessen har Hydro Aluminium Sunndal AS engasjert NIVA til å gjennomføre målinger av PAH i vannmassene ved bruk av passive prøvetakere. Områdene som skulle undersøkes var i nærheten av anleggsområdet, ved prosessvannavløpet og i vanninntaket til Akvaforsk.

Arbeidene i forbindelse med legging av sjøvannsledning omfattet mudring av ledningsgrøft, legging av rørledninger, overdekning og tilbakefylling. Dette skjedde samtidig med bygging av nye produksjonshaller. Gravearbeidene på land og i sjø ble utført i tidsrommet uke 7 til uke 20, 2002. NIVAs oppgave i denne perioden (prosjektfase 1) var å overvåke om aktiviteten forårsaket endringer i nivå av PAH i sjøvannet utenfor bedriften. Til dette ble det brukt rigger med passive prøvetakere for organiske miljøgifter (Semi Permeable Membrane Devices, SPMD). Kontrollprogrammet for mudringsarbeidene omfattet også kontroll av tilslamming ved siktedypsmålinger utført av entreprenøren AF Spesialprosjekt AS, og overvåking ved prøvetaking av svevepartikler og oppvirvlede sedimenter utført av NOTEBY AS (Bruskeland 2002).

I forbindelse med utfasing av Søderbergproduksjonen og omlegging av produksjonsprosessen til 100 % Prebake hadde Hydro Aluminium Sunndal AS et ønske om å overvåke effekten som omleggingen hadde på PAH-konsentrasjonen i vannmassene (prosjektfase 2). Overvåkingen av prosessvannavløpet startet i september 2002 etter at overvåkingen av sjøbunnsarbeidene var ferdig. Utfasing av søderbergcellene startet i oktober 2002 og ble fullført i desember 2002.

Den foreliggende rapport beskriver resultatene fra de passive prøvetakerne for begge fasene og dekker tidsrommet august 2001 til oktober 2003.



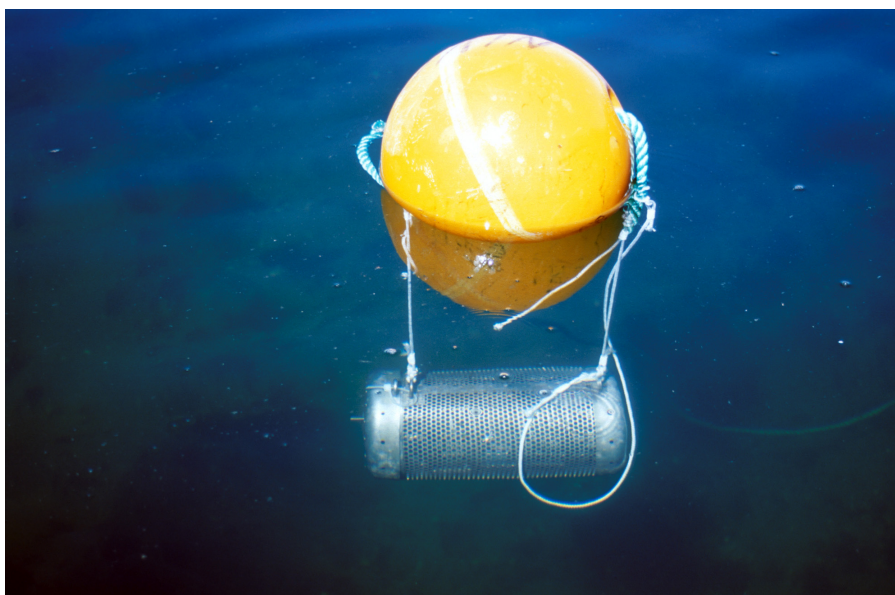


## 2. Gjennomføring

Planlagt opplegg for fase 1 var å sette ut rigger med SPMDer i 6 perioder a 2 mnd over ett år, august 2001 til august 2002. Dette skulle dekke minst en periode før anleggstart, flere perioder under anleggsarbeidet og minst en periode etter anlegg. Fase 2 av prosjektet fortsatte i vel et år til fra september 2002 til november 2003.

Bruk av passive prøvetakere for organiske miljøgifter, SPMDer er blitt en vel innarbeidet akvatisk overvåkingemetode de siste 10 årene. SPMDer består av en dobbel semipermeabel membran som inneholder et lipid, triolein. PAH-komponentenes affinitet til lipider fører til at de ekstraheres kontinuerlig fra omgivende sjøvann over membranen og inn i trioleinen som deretter analyseres. Siden PAH-molekylene må passere gjennom en membran vil SPMDene i prinsipp bare samle oppløst PAH, ikke partikkelbundet (Huckins et al. 2002). Membranene er båndformet, med lengde 91 cm og bredde 2.5 cm, er laget av tolags polyetylen, og er på forhånd fylt med 1 ml syntetisk triolein. Trioleinen danner en tynn væskefilm inni membranen, noe som gir størst mulig forhold mellom overflate og volum av trioleinen. De passive prøvetakerne eksponeres for den samlede PAH i vannmassene, både fra oppvirling av sedimenter, utlekking fra deponi, utslipp av prosessavløpsvann og andre kilder, og det er ikke mulig å skille ut bidraget fra de ulike kildene. Endring i komponentsammensetning av den PAH som akkumuleres (PAH-profil) over tid og rom vil indikere enten at kilden(e) har endret karakter eller at det har vært en endring i kildenes relative betydning.

Hver SPMD-rigg besto av en bøye festet via 8 mm tau og kjetting/sjakkell til et bunnanker. Under bøya ble det hengt en SPMD enhet på 50 cm vanddyb (**Figur 1**). Hver SPMD-enhet besto av et sylindrisk stålbur (lengde 35 cm, diameter 15 cm) med hulldiameter 6 mm. På en langsgående sentral aksel var montert flere holdere for en SPMD-membran hver. Membranholderne sørger for at nesten hele membranoverflata har kontakt med sjøvannet. Membranene ankom i forseglede metallbokser som ble åpnet rett før membranene skulle monteres i burene. Håndtering av membranene foregikk ved bruk av pinsett og engangshansker. I hvert bur ble montert 2 membraner.



**Figur 1.** SPMD rigg. Membranene er montert vertikalt på egne holdere inni det perforerte stålbur (foto Aud Helland)

Når burene ble tatt opp ble de eksponerte membranene raskt overført til rengjorte stålbokser med lokk, og nye membraner montert. De eksponerte membranene ble oppbevart frosset før analyse. Samtidig med første utsetting i hver fase ble en ekstra membran håndtert på samme måte som de øvrige og eksponert for luft like lenge som disse. Denne representerte en felt-blank for å fange opp eventuelle PAH-komponenter akkumulert fra lufta under utsetting og opptak.

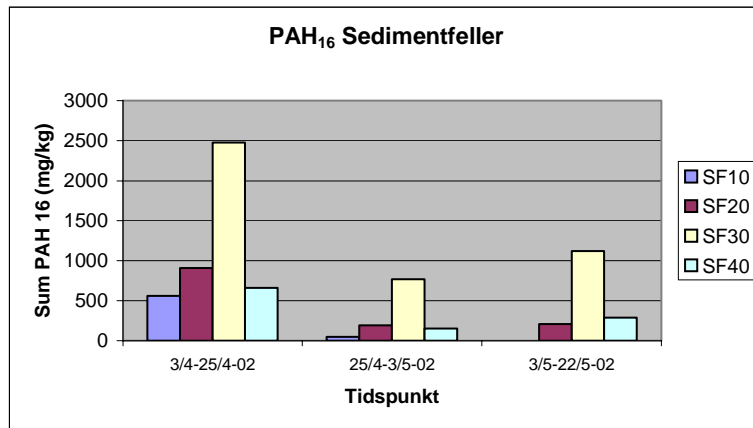
Etter innledende opplæring med personell fra NIVA i samband med første utsetting i august 2001, ble feltarbeidet utført av lokalt personell fra Hydro Aluminium Sunndal. NIVA deltok også på første riggutsetting under andre fase av prosjektet, i september 2002.

## 2.1 Aktiviteter/hendelser

Tabell 1 gir oversikt over når de ulike fasene av anleggsvirksomheten fant sted. Det ble i følge Noteby (Bruskeland 2002) ikke registrert oppvirvling og spredning av partikulært materiale fra arbeidene, bortsett fra i perioden med gravemudring, (2-12/4-02, **Figur 2**).

**Tabell 1.** Tidsperioder for anleggsvirksomhet og andre driftsmessige hendelser av betydning.

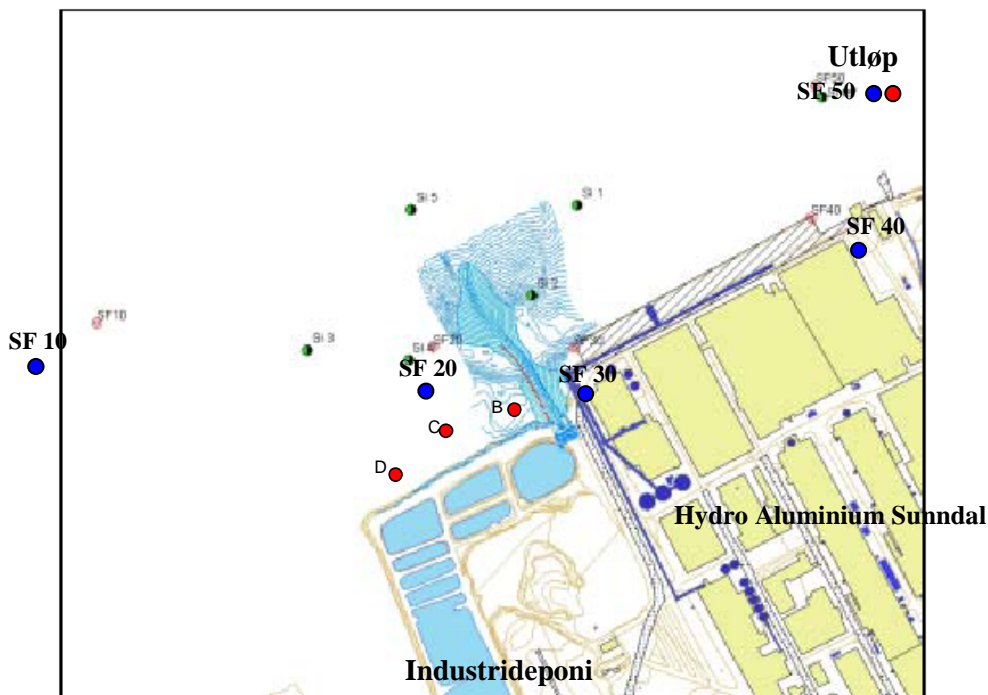
Aktivitet	Tidspunkt	Kommentar
Sugemudring	15/2-2/4-02	
Gravemudring	2/4-12/4-02	Siltskjørt ble holdt på plass fra 3/4 til 12/4
Omfilling og tildekking	6/5-19/5-02	Uten siltskjørt
Driftforstyrrelser Su 1-2 (Søderberg-seriene)	Aug. – sept. 02	Betydelige driftsproblemer bl.a. på grunn av strøbrudd – Registrert overutslipp av PAH til luft, dette ble ikke i samme grad registrert for utslipp til sjø
Utfasing av Su 1-2	Medio sept. – 20/12-02	Forventet reduksjon i utslipp til sjø ble registrert i nov. og des.
Utfylling for LNG-anlegg	Sommer 2003	Utfylling av rene løsmasser på grunt vann.
Oppstart seksjon 1 (SU4)	28/10-02 – 7/2-03	5 celler til å begynne med – fra 18.11.02 - 10 pr uke
Oppstart seksjon 2 (SU4)	25/4-03 – 15/8-03	Det ble en del startpauser i perioden, da man fikk problemer med støttefunksjonene.



**Figur 2.** Resultater fra sedimentfeller basert på data fra Bruskeland (2002). Grave- og mudringsarbeidene foregikk i for det meste i perioden 3-25 april 02.

## 2.2 Overvåkning av anleggsarbeidene på land og sjø (fase 1)

Den 2 august 2001 ble det satt ut rigger på hver av 3 stasjoner langs kanten av deponiområdet vest for hovedkaia (Rigg, B, C og D, **Figur 3**), anslagsvis 20-50 m fra land. Riggene ble satt ut i forkant av anleggsperioden for å registrere tilstanden før en eventuell påvirkning. **Tabell 2** viser tidsrom for de måleseriene som finnes fra de forskjellige stasjonene både i fase 1 og fase 2. I februar 2002 ble det også satt ut et SPMD-bur med to membraner i en kum i sjøvannsinntaket til Akvaforsk (Rigg A). Måleperiodene her fulgte samme tidsskjemaet som riggene i sjøen.



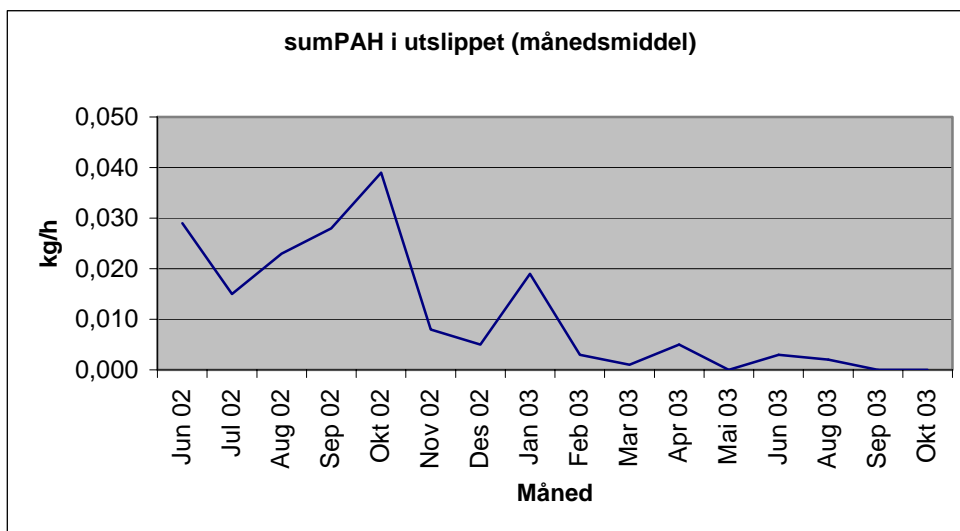
**Figur 3.** Plassering av rigger med passive prøvetakere (rød sirkel) utenfor Hydro Aluminium Sunndal. Fase 1 omfattet stasjon B, C og D, fase 2 omfattet stasjon Utløp og C. Blå sirkler er stasjoner for sedimentfeller fra Bruskeland, 2002.

Andre måleperiode varte fra 10/9 til 16/11-01. Fra de påfølgende periodene 16/11-01 til 4/4-02 finnes ikke prøver fra riggene i sjøen fordi utstyret av forskjellige årsaker ble ødelagt eller forsvant. Samme problemer ble erfart med riggene for sedimentfeller satt ut av NOTEBY (Bruskeland, 2002). Det ble også på våren 2002 besluttet av byggherre å ta inn rigg B fordi det var fare for at den kunne bli ødelagt av selve anleggsarbeidet. Derfor er måleseriene under anleggsperioden kun fra rigg C og D. Totalt ble det gjennomført 6 måleperioder under fase 1. Videre ble det i begynnelsen av april besluttet i samråd med NIVA å redusere eksponeringstiden for riggene fra 2 til 1 mnd, primært for å redusere risiko for å miste flere prøver.

## 2.3 Overvåkning under endring i produksjonsprosessen (fase 2)

Hydro Aluminium Sunndal as har gjennomgått en omlegging av produksjonsprosessen fra bruk av Søderberg-elektroder til 100% Prebake. Utfasing av søderbergceller startet i oktober 02 og ble fullt avsluttet i desember 02. Søderbergproduksjonen er den prosessen i bedriften som har avgitt PAH i forbindelse med at anodemassen, blanding av petrolkoks og bek, ”stekes” under driften og flyktige bestanddeler som PAH damper av. ”Rensingen” av PAH i tørrensetrinnet skjer ved at noe av den PAH’en som resirkuleres brennes i elektrolysebadet ved ca 960 grader, men noe vil også ryke av på nytt og derved bli med en ”ny” renseprosess.

Det nye to-trinns renseanlegget (SU4) der den første enheten startet de første cellene 28/10-02. 108 celler ble startet i perioden fra 28/10-02 til 7/2-03. Andre renseenhet med 118 celler ble startet i perioden fra 25/4-03 til 15/8-03. Utslipp av PAH til sjø gjennom avløpsvannet er vist i **Figur 4**. Målingene viser en tydelig nedadgående tilførsel av PAH gjennom avløpet over perioden oktober 02 til september 03.



**Figur 4** Utslipp av PAH til sjø via avløpet til HAS. Verdiene er middelerdi for hver måned og er beregnet som differansen mellom konsentrasjon i inntaks- og utslippsvann. Kilde HAS Notat av 04/12-03.

Den 27/9-02 ble det satt ut en SPMD-rigg med ett bur på ca 12 m dyp (20 m over bunnen) ved prosessutslippet til Hydro Aluminium (**Tabell 2**). Buret ble forankret i bunnen og sikret med tau til fast ankringsbøye et par meter unna. Det ble i tillegg besluttet å fortsette målingene på stasjon C (ca 40 m fra land, vanddyb 3-4 m, bur på 0,5 m dyp), og på stasjonen i vanninntaket til Akvaforsk. Buret ved

utslippsrøret ble funnet ødelagt og uten membraner den 11/2-03 (tegn på korrosjonsbrudd) og nytt bur ble satt ut igjen 12/3-03. I perioden mellom 17/12-02 til 12/3-03 er det derfor ingen analyseresultater fra utslippsrøret. Rigg C var forsvunnet ved membranskifte 17/12-02 og ble funnet igjen på bunnen 12/3-03. Selv om buret i en ukjent del av denne perioden hadde ligget på bunnen, ble det besluttet å gjennomføre analysene. Rigg C ble satt ut igjen 14/4-03. Totalt ble det gjennomført 9 måleserier i fase 2.

**Tabell 2** Angivelse av måleperioder for de ulike stasjonene. Tallene angir laboratoriets rekvisisjonsnummer og identifikasjon for de ulike prøvene. Der det er angitt to prøver, er begge de parallelle membranene i buret analysert. Prøver markert med skygge er ekstrahert etter gammel metode (se kap 3.1).

Måleperiode	Dato	Døgn	Rigg B	Rigg C	Rigg D	Rigg A (Akvaforsk)	Rigg U (Utløp)	Felt-blank	
0	02/08.01	0						2820-1	Fase 1
1	02/08-01 – 10/09-01	38	2820-2	2820-4	2820-6				
2	10/09-01 – 16/11-01	67	2820-3	2820-5	2820-7				
3	05/02-02 – 25/03-02	48				1084-1			
4	04/04-02 – 07/05-02	34		1084-3 1072-7	1084-4 1072-8	1084-2			
5	07/05-02 – 18/06-02	42		1494-2 1072-9	1494-3 1072-10	1494-1			
6	18/06-02 – 27/08-02	70		1944-2		1944-1			
7	27/09-02							0355-1	Fase 2
8	27/09-02 – 28/10-02	32		0355-4		0355-2	0355-3		
9	28/10-02 – 17/12-02	50				2904-1 2904-2	2904-3 2904-4		
10	17/12-02 – 11/02-03	58				0355-5			
11	17.12.02 – 12.03.03	85		1072-1 1072-2					
12	11.02.03 – 12.03.03	29				1072-3			
13	12.03.03 – 14.04.04	33				1072-4	1072-5 1072-6		
14	14.04.03 – 02.06.03	50		2144-3 2144-4		2144-1 2144-2	2144-5 2144-6		
15	02.06.03 – 09.07.03	37		2144-11 2144-12		2144-9 2144-10	2144-7 2144-8		
16	09.07.03 – 19.09.03	72		2144-13 2144-14		2144-17	2144-16 2144-15		

Analysene omfattet måling av konsentrasjon av enkeltforbindelser av PAH i membranene. Dette ble brukt til å angi totalinnhold i membranene som sumPAH (sum av konsentrasjonene av de 23 enkeltforbindelsene analysert). I tillegg ble PAH-sammensetningen beskrevet (PAH-profil) og forkjeller i profil analysert. Dette ble gjort fordi forskjeller i PAH-profil kan indikere ulik kildepåvirkning over tid og rom. Dette kan igjen skyldes:

- forskjell i hvilke kilder som dominerer på ulike steder,
- endring i relativ betydning av ulike kilder over tid,
- endring i kildenes PAH-profil over tid.

## 3. Analyser og databearbeidelse

### 3.1 Analyser av PAH

Boksene med eksponerte membraner ble oppbevart frosset og fraktet kjølig til NIVA for analyse. Av de to parallelle membranene fra hvert bur ble den ene analysert og den andre oppbevart frosset som reserve. På grunn av manglende prøveperioder forårsaket av tap av rigger og bur ble det besluttet også å analysere et utvalg av reservemembranene fra riggene i sjø (**Tabell 2**).

Analyseprosedyren er beskrevet i vedlegg 6.1. Prinsippet er at PAH-komponentene ekstraheres fra trioleinen ved egnet ekstraksjonsmiddel. Ekstraktet oppkonsentreres og de utvalgte PAH-komponentene identifiseres og kvantifiseres ved bruk av GC-MS. I mars 2003 gjennomført NIVAs laboratorium en endring i metoden for ekstraksjon av SPMDene. Før dette var praksis å ekstrahere hele membranen, mens man etter ny metode presset trioleinen ut av membranen med en valse og ekstraherte kun trioleinen. Ved begge metodene ble påvekst på utsiden av membranen fjernet ved å vaske forsiktig med destillert vann og tørke med papir før videre behandling.

### 3.2 Resultatbehandling og statistiske analyser

Akkumuleringsraten i trioleinen vil variere med molekylstørrelsen på miljøgiftene slik at likevekt mellom triolein og omgivende vann nåes raskest for stoffene med lavest molekylvekt. Opptaksraten vil også kunne hemmes av lav temperatur og liten vannutskiftning rundt membranen. Disse forhold er nøyere beskrevet i f.eks. Huckins et al. (2002). De gjør at estimater av vannkonsentrasjon av PAH ut fra SPMD-konsentrasjonen blir meget usikre. Siden det primære målet har vært å sammenlikne konsentrasjonsendringer over tid og rom har vi derfor i rapporten valgt å bruke de målte resultatene for konsentrasjon i SPMD, ikke estimerte vannkonsentrasjoner.

Sammenlikning av resultater fra de to ekstraksjonsmetodene viste at verdiene fra ekstraheringen av hele membranen (gammel metode) gav systematisk høyere PAH-konsentrasjoner (målt pr gram triolein) enn ved ekstraksjon av triolein alene (ny metode). For å få sammenlignbare resultater før og etter metodeendringen var det derfor nødvendig å tallfeste forskjellen. Dette ble gjort ved å beregne gjennomsnittlig differanse mellom parallelle membraner (fra samme bur, samme tidsperiode) analysert med forskjellig ekstraksjonsmetode (X), og gjennomsnittlig differanse mellom parallelle membraner analysert med samme metode (Y). Forskjellen forårsaket av metodeendringen (Z) ble deretter beregnet ved å trekke snittdifferansen ved bruk av samme ekstraksjonsmetode (Y) fra snittdifferansen ved bruk av forskjellig ekstraksjonsmetode (X):

$$Z = X - Y$$

Beregningene ga  $X = 64,7\%$  og  $Y = 9,6\%$ , og endring i sum PAH forårsaket av metodeendringen på  $55,16\%$ .

Verdier analysert med gammel metode var altså  $55,2\%$  for høye i forhold til verdier analysert med ny metode. En forskjell på ca  $50\%$  i PAH-utbytte mellom metodene er også funnet i et annet prosjekt (JA Berge, pers medd) og ansees derfor å være reell. Forskjellen kan forklares ved at man ved ekstraksjon av hele membranen også får med seg PAH som er adsorbent til utsiden av membranen, ikke bare det som er i trioleinen. Partikler vil ikke trenge inn i membranen, men vil kunne feste seg på utsiden sammen med eventuell begroing. Den forsiktige vaskemetoden fjerner neppe alle slike partikler. Konsentrasjonene analysert med gammel metode er derfor korrigert ut fra dette for å få sammenlignbare verdier.

Data for sumPAH presentert i **Figur 5 - Figur 7** er snittverdier for de to parallelle membranene der begge er analysert. Der bare ytre membran i buret ble analysert, ble det beregnet et tilsvarende "forventet gjennomsnitt av membranene" ut fra Y-verdien på 9,6 % gitt ovenfor (den ytre membranen i buret hadde i snitt 9,6 % høyere PAH-akkumulering enn den innerste). En middelværdi for parallelle membraner vil da være 4,8 % lavere enn den ytre membranen som alltid ble analysert.

Forskjeller i PAH-sammensetning (PAH-profil) mellom prøver ble analysert ved bruk av prinsipalkomponent-analyse (PCA). Forenklet kan en si at PCA sammenlikner alle prøvene og orienterer prøver og variable (PAH-forbindelser) etter likhet i et flerdimensjonalt aksesystem. Prinsipalkomponent-akse 1 (PCA1) indikerer den mest fremtredende trenden, mens akse 2 (PCA2), akse 3, osv. representerer uavhengige sekundære og tertiære trender med avtagende viktighet. Viktigheten av trendene vises ved hvor stor prosent av total varians som hver akse forklarer. Resultatene fremstilles grafisk i et 2-dimensjonalt koordinatsystem ( med PCA1 og PCA2 som hhv abcisse og ordinat) og de enkelte prøvene som punkter i plottet. Kort avstand mellom to prøver viser stor likhet i PAH-profil. I profilanalysene har vi benyttet data for relativ konsentrasjon av de enkelte PAH-forbindelsene (konsentrasjonen av den enkelte PAH-forbindelse i en prøve som % av summen av alle PAH-forbindelsene i samme prøven) i hver av de analyserte membranene. Dette er gjort for å unngå at forskjell i totalkonsentrasjon skal maskere profilmforskjeller. Det er ikke gjort noen justering for gammel og ny ekstraksjonsmetode. PCA-analysene omfatter henholdsvis alle PAH-forbindelsene (totalprofil), og forbindelsene med 3 og flere benzen-ringer i molekylet (3-6ring profil).

## 4. Resultater og diskusjon

### 4.1 Sirkulasjonsmønster i indre Sunndalsfjord

På grunnlag av beskrivelse av strømmålinger utført i 5 posisjoner i indre del av fjorden fra 28/2-02 til 19/6-02 (SSØ av Korsneset, utenfor Langneset, utenfor Hammerkaia, rett N for Drivas munning og ved Åkerstranda, Akvaforsk notat av 9/2-04) avtegner det seg et grovt bilde av sirkulasjonsmønsteret. Hovedelementene synes å være en nordgående brakkvannsstrøm generert primært av Driva (utover ca 45 % av tiden) men som kan være ganske bred, og en dypere sørgående kompensasjonsstrøm som synes være sterkest på vestsiden av fjorden. Hovedmønsteret, spesielt i overflata forstyrres både av Litledalselva og av tidevanns-svingningene, sannsynligvis også av vindgenerert strøm. Overflatestrømmen kan derfor svinge i alle retninger, men går som sagt i hovedsak ut fjorden. Målingene tyder ikke på at det går noen viktig strømkomponent vestover innerst, dvs ingen tydelig direktetransport av Hydros avløpsvann i retning av riggene langs fyllingskanten eller i retning av Akvaforsk inntak. Et mer sannsynlig transportmønster er at avløpsvannet beveger seg utover og evt gradvis blandes inn i den dypere kompensasjons som går innover igjen.

### 4.2 Målinger av PAH under anleggsarbeidet på land og i sjø (fase 1).

Tabell som angir konsentrasjon av de enkelte PAH-forbindelsene i samtlige prøver fra fase 1 og 2 er gitt i vedlegg 6.2. For rigg B foreligger bare målinger fra periode 1 og 2, begge før anleggsstart. I periode 1 (2/8-10/9-01) akkumulerte rigg B noe mer PAH enn rigg C og D, mens alle tre riggene viste samme akkumulering i periode 2 (10/9-16/11-01). Både for Rigg C og D var det høyest PAH-akkumulering i periode 2. For periode 3 (5/2-25/3-02, *under anlegg*) finnes bare data fra Rigg A. Rigg D viste en nedgang i sumPAH fra ca 11000 ng/SPMD i periode 4 (4/4-7/5 02, *under anlegg*) til 9000 ng/SPMD i periode 5 (7/5-18/6 02, *under omfylling og tildekking*) (**Figur 5**). Rigg C viste en svak økning i PAH mellom samme periodene. Det er derfor tvilsomt om den observerte nedgangen på rigg D skyldtes at gravearbeidene var avsluttet, spesielt også siden det høsten 2001 (før anleggsarbeidet) ble funnet høyere PAH-akkumulering enn under anlegg både på rigg C og D.

Rigg C akkumulerte jevnt over noe mer PAH enn rigg D, både før, under og etter anlegg. Dette kan komme av at rigg C lå nærmere der gravearbeidene i sjøen foregikk og også nærmere det området på land der PAH-forurensede masser ble deponert. Noteby (Bruskeland, 2002) registrerte en øking i sumPAH<sub>16</sub> i sedimentfeller under gravearbeidet (**Figur 2**). Dette vil hovedsakelig være partikkelbundet PAH, men det er grunn til å anta at en øket forekomst av partikler med PAH i vannet også vil gi en høyere konsentrasjon av løste forbindelser.

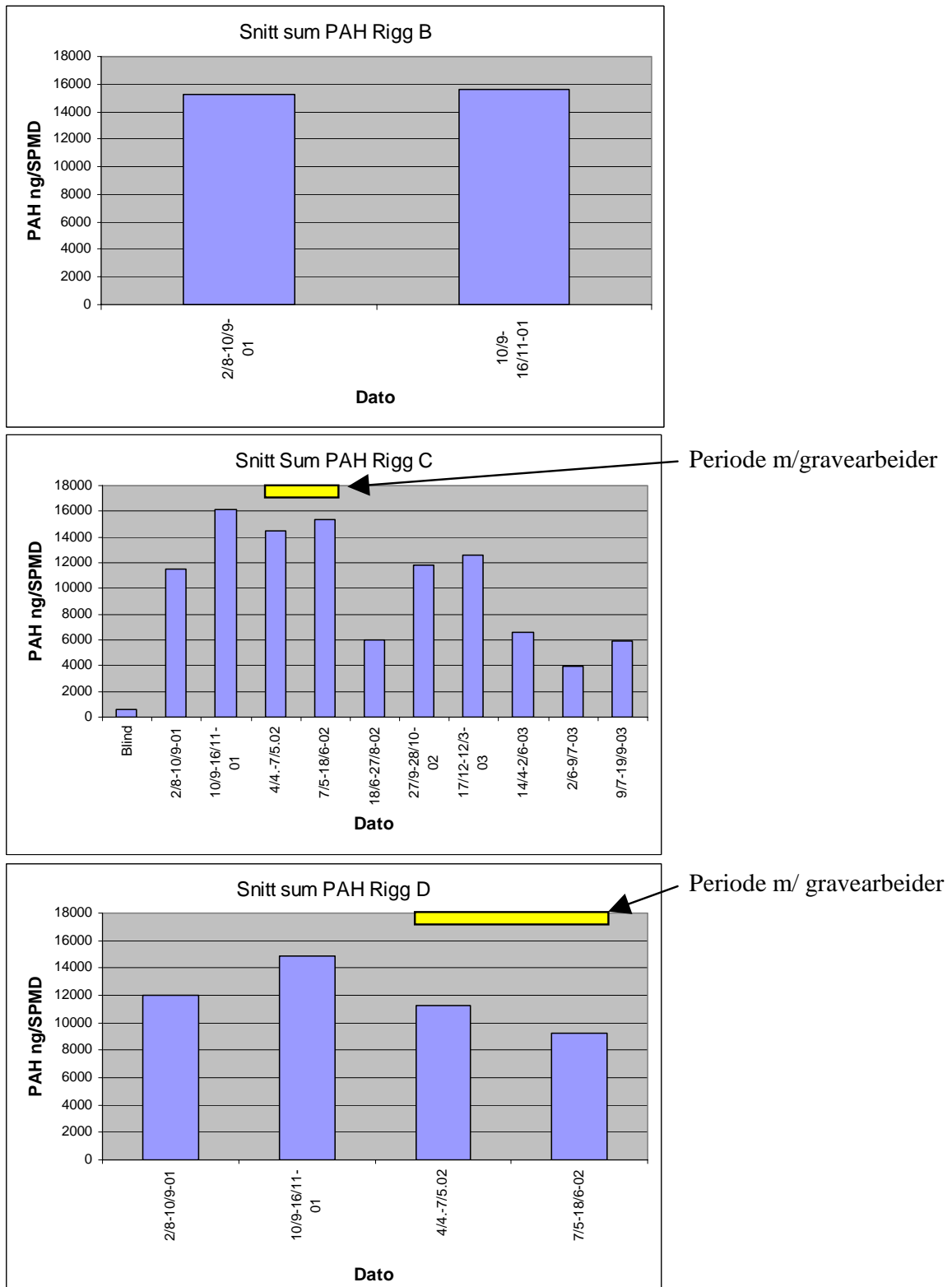
Rigg A (Akvaforsk) akkumulerte klart mindre PAH enn riggene i sjøen over hele måleperioden (**Figur 6**). Høyeste akkumulering ble registret i periode 5 (7/5-18/6-02, *under omfylling og tildekking*), og det var et entydig fall i akkumulering over de neste 3 måleperiodene.

Det var ingen entydig forskjell i PAH-profil mellom de fire riggene A, B, C og D under fase 1 (se kap 4.5). Profilene var preget av en overvekt av tunge forbindelser i periode 1, men forskjøv seg i alle riggene mot større dominans av pyren og fluoroanten utover vinteren/våren 2002. De to riggene med målinger i periode 6 (18/6-27/8-02), A og C, viste en delvis reversering av profilendringen i denne perioden (**Figur 10** og **Figur 11**). For rigg C var dette sammenfallende med en sterk reduksjon i PAH akkumulering (cf **Figur 5**). Dette tyder på at det inntrådte et skifte i kildedominans under periode 6.

Resultatene viser derfor at gravearbeidene på land og i sjø våren 2002 ikke førte til påviselig økning i løst PAH i vannmassene i nærområdet (riggene ved fyllingskanten) utenfor Hydro Aluminium Sunndal. I vanninntaket til Akvaforsk ble den høyeste akkumuleringen av PAH funnet i periode 5 (7/5



– 18/6 02) som dekker siste del av graveperioden. En sammenheng kan ikke utelukkes, dvs at PAH-partikler mobilisert under anlegg er før utover fjorden med brakkvannsstrømmen, og ved utsynking er ført innover igjen i den dypere kompensasjonsstrømmen og har passert Akvaforsks inntak. En slik hypotese er imidlertid ikke mulig å verifisere.



**Figur 5.** Snitt sum-PAH (ng/SPMD) i SPMD fra rigg B, C og D utenfor deponifronten. Gul linje indikerer periode med grave/mudringsarbeider.

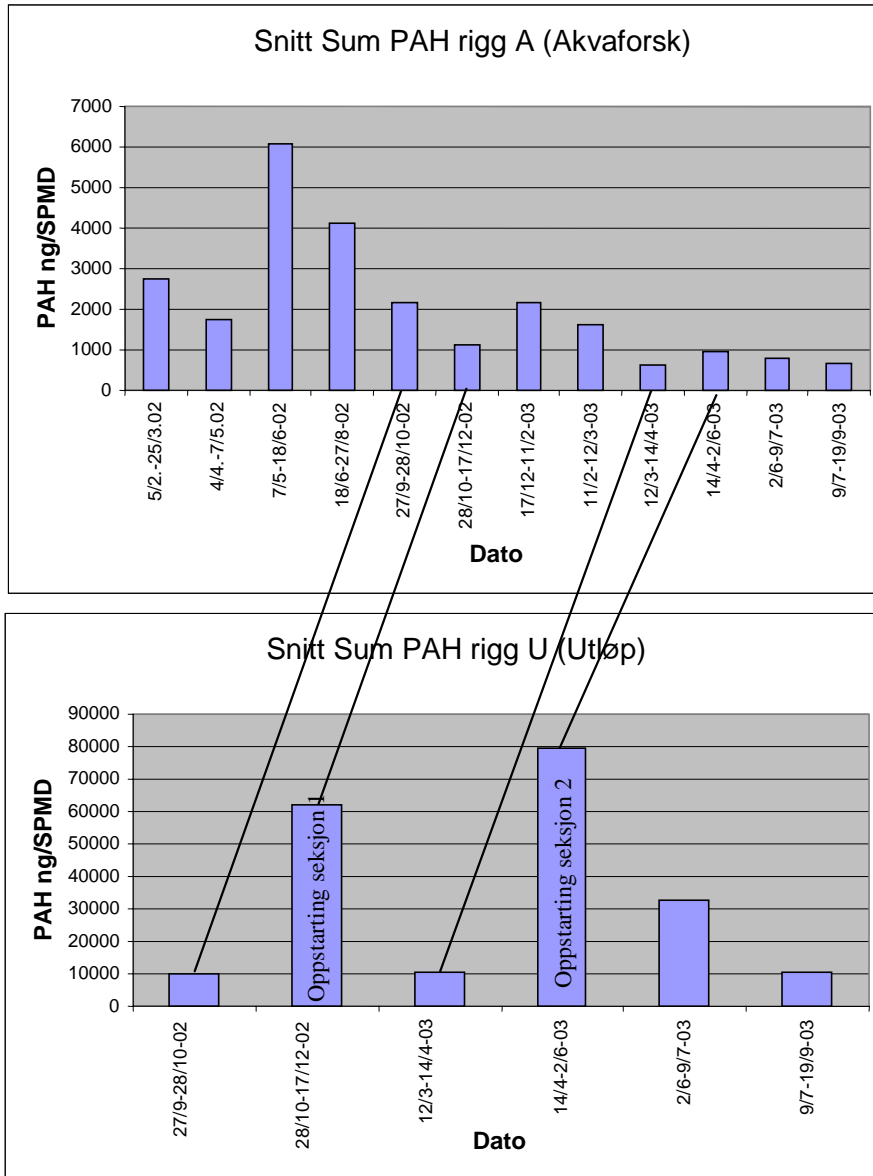
### 4.3 Målinger av PAH under omlegging av produksjonsprosessen (fase 2)

For å overvåke PAH-utslippet ved omlegging til 100 % prebake ble tre SPMD-rigger satt ut (**Figur 3**, rigg C, rigg A (Akvaforsk) og rigg U (Utløp)). Normalt vil man fra slike anlegg ikke ha noe PAH-utslipp (HAS, notat 14/12-03); unntaket er under oppstart av nye celler. Oppstart av renseanleggets seksjon 1 foregikk i perioden november 2002 til februar 2003, med et vannforbruk ca. 2500 m<sup>3</sup>/h (0,7 m<sup>3</sup>/sek). Oppstart av seksjon 2 foregikk i perioden mai 2003 til august 2003, med et tilsvarende vannforbruk.

Resultatene fra SPMD-undersøkelsene viser at omleggingen i produksjonsprosessen og den målte reduksjonen i utslippet av PAH (**Figur 4**) har hatt mest entydig innvirkning på rigg C og på vanninntaket til Akvaforsk (Rigg A). På rigg A ble det allerede fra juni 2002 observert en gradvis nedgang av akkumulert sumPAH (**Figur 6**). Verdiene gikk fra 6000 ng/SPMD i juni 2002 (før omlegging) til under 1000 ng/SPMD i september 2003 (etter omlegging). På rigg C var det i den samme perioden en reduksjon fra ca. 14000 ng/SPMD til ca. 6000 ng/SPMD (**Figur 5**). Dette kan tyde på at det generelt var mindre løst PAH i vannmassene.

SumPAH akkumulert i membranene på rigg U utenfor utløpsrøret (**Figur 6**) varierende mye og hadde på det meste opp mot 10 ganger så høye verdier (100330 ng/SPMD) som ble registrert på rigg C. Episodisk eksponering til selve utslippsstrømmen og til relativt høyt PAH-nivå kan forklare denne variasjonen (diskutert i kapittel 4.4). Periodene med høyest akkumulering på rigg U er sammenfallende med oppstart av seksjon 1 og 2, og det kunne derfor være nærliggende å tro at oppstarten av de nye seksjonene var årsaken til de høye PAH-konsentrasjonene i utløpet. Som vist i kapittel 4.4 var imidlertid akkumulert sum PAH i rigg U avhengig av eksponeringstiden, slik at normalisering mot standard eksponeringstid var påkrevd for å få sammenlignbar eksponering. Som vist i **Figur 8** førte slik normalisering til at sammenhengen med høy akkumulering og oppstart av seksjon 1 og 2 falt bort, og at akkumuleringen i siste periode (juli-september 03) var betydelig lavere enn i de foregående periodene.

Den gradvise reduksjonen i PAH akkumulert på rigg C og spesielt rigg A i løpet av 2003, tyder også på at den totale belastningen av løst PAH i vannmassene i indre del av Sunndalsfjorden har gått ned. Vi anser likevel at observasjonsperioden har vært for kort til å fastslå denne tendensen, spesielt for rigg U, og støtter HSA's beslutning om å fortsette målingene på de 3 riggene.

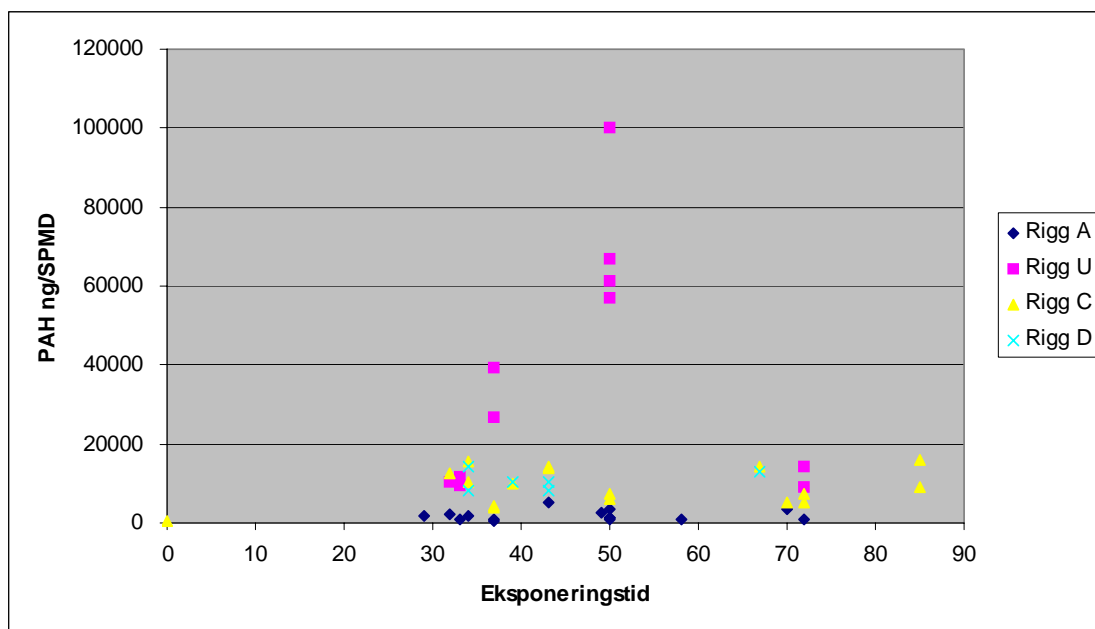


**Figur 6.** Sum PAH ng/SPMD fra utløp (rigg U) og Akvaforsk (rigg A). **NB** Merk stor forskjell i konsentrasjonsskala på rigg U og rigg A.

#### 4.4 Akkumulering i SPMD som funksjon av eksponeringstid

Som nevnt før vil akkumuleringsraten av PAH i trioleinen variere med molekylstørrelsen. Følgelig vil ulike komponenter nå metning i SPMD til ulikt tidspunkt. Ved en sammenlikning av SPMDer fra ulike steder og til ulik tid er det derfor viktig at eksponeringstiden er så lik som mulig. Av ulike grunner varierte eksponeringstiden betydelig i denne undersøkelsen. I **Figur 7** har vi plottet sumPAH i prøvene som funksjon av eksponeringstidens varighet for å se om noe mønster avtegnet seg.

For riggene A, C og D var det ikke noen klar sammenheng. Dette tyder på at den korteste eksponeringstiden brukt i undersøkelsen (1 mnd) har vært tilstrekkelig til å oppnå tilnærmet likevektstilstand mellom PAH i trioleinen og i omgivende vannmasser i disse to områdene. For disse riggene har vi derfor ikke gjort noen normalisering i forhold til eksponeringstid.



**Figur 7** Konsentrasjon av sumPAH (ng/membran) i riggene med passive prøvetakere som funksjon av eksponeringstid. Data er korrigert for endring i analysemetode og forskjell mellom paralleller.

For rigg U ved utløpet viser **Figur 7** en gradvis økende akkumulering med eksponeringstid opp til 50 dager, dvs at likevekt har tatt mye lenger tid å oppnå enn på de andre riggene. For siste eksponeringsperiode (periode 16) var akkumuleringen i rigg U mye lavere igjen selv med en eksponeringstid på 72 dager.

Mønsteret for rigg U fram til 50 dager kan enten skyldes at opptaket domineres av meget tunge PAH-forbindelser som det tar lang tid å oppnå likevekt for, eller at riggen har vært eksponert til korte episoder med høy konsentrasjon av PAH, og at det skal et visst antall slike episoder til for at "likevekt" med omgivende vann oppnås. Alternativ 1 motsies av profilundersøkelsene beskrevet i neste kapittel. **Figur 9** sammenholdt med vedlegg 6.3 viser at opptaket i rigg U i alle perioder var dominert av middels tunge forbindelser som pyren, fluoranten og fenantren. **Figur 12** sammenholdt med **Tabell 2** viser videre at det ikke var noen sammenheng mellom eksponeringstidens varighet og PAH-profil på rigg U. Alternativ 2 er mer sannsynlig siden riggen sto i nærheten av avløpet fra renseanlegget og ca 18 m grunnere enn dette. Riggen ble plassert der for å bli truffet av avløpsstrømmen, som man må regne med vil stige oppover i primærfortynningsfasen. Hvorvidt denne strømmen treffer riggen og i hvor lange perioder, vil avhenge av strømforholdene, og selv om resultatene klart viser kontakt mellom avløpsvann og rigg, er det er all grunn til å tro at kontakten har vært episodisk. Riggen har derfor reflektert både konsentrasjon i avløpsstrømmen og hyppighet og varighet av kontaktepisoder. Den gradvise, nærmest lineære økningen med varighet av eksponeringsperioden mellom 30 og 50 dager viser at likevekt med PAH i avløpsstrømmen ikke er oppnådd i noen periode.

Vi har derfor normalisert akkumuleringen i rigg U til en standard eksponering på 30 dager (**Figur 8**). Dette er på basis av den eksponensielle stigningen fra 0 til 50 dager beskrevet ved likningen

$$^{10}\log(\text{sumPAH}) = 2,83 + 0,041(\text{eksponeringstid})$$

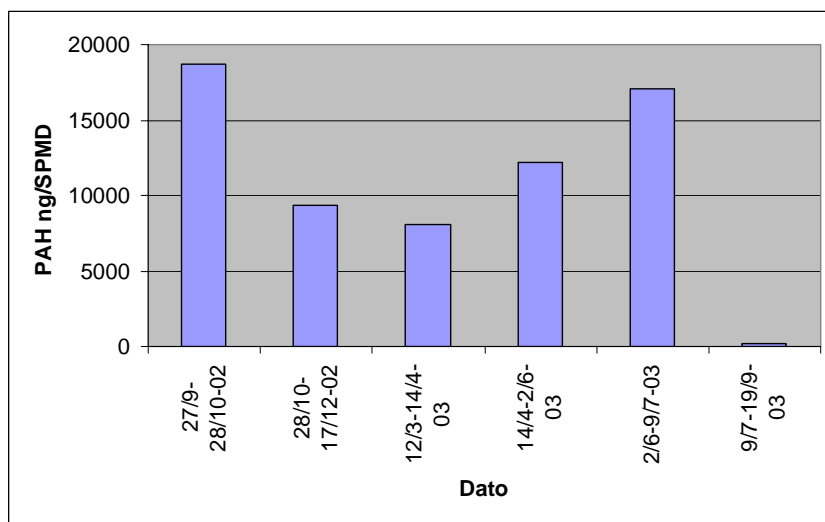
Denne regresjonen reflekterte en korrelasjonskoeffisient så høy som 0,97. Normaliseringen er gjort ved å anvende følgende formel på hver prøve fra rigg U:

$$^{10}\log(\text{sumPAH}_{\text{norm}}) = ^{10}\log(\text{sumPAH}_{\text{målt}}) + 0,041(30 - t_{\text{exp}})$$

der  $t_{\text{exp}}$  er reell eksponeringstid.

Normaliseringen vil i prinsipp bare være gyldig for dette tidsintervallet siden vi ikke vet om en utflating egentlig ville skje etter 50 dager ved konstant belastning i avløpet. Normalisering for prøvene eksponert i 72 dager må derfor ansees som betydelig mindre pålitelig enn for de øvrige.

Normaliseringen (**Figur 8**) viser at akkumuleringen i rigg U hadde en topp i første periode høsten 2002, at den var lavere gjennom vinterperioden 2002-2003, og at det var en ny topp i juni 2003, men at akkumuleringen i siste periode var betydelig lavere enn i alle foregående. Selv om normaliseringen for denne perioden er mindre pålitelig enn for de foregående vurderer vi forskjellen som reell. Hadde akkumuleringsraten vært like stor i denne perioden som de foregående burde også **Figur 7** vise sumPAH nivåer minst på linje med de som ble funnet ved 50 dagers eksponering.



**Figur 8.** Snitt sumPAH (ng/SPMD) i SPMD fra rigg U ved utløpet normalisert til en standard eksponeringstid på 30 dager.

#### 4.5 Sammensetning av akkumulert PAH (PAH-profil)

Likheter mellom prøver og endringer over tid i sammensetningen av PAH akkumulert i SPMD-membranene ble analysert ved bruk av prinsipalkomponent-analyse. Analysen regner ut ulikheten mellom profilene i et flerdimensjonalt koordinatsystem, men resultatene er projisert ned i 2 dimensjoner ved framstilling (se metodekapitlet), der avstanden mellom punktene i plottet er mål for likhet (liten avstand – stor likhet). Prosentangivelsen på aksene indikerer hvor godt 2D-plottet reflekterer de flerdimensjonale resultatene.

Analysen viser også hvilke PAH-forbindelser som dominerer eller særpreger profilene. Dette kan angies i samme koordinatsystem, men for å bedre leseligheten av hovedfigurene er disse vist i egne figurer i vedlegg 6.3. Sammenfallende posisjon mellom en prøve og en PAH-forbindelse viser at denne komponenten særpreger profilen. Som tidligere nevnt er analysen gjort på grunnlag av alle PAH-forbindelsene og på 3-6 ring forbindelsene alene. Bare førstnevnte er vist i figurer.

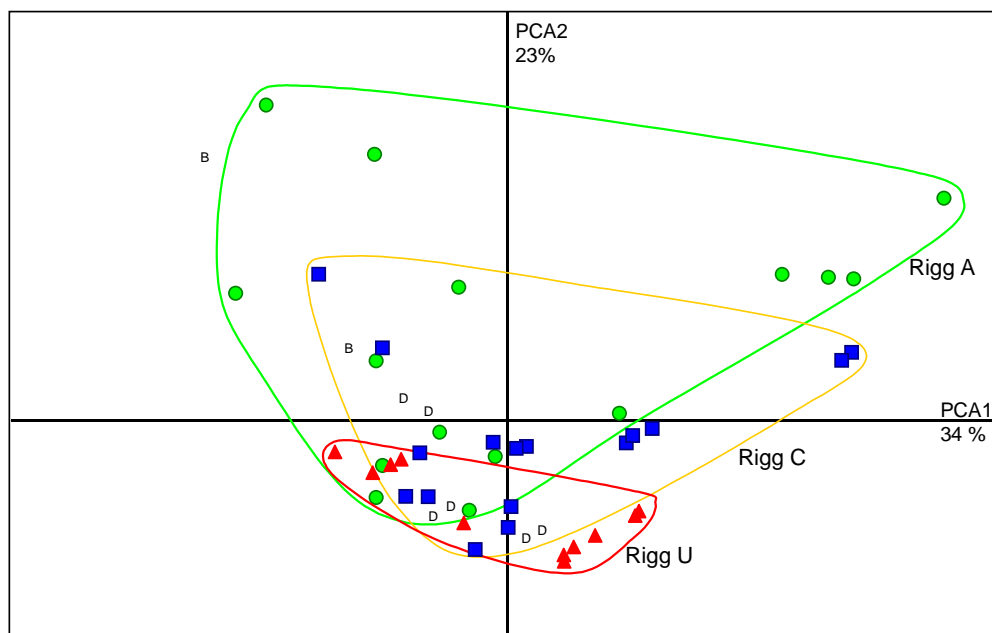
#### 4.5.1 Alle prøver, alle PAH-forbindelsene

Analysen viste at det ikke var entydig skille i profiler mellom de ulike riggene siden prøvene plasserer seg om hverandre i plottet (**Figur 9**). Det var likevel en viss forskjell mellom rigg U ved utløpet og rigg A (Akvaforsk). Profilene på Rigg C viste en mellomting. Skillet mellom de tre riggene A, C og U var beskrevet av prinsipalkomponent-akse 2 (PCA2). Alle prøvene fra rigg U og de fleste fra rigg C hadde negative koordinatverdier langs PCA2, mens de fleste fra rigg A lå på positiv side. Analysen viste at prøvene på negativ side langs PCA2 var preget av høy relativ forekomst av fluoranten, fenantren og pyren (Vedlegg 7.3). Prøvene fra rigg B og D skilte seg ikke fra rigg C, med unntak av rigg B i periode 1 (2/8-01 til 10/9-01). Rigg A hadde størst variasjon i profil over hele feltperioden. Rigg U hadde minst profilvariasjon.

PCA1 og PCA2 forklarte hhv bare 34 og 23 % av total varians, til sammen 57 %. Dette betyr at nesten halvparten av variansen ikke vises i et 2D plott langs disse aksene.

#### 4.5.2 Alle prøver, 3-6 ring forbindelsene

Denne analysen viste mye av de samme tendensene som forrige, også her med klart størst profilvariasjon på rigg A, og minst på rigg U.



**Figur 9.** Fordeling av alle prøvene etter likhet i relativ PAH-sammensetning i et prinsipalkomponentplott. Prøvene vises som punkter i diagrammet, og prøver fra samme rigg er gitt samme farge og symbol og omsluttet av sirkellinje med tilsvarende farge. Grønn sirkel: rigg A; blå firkant: rigg C; rød trekant: rigg U. Rigg B og D er angitt med bokstav.

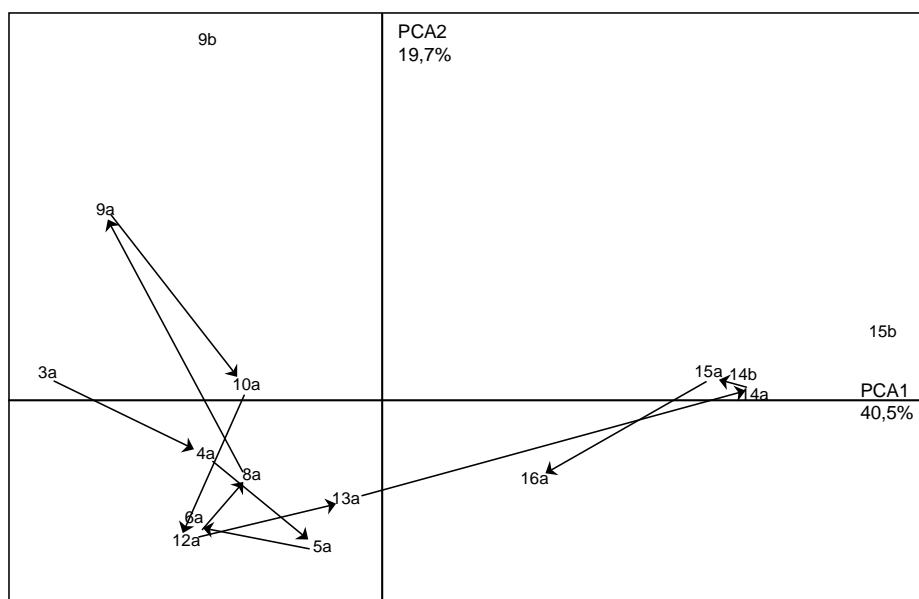
#### 4.5.3 Rigg A – alle PAH-forbindelsene

Pilene i **Figur 10** viser endringer i profil av PAH akkumulert i rigg A over tid. Profilendringene foregikk først og fremst langs PCA1, som forklarer 40,5 % av total varians. PCA1 skilte også 2-rings PAH-forbindelsene samt Fenantren og Fluoren fra de tyngre forbindelsene (Vedlegg 7.3). Analysen viser at det skjedde en klar profilendring fra 14/4-03 og utover resten av forsøksperioden da 2-rings forbindelser samt fenantren og fluoren ble mest dominerende. Dette sammenfalt med en svak økning i sum PAH (cf. **Figur 6**), men ellers var dette en periode med relativt stabil og lav akkumulering i rigg A.

Perioden 28/10-17/12-02 (periode 9 i figuren) viste også et profilavvik fra perioden før og etter, med midleretidig dominans av de aller tyngste komponentene. I samme periode akkumulerte rigg A bare halvparten så mye sumPAH som i periodene før og etter (**Figur 6**).

#### 4.5.4 Rigg A – 3-6 rings forbindelsene

Analysen viste samme hovedtrekk som analysen basert på alle forbindelsene. Profilen etter 14/4-03 skilte seg også her ut på grunn av den høye relativ forekomst av fenantren og fluoren. Profilavviket med dominans av de tyngste PAHene i perioden 28/10-17/12-02 forplantet seg nå også inn i neste periode (17/12-02 til 11/2-03).



**Figur 10.** Endring i PAH-profil over tid i SPMDer på rigg A. Tallene angir eksponeringsperiode som gitt i tabell 2. Parallele membraner er merket a og b. Pilene viser tidsforløpet for membran a.

#### 4.5.5 Rigg C – alle PAH-forbindelsene

Analysen viste klare endringer i profil over tid (**Figur 11**). Fra andre til fjerde eksponeringsperiode endret profilen seg fra dominans av en rekke tunge forbindelser til dominans av pyren og fluoranten (Vedlegg 7.3). Etter dette og fram til og med periode 11 (slutt 12/3-03) endret profilen seg lite på rigg C, selv ikke i den eksponeringsperioden da buret lå på bunnen før det ble funnet igjen 12/3. I eksponeringsperiode 14 fra 14/4-03 til 25/6-03 var profilene sterkt dominert av 2-rings forbindelser samt fenantren og fluoren, samtidig som akkumulert sum PAH gikk ned (**Figur 5**). Denne profildominansen ble gradvis svekket over de to siste eksponeringsperiodene.

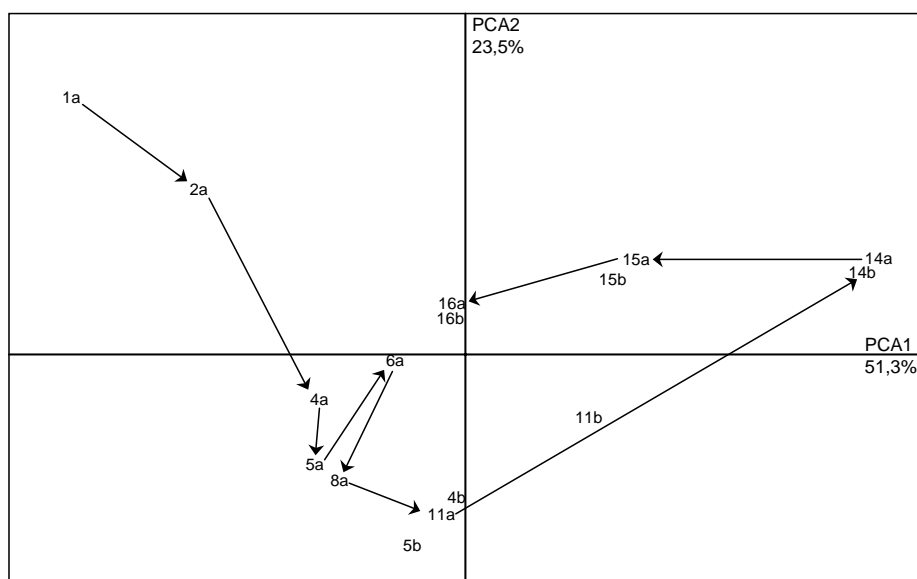


#### 4.5.6 Rigg C – 3-6 rings forbindelsene

Analysen viste samme hovedtrekk som analysen basert på alle forbindelsene. Profilendringene over tid gikk fra dominans av de fleste tunge PAH-forbindelsene høsten 2001, via dominans av pyren og fluoranten i perioden april-02 til mars-03, og deretter dominans av fenantren og fluoren i april-juni og delvis resten av prøveperioden.

#### 4.5.7 Rigg B og D

Det er ikke gjort separate profil-analyser av disse riggene, men profilendringen over tid fulgte samme mønsteret som på rigg C i perioden 1-5 (**Figur 11**). Profilendringen mellom første og andre eksponeringsperiode var større på rigg B enn på rigg C, og svært liten på rigg D.



**Figur 11.** Endring i PAH-profil over tid i SPMDer på rigg C. Tallene angir eksponeringsperiode som gitt i tabell 2. Parallelle membraner er merket a og b. Pilene viser tidsforløpet for membran a.

#### 4.5.8 Rigg U – alle PAH-forbindelsene

PAH-profilene på denne riggen viste også en klar endring over tid (**Figur 12**). I de to første periodene, fra 27/9-02 til 17/12-02 var profilene preget av en rekke tunge forbindelser som benzo(bjk)fluoranten, benzo(e)pyren, indeno(1,2,3cd)pyren og benzo(ghi)perylene (Vedlegg 7.3). I etterfølgende tre perioder fra 17/12-02 til 9/7-03 var profilene mer dominert av 2-rings forbindelser samt fenantren, antracen og fluoren. I siste periode 9/7-03 til 19/9-03 var profilene dominert av middels tunge forbindelser som benz(a)antracen og benzo(a)pyren, og til dels av metylnaftalen. Analysen indikerte ikke at oppstart av seksjon 1 og 2 hadde innvirkning på PAH-profilene på rigg U.

Profilendringene foregikk i omtrent like stor grad langs PCA1 og PCA2, som forklarte hhv 54,5 og 19,0 % av total varians.

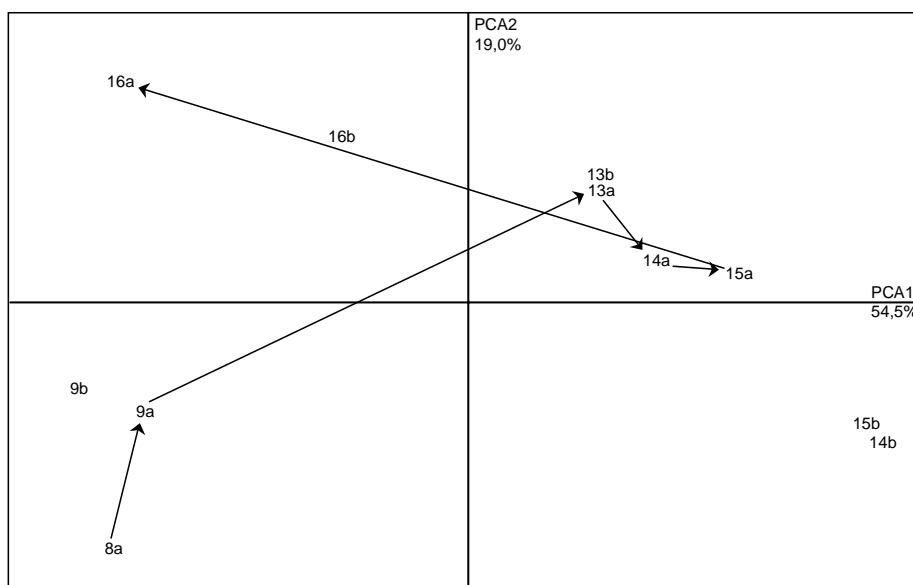
#### 4.5.9 Rigg U – 3-6 rings forbindelsene

Analysen viste samme klare profilendring over tid som analysen basert på alle forbindelsene. Den viste også at man ved å holde 2-rings forbindelsene utenfor analysen fikk større likhet i profil mellom parallelle membraner.

#### 4.5.10 Samlet inntrykk av profilendringene

Til tross for relativt stor variasjon i PAH-profil over tid på de ulike riggene ble det som tidligere nevnt funnet en systematisk forskyvning i profilene fra rigg U ved utløpet, via riggene B, C og D langs fyllingskanten til rigg A i inntaksvannet til Akvaforsk. Dette samsvarer godt med antatt kildepåvirkning, der renseanleggsavløpet må forventes å dominere rundt rigg U. Riggene B, C og D vil også sannsynligvis til tider bli på virket av avløpet, men også av evt avrenning fra deponiområdene på land. Vannkilden til Rigg A ligger lenger vekk fra disse potensielle PAH-kildene, på andre siden av Drivas og Litledalselvas utløp og på 40 m dyp. Sirkulasjonsmønsteret beskrevet tidligere indikerer også at PAH fra avløp og evt avrenning sannsynligvis transporteres utover fjorden med brakkvannsstrømmen før en eventuell retur innover igjen med den dypere kompensasjonsstrømmen. På grunn av dette bør man regne med en mer diffus og variabel PAH-inflytelse på denne riggen, slik figur P1 viser.

Profilendringene over tid foregikk til en viss grad parallellt i riggene. Det mest særpregede var at alle profilene fikk en dominans av 2-rings og mindre 3-rings forbindelser på våren-sommeren 2003. Endringen skjedde fra mars på rigg U og fra april på de to andre riggene. For rigg A og C var dette sammenfallende med relativt lave konsentrasjoner av sumPAH, og forklaringen er at den relative betydningen av de lettere PAH-forbindelsene ble større ettersom den totale PAH-belastningen gikk ned. Et tilsvarende sammenfall mellom lavere sum PAH og dominans av 2-3 rings PAH kom ikke klart fram på rigg U (**Figur 12** og **Figur 8**), så mest sannsynlige forklaring herfra er at utslippet har endret PAH-profil etter igangsetting av renseanlegget. Dette vil også forklare en dreining mot 2-3 rings dominans på rigg C og A noe senere enn på rigg U. Vi har imidlertid ikke data for profilendringer i selve utslippsvannet som evt kan støtte forklaringen.



**Figur 12.** Endring i PAH-profil over tid i SPMDer på rigg U. Tallene angir eksponeringsperiode som gitt i tabell 2. Parallele membraner er merket a og b. Pilene viser tidsforløpet for membran a.

#### 4.6 Sammenlikning med andre undersøkelser

Det er relativt få andre undersøkelser å sammenlikne de funne SPMD-konsentrasjonene av sum PAH med. I en undersøkelse gjort i sjøen utenfor Sola-raffineriet (oktober 2000) lå verdiene av sum PAH i området 1600 – 2500 ng/SPMD inne i Risavika (belastet havneområde), og fra 350 ng/SPMD og

lavere i åpent farvann utenfor (Berge et al. 2000). I en undersøkelse utenfor Norsk Gjenvinning i Drammensfjorden (gjenvinning av skrapmetall) ble det målt konsentrasjoner på 3000 – 5000 ng sumPAH/SPMD (Helland 2002). Utenfor kaiområdene ved gassterminalen på Kårstø og i referanseområder noe lenger unna ble det i 2002 målt 500 – 1225 ng/SPMD (Bakke 2003). I prøvetakere satt i nærområdet utenfor deponi og primærutslipp i Vefsnfjorden ved Mosjøen er det nylig påvist sumPAH-konsentrasjoner på 120 000 til 700 000 ng/SPMD (Næs, pers medd.). Alle disse undersøkelsene er gjort med samme utstyr og prøvene analysert ved samme laboratorium. Bakgrunnsakkumulering i norske kystområder viste ut fra dette å ligge rundt 300-500 ng/SPMD. Akkumulering i typiske havneområder synes være 8-10 ganger høyere.

Konsentrasjonene av løste PAH-forbindelser i sjøen utenfor Hydro Sunndal synes derfor å være høye i forhold til havneområder generelt, men langt lavere enn det som er funnet utenfor tilsvarende industri i Mosjøen. Konsentrasjonen i vanninntaket til Akvaforsk synes ut fra dette også å ligge 2-10 ganger høyere enn det som er funnet i antatt rene kystområder.

## 5. Konklusjoner

- Gravearbeidene på land og i sjø ved Hydro Aluminium Sunndal våren 2002 førte ikke til påviselig økning i løst PAH i vannmassene i sjøen utenfor, med mulig unntak for en forsinket virkning på sjøvannsinntaket til Akvaforsk.
- Produksjonsomleggingen fra søderbergproduksjon til prebakeproduksjon høst-vinter 2002-2003 synes å ha gitt en reduksjon i løst PAH i vannmassene i nærområdet rundt renseanleggenes utløp til sjøen sommeren 2003. Målinger utenfor fyllingskanten for settlingsbassengene og i vanninntaket til Akvaforsk tyder også på at den totale belastningen av løst PAH i vannmassene i indre del av Sunndalsfjorden har gått ned i løpet av 2003. Målingene bør imidlertid fortsette for å kunne fastslå denne tendensen.
- Konsentrasjonene av løste PAH-forbindelser i sjøen utenfor Hydro Sunndal synes å være høye i forhold til havneområder generelt, men langt lavere enn det som er funnet utenfor tilsvarende industri i Mosjøen. Konsentrasjonen i vanninntaket til Akvaforsk synes å ligge 2-10 ganger høyere enn det som er funnet i antatt rene kystområder med samme metodikk.
- Til tross for relativt stor variasjon i PAH-sammensetning (profil) over tid i prøvene fra de ulike stasjonene var det en systematisk gradient i PAH-profil fra prøver ved utløpet fra renseanlegget, via prøvene langs fyllingskanten, til prøvene i inntaksvannet til Akvaforsk. Dette samsvarer godt med antatt kildepåvirkning.
- Endringene i PAH-profil over tid foregikk til en viss grad parallelt på de ulike stasjonene. Det mest særpregede var at alle profilene fikk en dominans av 2-rings og mindre 3-rings forbindelser på våren-sommeren 2003, noe som muligens reflekterer en endring i utslippsvannets profil etter prosess-endringen.
- En eksponeringstid på 1 mnd synes å ha vært tilstrekkelig til å oppnå likevekt mellom PAH i de passive prøvetakerne og i omgivende vannmasser et stykke unna utløpet fra renseanlegget. Slik likevekt ble ikke oppnådd selv etter 50 dagers eksponering i utløpets nærhet, sannsynligvis fordi avløpsvannet ga en høy, men episodisk eksponeringen til PAH.

## 6. Referanser

Bruskeland, O., 2002: Hydro aluminium Sunndal SU4 srosjektet. Sjøbunnsarbeider. Mudring og graving. Miljøoppfølging. Noteby.

Huckins, J.N. Petty, J.D., Prest, H.F., Clark, R.C., Alvarez, D.A., Orazio, C.E., Lebo, J.A., Cranor, W.L., and Johnson, B.T., A., 2002: Guide for the Use of Semipermeable Membrane Devices (SPMDs) as Samplers of Waterborne Hydrophobic Organic Contaminants: Report for the American Petroleum Institute (API), Washington, D.C., API Publication No. 4690.

## 7. Vedlegg

### 7.1 Ekstraksjonsmetoder

#### **Ekstrahering av SPMD-membraner, gammel metode**

Membranen taes ut av oppbevaringsboksen og vaskes i destillert vann, tørkes med papir og overføres til et syltetøyglass. Internstandard for PCB og PAH tilsettes sammen med 150 ml diklormetan:cykloheksan 1:9. Dette står i 24 timer før løsemiddelet helles av og nytt løsemiddel helles på. Står nye 24 timer og løsemiddelet skiftes på nytt. Står nye 24 timer og det siste løsemiddelet helles av og kombineres med de to første ekstaktene. Dette (ca 450ml) dampes inn til ca 1 ml og filtreres over til et GPC-vial og fortynnes til 3 ml. 2 ml av dette ekstraktet gjennomgår en GPC-opprensing. Etter GPC blir ekstraktet splittet i to. En del går til PCB analyse (ikke anvendt i dette prosjektet) og en del til PAH analyse. PAH-delen blir dampet ned til et lite volum (50-500 µl) og injiseres på GC-MSD.

#### **Ekstrahering av SPMD, ny metode**

Membran-overflaten rengjøres med destillert vann og papir som ovenfor. Deretter settes membranen inn i en valse for utpressing av trioleinen. Membranen trekkes gjennom en valsen slik at alt trioleinet samles i den ene enden. Et lite hull klippes i denne enden og trioleinen overføres til et tarert GPC-vial. Dette glasset veies igjen og vekt av trioleinet regnes ut. Cykloheksan tilsettes og prøven sentrifugeres. Evt vannrest fjernes så med pipette. Ekstraktet tørkes videre med Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> damp til det kun er triolein igjen. Dette veies deretter for å bestemme mengden tørket triolein, og internstandard for PCB og PAH tilsettes. Prøven fortynnes til 3 ml og renses på GPC før analyse aom angitt ovenfor.

## **7.2 Rådata-tabell**

Dato	Eksponering	Kode	NAP-SPMD	NAP2M-SPMD	NAP1M-SPMD	BIPN-SPMD	NAPDI-SPMD	ACNLE-SPMD	ACNE-SPMD
	dager		ng/SPMD	ng/SPMD	ng/SPMD	ng/SPMD	ng/SPMD	ng/SPMD	ng/SPMD
			Naftalen	2-M-Naf.	1-M-Naf.	Bifenyl	2,6-Dimetylnaftalen	Acenaftilen	Acenaften
5/2.-25/3.02	49	Akva-1-O	15	20	20	5	5	22	36
4/4.-7/5.02	34	Akva-2-O	22	35	26	5	22	55	71
7/5-18/6-02	43	Akva-3-O	69	92	70	100	31	64	77
18/6-27/8-02	70	Akva-4-O	19	12	11	11	39	75	64
27/9-28/10-02	32	Akva-5-O	91	59	32	13	55	14	77
28/10-17/12-02	50	Akva-6-O	72	110	80	87	22	38	63
28/10-17/12-02	50	Akva-6-U	16	57	33	30	2	2	38
17/12-11/2-03	58	Akva-7-O	93	54	34	32	59	10	50
11/2-12/3-03	29	Akva-8-O	6	6,3	4,6	4,1	2,7	1	5,4
12/3-14/4-03	33	Akva-9-O	6	16	10	5,9	5,8	2,1	6,9
14/4-2/6-03	50	Akva-10-O	73	150	100	120	13	15	57
14/4-2/6-03	50	Akva-10-U	59	120	82	88	3,8	15	48
2/6-9/7-03	37	Akva-11-O/U	23	35	36	48	0	15	44
2/6-9/7-03	37	Akva-11-O/U	190	83	100	73	2	90	61
9/7-19/9-03	72	Akva-12-O	2	6,9	8,1	7,7	0	15	40
27/9-28/10-02	32	Av-1-O	252	155	93	84	64	149	168
28/10-17/12-02	50	Av-2-O	190	460	340	500	62	120	480
28/10-17/12-02	50	Av-2-U	170	370	280	420	50	110	420
12/3-14/4-03	33	Av-3-O	84	195	97	156	19	22	37
12/3-14/4-03	33	Av-3-U	119	225	109	190	25	24	41
14/4-2/6-03	50	Av-4-O	960	2200	1300	3300	180	550	840
14/4-2/6-03	50	Av-4-U	1200	2500	1500	3400	170	470	760
2/6-9/7-03	37	Av-5-O	230	640	480	1300	67	340	400
2/6-9/7-03	37	Av-5-U	290	630	470	1300	84	270	360
9/7-19/9-03	72	Av-6-O	22	27	19	34	17	15	43
9/7-19/9-03	72	Av-6-U	63	41	31	57	4	18	54
2/8-10/9-01	39	B1	262	234	181	137	155	372	526
10/9-16/11-01	67	B2	77	121	109	89	133	163	532
08.02.2001	0	BL	49	32	22	10	17	2,7	3,7
Blind	0	C blind	350	504	230	38	92	10	10
2/8-10/9-01	39	C1	159	153	134	96	122	126	412
10/9-16/11-01	67	C2	115	165	168	127	169	190	645
4/4.-7/5.02	34	C3-mem1	43	106	99	80	30	111	483
4/4-7/5-02	34	C3-mem2	23	70	42	33	24	29	150
7/5-18/6-02	43	C4-O	38	140	120	100	76	21	220
7/5-18/6-02	43	C4-U	9,3	42	28	20	20	8,4	120
18/6-27/8-02	70	C5-O	71	99	91	49	63	32	238
27/9-28/10-02	32	C6-O	102	93	71	52	77	40	282
17/12-12/3-03	85	C7-O	129	445	212	169	58	19	219
17/12-12/3-03	85	C7-U	178	660	288	210	85	30	245
14/4-2/6-03	50	C8-O	87	570	460	700	190	96	570
14/4-2/6-03	50	C8-U	80	470	370	550	140	69	480
2/6-9/7-03	37	C9-O	120	74	79	82	12	36	130
2/6-9/7-03	37	C9-U	89	71	78	90	11	40	140
9/7-19/9-03	72	C10-O	26	33	57	28	14	40	120
9/7-19/9-03	72	C10-U	37	52	97	46	26	67	180
2/8-10/9-01	39	D1	132	144	130	84	118	88	363
10/9-16/11-01	67	D2	114	147	156	103	135	161	526
4/4.-7/5.02	34	D3-mem1	68	169	133	75	27	84	396
4/4-7/5-02	34	D3-mem2	17	63	42	31	20	28	117
7/5-18/6-02	43	D4-O	43	120	120	60	93	24	280
7/5-18/6-02	43	D4-U	9,9	49	43	20	19	8,6	138

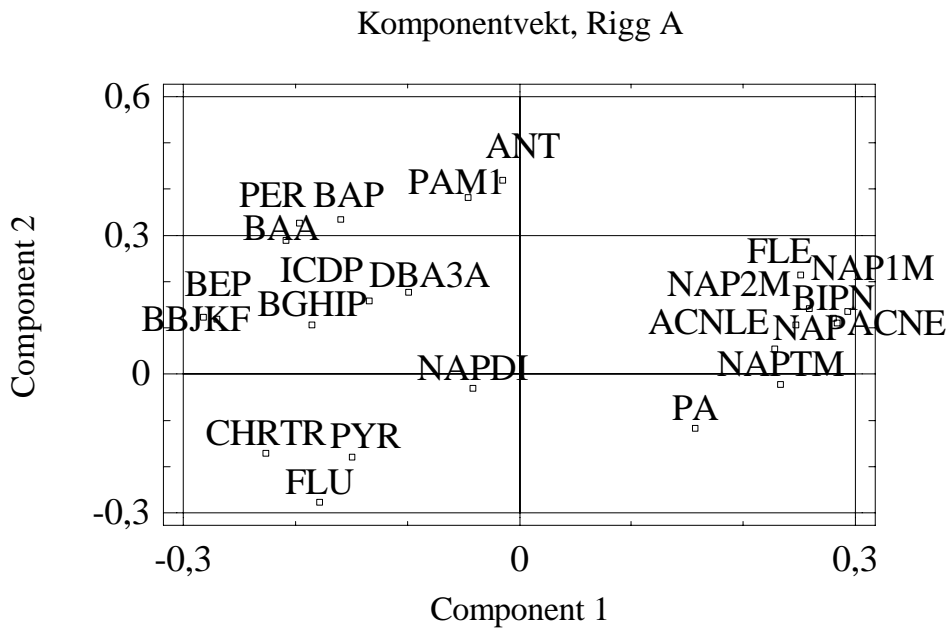
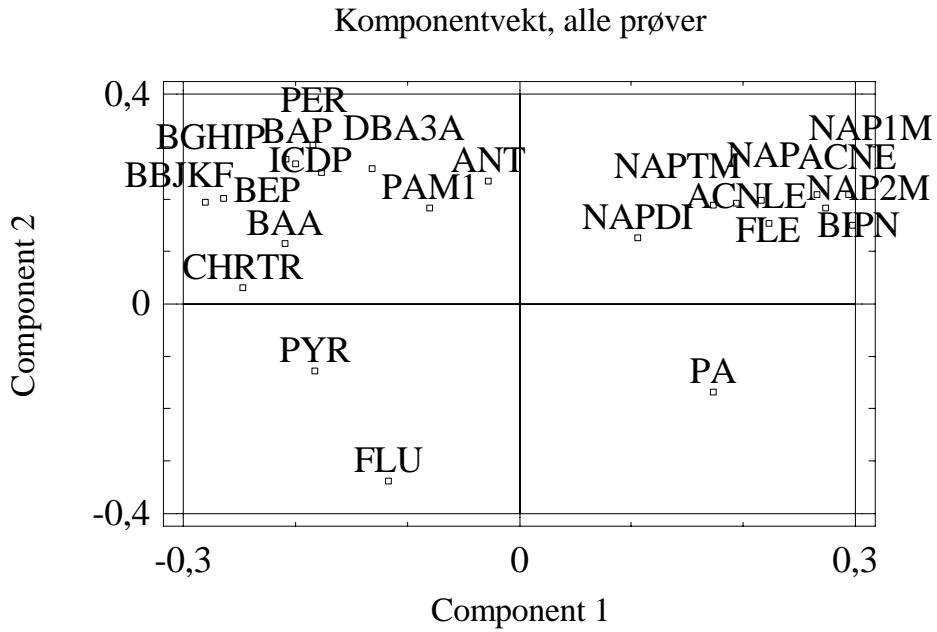
Kode	NAPTM-SPMD	FLE-SPMD	PA-SPMD	ANT-SPMD	PAMI-SPMD	FLU-SPMD	PYR-SPMD	BAA-SPMD	CHRTR-SPMD
	ng/SPMD	ng/SPMD	ng/SPMD	ng/SPMD	ng/SPMD	ng/SPMD	ng/SPMD	ng/SPMD	ng/SPMD
	2,3,5-Trimetylnaftalen	Fluoren	Fenantren	Antracen	1-Metylfenantren	Fluoranten	Pyren	Benz(a)antracen*	Chrysen/trifenylene
Akva-1-O	27	91	481	39	28	1149	631	150	901
Akva-2-O	23	89	276	5	13	1037	338	63	556
Akva-3-O	21	150	2200	25	95	4800	1800	230	910
Akva-4-O	32	44	352	6	26	4130	730	155	944
Akva-5-O	51	21	186	10	11	2930	251	103	430
Akva-6-O	2	62	240	58	70	880	320	120	250
Akva-6-U	2	61	120	80	85	290	140	83	55
Akva-7-O	52	26	165	12	17	612	298	85	191
Akva-8-O	4,1	12	134	5	19	697	359	54	176
Akva-9-O	3	14	136	2,4	7,9	220	110	13	39
Akva-10-O	18	39	140	9,3	8,9	160	72	12	47
Akva-10-U	20	33	130	6,3	7,9	130	62	13	39
Akva-11-O/U	17	32	75	4,1	5,3	110	47	8,1	30
Akva-11-O/U	17	61	130	15	11	100	58	11	27
Akva-12-O	15	27	150	6,2	6,9	230	72	9	42
Av-1-O	52	196	2180	36	94	10900	2240	876	2120
Av-2-O	2	340	7700	170	420	22000	5800	1600	6600
Av-2-U	2	270	6800	150	450	28000	6600	2100	8300
Av-3-O	7,6	117	2840	35	89	3750	1200	149	390
Av-3-U	9,1	135	3560	46	117	4760	1480	198	459
Av-4-O	38	990	22000	650	900	46000	12000	1400	4700
Av-4-U	30	910	17000	340	490	21000	6500	760	2700
Av-5-O	24	590	12000	390	370	15000	4600	390	1500
Av-5-U	29	570	9100	210	230	8600	2700	250	1000
Av-6-O	40	62	1300	50	130	5200	1800	1900	1600
Av-6-U	22	81	1700	43	93	3800	1200	190	780
B1	65	299	3590	380	532	5349	4195	2307	2584
B2	96	808	4280	462	703	7718	5080	1840	2930
BL	7,3	7,9	15	1	6,4	3,5	13	1	1
C blind	10	10	17	10	10	10	10	10	10
C1	56	750	3200	245	444	4700	3152	1382	2158
C2	102	1090	4616	498	559	7807	5245	1764	2908
C3-mem1	90	827	3657	396	310	15980	4952	797	2937
C3-mem2	21	235	1950	56	113	5160	1320	187	515
C4-O	60	290	3500	190	350	13000	6000	930	2800
C4-U	15	219	2290	94	158	6370	2770	375	636
C5-O	44	361	2479	54	197	4563	652	413	850
C6-O	61	359	2430	151	365	14000	4160	870	1860
C7-O	24	230	2070	58	214	8510	1410	636	755
C7-U	28	243	1480	43	112	3920	415	256	287
C8-O	32	480	1800	44	51	1300	400	62	280
C8-U	26	410	1500	38	43	1100	350	54	240
C9-O	21	280	1100	39	47	1100	180	51	250
C9-U	25	290	1100	47	49	1300	280	55	270
C10-O	24	190	1400	45	76	1800	310	100	490
C10-U	28	220	1700	55	92	2500	520	130	710
D1	17	684	3410	162	307	7357	3327	1100	2548
D2	73	931	4476	349	476	8014	5024	1445	2990
D3-mem1	55	690	3384	294	299	16080	4133	547	2868
D3-mem2	15	190	1440	27	71	4080	952	110	499
D4-O	48	360	2400	83	180	10000	4700	520	1800
D4-U	13	331	1770	38	89	3450	1360	144	332



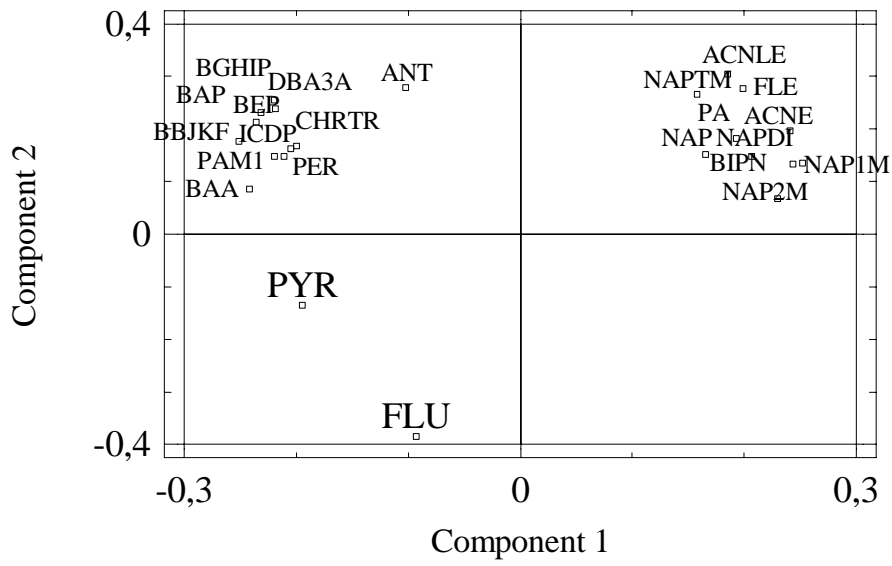
Kode	BBJKF-SPMD	BEP-SPMD	BAP-SPMD	PER-SPMD	ICDP-SPMD	DBA3A-SPMD	BGHIP-SPMD	Sum PAH
	ng/SPMD	ng/SPMD	ng/SPMD	ng/SPMD	ng/SPMD	ng/SPMD	ng/SPMD	
	Benzo(b,j,k)- fluoranten*	Benzo(e)pyren	Benzo(a)pyren*	Perylen	Ind.(1,2,3cd)pyren*	Dibenz.(a,c/a,h)ant.*	Benzo(ghi)perylen	
Akva-1-O	1056	448	95	45	54	25	86	5429
Akva-2-O	445	199	44	18	20	5	34	3401
Akva-3-O	720	300	53	21	30	18	29	11906
Akva-4-O	921	308	50	24	49	17	46	8065
Akva-5-O	400	70	154	28	20	10	20	5036
Akva-6-O	475	200	78	26	160	99	87	3599
Akva-6--U	183	73	75	16	2	2	2	1447
Akva-7-O	247	96	31	17	21	10	19	2231
Akva-8-O	128	66	5,6	3	4,4	3,1	6,8	1707
Akva-9-O	37	19	3,6	2,2	2	1,7	3,3	667
Akva-10-O	29	12	2,4	2	2	2	2,6	1086
Akva-10-U	34	12	4	2	2	2	2,9	916
Akva-11-O/U	24	7,7	2,6	2	2	2	2	572
Akva-11-O/U	15	6	4,2	2	2	2	2	1062
Akva-12-O	22	9,1	2	2	2	2	2	679
Av-1-O	2450	803	224	57	191	29	127	23540
Av-2-O	6800	2400	260	42	320	220	250	57076
Av-2-U	8050	3000	280	50	340	220	270	66702
Av-3-O	209	72	7,3	1,9	4,5	4,3	5	9492
Av-3-U	252	85	8,3	2,7	4,8	4,5	4	11858
Av-4-O	1700	520	37	23	19	2	21	100330
Av-4-U	1000	360	15	15	14	12	17	61163
Av-5-O	710	240	28	13	12	8,9	13	39346
Av-5-U	520	190	31	8,1	11	8,5	12	26874
Av-6-O	1500	310	320	9,2	21	14	23	14456
Av-6-U	490	220	25	8,3	14	6,8	16	8957
B1	3786	1437	1337	445	714	277	723	29887
B2	2995	1109	483	149	294	95	298	30564
BL	3	1	1	1	2,3	1	3,3	205
C blind	10	10	10	10	10	10	10	1401
C1	2680	984	582	167	352	128	371	22553
C2	3026	1210	486	141	283	110	318	31742
C3-mem1	1935	709	286	263	154	55	182	34482
C3-mem2	344	161	48	16	21	12	17	10547
C4-O	2200	790	260	61	120	38	110	31414
C4-U	458	179	37	13	20	12	15	13909
C5-O	981	150	58	23	157	11	47	11683
C6-O	1570	522	222	63	156	19	112	27637
C7-O	590	161	39	20	74	16	42	16100
C7-U	331	71	23	16	49	7	19	8996
C8-O	100	40	8,4	3,9	2,7	2	5,9	7285
C8-U	96	36	6,8	2,3	2,3	2	4,6	6070
C9-O	140	68	11	2,5	10	2	9,4	3844
C9-U	170	63	18	2	9	2,5	11	4211
C10-O	290	110	35	19	18	7,4	16	5248
C10-U	380	190	50	19	22	10	23	7154
D1	2010	658	348	92	203	63	191	23536
D2	2488	958	294	74	83	65	89	29171
D3-mem1	1505	578	154	49	73	23	88	31772
D3-mem2	309	133	22	5,1	9,4	5,6	6,6	8193
D4-O	1300	490	140	30	41	19	36	22886
D4-U	212	89	17	4,5	6,7	3,6	3,2	8151

### 7.3 PCA-plott av komponentvekter

Forkortelser for PAH-forbindelsene er forklart i rådatatabellen vedlegg 6.2.



Komponentvekt Rigg C



Komponentvekt, Rigg U

