

FFI RAPPORT

DIFFUSE KILDER TIL PCB OG EFFEKTSTUDIER I TORSK OG BLÅSKJELL VED HAAKONSVERN ORLOGSSTASJON

JOHNSEN Arnt, ROSSLAND Helle Kristin, SØBYE Edgar, LONGVA
Kjetil Sager

FFI/RAPPORT-2003/01595

FFIBM/81301/138.2

Godkjent
Kjeller 7 mai 2003

Bjørn Arne Johnsen
Forskningsjef

**DIFFUSE KILDER TIL PCB OG EFFEKTSTUDIER
I TORSK OG BLÅSKJELL VED HAAKONSVERN
ORLOGSSTASJON**

JOHNSEN Arnt, ROSSLAND Helle Kristin, SØBYE
Edgar, LONGVA Kjetil Sager

FFI/RAPPORT-2003/01595

FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT
Norwegian Defence Research Establishment
Postboks 25, 2027 Kjeller, Norge

1) PUBL/REPORT NUMBER FFI/RAPPORT-2003/01595	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED	3) NUMBER OF PAGES 41
1a) PROJECT REFERENCE FFIBM/81301/138.2	2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE -	
4) TITLE DIFFUSE KILDER TIL PCB OG EFFEKTSTUDIER I TORSK OG BLÅSKJELL VED HAAKONSVERN ORLOGSSTASJON DIFFUSE SOURCES OF PCB AND STUDIES OF TOXICOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL EFFECTS OF PCB IN COD AND MUSSELS AT HAAKONSVERN ORLOGSSTASJON		
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) JOHNSEN Arnt, ROSSLAND Helle Kristin, SØBYE Edgar, LONGVA Kjetil Sager		
6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited. (Offentlig tilgjengelig)		
7) INDEXING TERMS IN ENGLISH: IN NORWEGIAN:		
a) <u>PCB</u>	a) <u>PCB</u>	
b) <u>Marine pollution</u>	b) <u>Sjøforurensning</u>	
c) <u>Sources</u>	c) <u>Kilder</u>	
d) <u>Bioaccumulation</u>	d) <u>Bioakkumulering</u>	
e) <u>Risk assessment</u>	e) <u>Risikovurdering</u>	
THESAURUS REFERENCE:		
8) ABSTRACT Studies of diffuse sources of PCB in addition to studies of toxicological and physiological effects in cod and blue mussel has been carried out at Haakonsværn Naval Base in connection with a clean up of PCB contaminated sediments. A risk evaluation concerning human health and marine life is also carried out. These studies show that there are some local sources of PCB on land which may contaminate the sediments. The total transport of PCB ₇ from land has been calculated to 10 g/year. The concentration of PCB in rain is also quantified. The concentration of PCB in rain in June was much higher than in November, which can be explained by temperature differences. It is calculated that the deposition of PCB ₇ at the sea surface is 14 g/year. These two sources can cause a minimum concentration of PCB in the sediments of 65 µg/kg. The mean concentration of PCB ₇ in sediments collected in sediment traps was 280 µg/kg. This will probably reduce the effects of the clean up effort. No physiological and only signs of toxicological effects were observed in caged cod at the naval base. A significant accumulation of PCB in mussels was observed and the accumulation has not changed since 1998. Results from the health risk evaluation shows that the concentration of PCB ₇ in the sediments should be below 10 µg/kg. There is no risk associated with the PCB contamination in sediments to the marine life at the study site.		
9) DATE 7. May 2003	AUTHORIZED BY This page only Bjørn Arne Johnsen	POSITION Director of Research

INNHOLD

	Side	
1	INNLEDNING	7
1.1	Hensikt	7
1.2	Bakgrunn	7
1.3	Problemstilling	8
2	DELPROSJEKT 1 – KARTLEGGING AV KILDER TIL PCB I MARINT MILJØ VED HOS	9
2.1	Tilførsel fra land	10
2.1.1	Tilførsel fra fartøyer	14
2.1.2	Tilførsel fra kaier	14
2.2	Tilførsel fra omkringliggende områder	14
2.2.1	Bjørndalspollen	14
2.2.2	Grimstadvjorden	16
2.2.3	Transport av miljøgifter fra deponi	20
2.3	Tilførsel fra nedbør	21
2.4	Tilførsel fra sedimenter	23
2.5	Oppsummering - betydningen av de ulike kildene	24
3	DELPROSJEKT 2 – KARTLEGGING AV EFFEKTENE TILTAKET I SEDIMENTENE VED HOS HAR PÅ BIOTA	27
3.1	Utsetting av torsk og blåskjell i bur	27
3.1.1	Akkumulering av PCB	28
3.1.2	Fysiologiske målinger	30
3.1.3	Toksikologiske målinger	31
3.2	Overvåkning av nivået av PCB i viltvoksende blåskjell	33
3.3	Risikovurdering	33
3.3.1	Helserelatert risikovurdering	34
3.3.2	Økotoksikologisk risiko	35
3.4	Forslag til videre oppfølging	36
4	KONKLUSJON	36
	Litteratur	39
	Fordelingsliste	41

DIFFUSE KILDER TIL PCB OG EFFEKTSTUDIER I TORSK OG BLÅSKJELL VED HAAKONSVERN ORLOGSSTASJON

1 INNLEDNING

1.1 Hensikt

Forsvaret fikk i 1993 pålegg fra Statens forurensningstilsyn (SFT) om å foreta tiltak ved Haakonsværn orlogsstasjon (HOS), slik at kostholdsrådet for fisk og skalldyr på sikt kunne oppheves. Forsvaret startet derfor i 1998 med opprydding av de forurensede sedimentene ved HOS med målsetning om at kostholdsrådet for fisk og skalldyr på sikt kunne oppheves i området. Gjennom det arbeidet som Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) har gjennomført i forbindelse med oppryddingen av forurensede sedimenter på Haakonsværn orlogsstasjon (HOS) har det fremkommet resultater som kan tyde på at målsetningen med oppryddingsarbeidet ikke vil bli nådd (1,2,3,4). Det er planlagt en rekke oppryddingsprosjekter i sivile havner (5). For å sikre at disse tiltakene gir en tilstrekkelig reduksjon av forurensningsnivået i biota bør det gjøres grundige vurderinger av metodene som skal benyttes. Denne rapporten beskriver de resultater som er fremkommet etter kartlegging av kilder til PCB ved HOS og effekter på biota av oppryddingstiltaket ved HOS. I tillegg er det foretatt en risikovurdering med forslag til videre arbeider.

Statens forurensningstilsyn (SFT) har vært med på å finansiere de undersøkelser som er presentert i denne rapporten. En del av undersøkelsene er foretatt av UNIFOB, Seksjon for anvendt miljøforskning ved Høyteknologisentret i Bergen på oppdrag fra FFI.

1.2 Bakgrunn

I rapporten "Miljøgifter i norske fjorder" utgitt av SFT i 2000, fremgår det at forurensede fjordområder anses å være et av de største gjenværende lokale miljøproblemer (6). Det anbefales å sette inn stor innsats for å rydde opp i dette.

I forbindelse med at Forsvaret i 1993 fikk pålegg om å foreta tiltak ved HOS, ble det gjennomført en kartlegging av forurensningsnivået i sedimentene og foretatt en risikovurdering i 1995. Gjennom risikovurderingen ble det foretatt en avgrensning av arealet som skulle ryddes og angitt en maksimumskonsentrasjon av PCB ($< 50 \mu\text{g}/\text{kg PCB}_7$) i disse områdene. I perioden 1997 – 1999 ble det tatt en rekke sedimentprøver i de områdene som skulle ryddes for å avgrense området ytterligere. Forsvaret valgte å benytte sugemudring for å fjerne mesteparten av de forurensede sedimentene, og å legge disse i et sjøkantdeponi ved HOS. Sjøkantdeponiene

ble ferdigstilt i januar 1998 og i juni 1998 ble mudringen av delområde 1 – småbåthavna avsluttet. Miljøeffektene av slike tiltak var lite kjent både i Norge og i utlandet. FFI fikk derfor i 1997 i oppdrag av Forsvarets bygningstjeneste (FBT) å gjøre ulike undersøkelser for å vurdere om mudringen i dette delområdet førte til en ekstra miljøgiftbelastning for biota.

Ved bruk av blåskjell og lipidfylte semipermeable membraner (SPMD) som bioindikatorer ble mudringsområdet og deponiene overvåket. Resultatene viste i store trekk at metoden for fjerning av de forurensede sedimentene ikke førte til noen spredning av forurensede partikler eller mobilisering av miljøgifter i mudringsområdet (1). Resultater fra SPMD viste at konsentrasjonen av løst PCB i mudringsområdet var fem ganger høyere enn det som ble registrert i referanseområdet ved Bjorøy (1). Konsentrasjonen av PCB i blåskjell i mudringsområdet var også fem ganger høyere enn det som ble registrert i referanseområdene (1). Dette viser at opptaket av PCB i blåskjell i all hovedsak er styrt av konsentrasjonen til løst PCB i vannmassene. Etter avsluttet mudring ble det ikke registrert noen endringer i konsentrasjonen av løst PCB i vannmassene og derfor heller ingen reduksjon av PCB i blåskjell, selv om konsentrasjonen av PCB i sedimentene ble redusert med omkring 90 %. Dette viser at forurensningen i det mudrede delområdet i liten grad har bidratt til nivået av løst PCB i vannmassene. Det kan imidlertid også være mulig at mengden PCB som fortsatt er tilstede i sedimentene i dette området er tilstrekkelig til å opprettholde konsentrasjonen av løst PCB i vannmassene. Med dagens kunnskap er det ikke grunnlag for å avgjøre årsakssammenhengen.

Opprydding i de andre delområdene ved HOS ble startet opp i mai 2000 og ble slutført sommeren 2002. Dette arbeidet startet parallelt med mudringsfartøyer utenfor Storholmen ved Dykkerskolen og i MTB havna. Det ble derfor arbeidet både fra nord mot sør og fra sør mot nord. Det siste området som ble mudret var utenfor sjøkantdeponiet.

1.3 Problemstilling

Det er vist at konsentrasjonen av PCB i sedimentene etter avsluttet opprydding i delområde 1 ved HOS ble redusert med rundt 90 % (7). Spørsmålet er om denne reduksjonen fører til en tilsvarende reduksjon i vannmassene. Vi vet at PCB er svært lite vannløselig. Det kan derfor være at mengden PCB i sedimentene har vært mer enn stor nok til å gi det observerte forurensningsnivået i vannmassene, noe som kan føre til at konsentrasjonen av PCB i vannmassene ikke blir redusert i tilsvarende grad som reduksjonen av PCB i sedimentene.

Mudringen har også medført fjerning av store mengder organiske partikler som har høy affinitet for PCB og på enkelte steder er det nå kun ett grovt sediment av stein og grus som har liten affinitet for PCB. Dette kan bidra å opprettholde konsentrasjonen av PCB i vannmassene.

Det er påvist PCB-forurensning i flere områder utenfor HOS, noe som har ført til innføring av kostholdsråd i store områder rundt Bergen. Utveksling av vannmasser og biota (særlig på lavere trofiske nivåer) mellom ulike områder kan bidra til å redusere sammenhengen mellom PCB nivåene i lokalt sedimentet og lokal fisk. Dersom det stor vannutveksling vil det regionale

forurensningsnivået i sediment være mer avgjørende enn den lokale sedimentet for nivået i fisken på HOS.

Det er usikkert hvilken betydning ulike diffuse kilder av PCB har ved HOS. Det er tidligere påvist høye konsentrasjoner av PCB i slam fra sandfangkummer ved HOS, uten at en helt vet hva som er kilden til dette. Flere av disse sandfangkummene har direkte utløp til havnebassenget ved HOS og kan forårsake ny forurensning av havbunnen. HOS ligger i et nedbørsrikt område og det er derfor mulig at det deponeres en del langtransportert PCB i området. Det finnes i dag ingen informasjon om nivået av PCB i nedbør langs norskekysten. PCB har vært benyttet i en rekke ulike produkter og materialer. Det er rapportert om at PCB har vært benyttet som tilsetning både i maling og betongtilsats. FFI fant i 1996 høye konsentrasjoner av PCB i skipsmaling, slik at vedlikehold av fartøyer kan medføre en tilførsel av PCB til marint miljø.

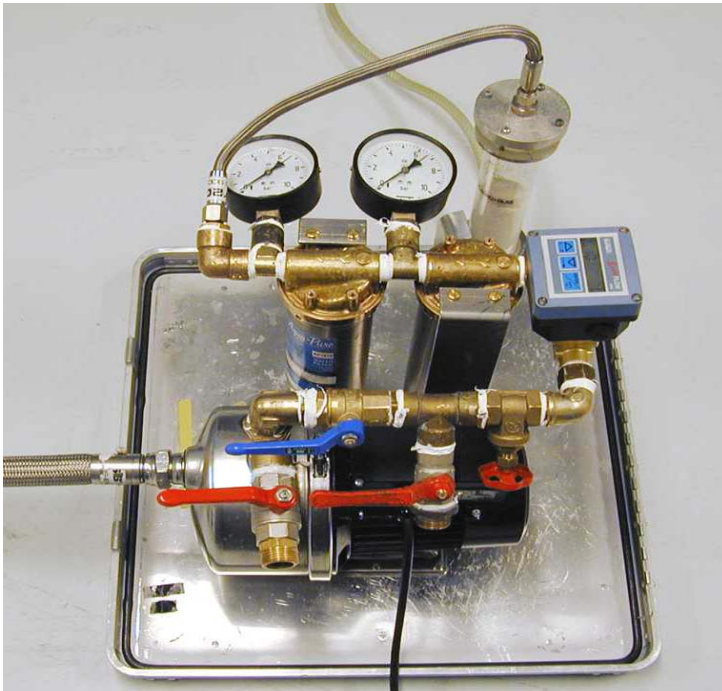
Med bakgrunn i de nevnte faktorer er det usikkert i hvilken grad oppryddingstiltaket ved HOS fører til vesentlige reduksjoner av PCB i biota. Det er derfor viktig å få kjennskap til betydningen av disse faktorene, slik at denne informasjonen kan benyttes ved planlegging av tiltak i fjorder og havner langs norskekysten.

Det er ukjent hvilken konsentrasjon av PCB i sedimentene som er tilstrekkelig lav til at biota ikke akkumulerer PCB i en grad som medfører kostholdsrestriksjoner. Gjennom risikovurderinger er det mulig å beregne en slik konsentrasjon av PCB i sedimentene. Det er viktig at slike metoder benyttes før oppryddingstiltak settes i gang for å sikre oppnåelse av de målsetninger som er satt. Det ble i år innført et generelt kostholdsråd i Norge for barn, kvinner i fruktbar alder og gravide om ikke å spise fiskelever eller pålegg laget av fiskelever. Det vil derfor være lite sannsynlig at oppryddingstiltak i sedimentene lokalt kan medføre endringer i dette kostholdsrådet.

2 DELPROSJEKT 1 – KARTLEGGING AV KILDER TIL PCB I MARINT MILJØ VED HOS

Beregninger FFI har gjort viser at kilden til mye av PCB-forurensningen som forekommer i sedimentene på HOS kan være skipsmaling (8). Det er estimert at mengden PCB i sedimentene ved HOS er omkring 68 kg. Dette tilsvarer omkring den samme mengden PCB som i gjennomsnitt ble benyttet i PCB-holdig maling på ett skip. Selv om det i dag ikke benyttes PCB-holdig maling er det mange skip som har rester av maling fra den tiden da PCB fortsatt var i bruk. Avskalling, høytrykkspyling og sandblåsing av disse skipene kan derfor fortsatt være en kilde for tilførsel av PCB til miljøet. Det er funnet høye nivåer av PCB i mange sandfangkummer på HOS, men det ikke kjent hva som er kilden til denne PCB-forekomsten. Kummene er i dag rensset, men bør overvåkes i en tid fremover for å sikre at kilder på land ikke bidrar til PCB forurensning av det marine miljø. Ut fra analyser av konsentrasjonen til PCB i slammet fra sandfangkummer er det mulig å lokalisere områder som har aktive kilder av PCB på land.

FFI mener det er viktig å ha kjennskap til nivåene av PCB i vannmassene, da dette sannsynligvis er viktig for akkumuleringa av PCB opp i næringskjeden. FFI har derfor utviklet et system for høyvolum prøvetaking av vann for analyse av PCB. Utstyret er nærmere beskrevet i FFI/RAPPORT-2000/05945 (3). Prinsippet for systemet er at store mengder vann blir pumpet gjennom et 1 µm partikkelfilter for oppfangning av partikkelbundet PCB og en adsorbent (XAD-2) for løst PCB (se Figur 2.1). Der det har vært mulig er det tatt en vannprøve på omkring 500 liter i løpet av rundt en time.



Figur 2.1 Vannprøvetakingssystem for løst og partikkelbundet PCB i vann

Måledata for de undersøkelser som er rapportert i dette kapitlet er dokumentert i FFI/NOTAT-2003/01592 (9).

2.1 Tilførsel fra land

For å vurdere i hvilken grad PCB transporteres med overvann ut til marint miljø ved HOS er innholdet av PCB både i vannfraksjonen og partikkelfraksjonen i sandfangkummer kartlagt i ulike områder ved HOS. En innledende kartlegging ble foretatt høsten 2001, der det ble tatt prøver av slam i 11 sandfangkummer i ulike områder på HOS (Tabell 2.1 og Figur 2.2). Dersom det er forhøyet nivå av PCB i dette slammet, vil det bety at det fortsatt er kilder på land, etter som alle sandfangkummene på HOS ble tømt og rengjort for slam i 1998/1999. Mange av overvannskummene som ligger i tilknytning til havneområdet har også direkte utløp til havnebassenget ved HOS. Resultater fra den innledende undersøkelsen viste at det var PCB i slammet fra alle sandfangkummene (Tabell 2.2). Det ble ved Dykkerskolen, Småbåthavna og ved Lagerbygg påvist forhøyet konsentrasjoner av PCB i slammet, noe som tyder på at det er kilder av PCB i nærheten av disse områdene som kan gi tilførsler til marint miljø. Resultater fra denne kartleggingen er nærmere beskrevet i FFI/NOTAT-2002/00815 (4).

<i>FFI nr</i>	<i>HOS id</i>	<i>Lokalisering</i>	<i>Dato for siste tømming</i>
01-448	SF-52	Tordenskjold	24.06.99
01-449	SF-89	Småbåthavna	27.10.98
01-450	SF-103	Dykkerskolen	21.10.98
01-451	SF-112	HAS	21.10.98
01-452	SF-128	500 t slippen	28.10.98
01-453	SF-136	Korvetten	21.10.98
01-454	SF-141	Basen	21.10.98
01-455	SF-160	Tunellinnløp	22.10.98
01-456	SF-167	Tenkeboden	31.05.99
01-457	SF-182	Lagerbygg	10.11.98
01-458	SF-227	Mottaksanlegg	31.05.99

Tabell 2.1 Oversikt over prøvetatte sandfangkummer ved HOS i 2001



Figur 2.2 Kart som viser lokaliseringen til de prøvetatte sandfangkummene ved HOS i 2001

<i>Sandfangkum</i>	<i>PCB₇, µg/kg</i>	<i>Sandfangkum</i>	<i>PCB₇, µg/kg</i>
SF-52	38	SF-141	6
SF-89	170	SF-160	36
SF-103	620	SF-167	37
SF-112	10	SF-182	300
SF-128	81	SF-227	38
SF-136	25		

Tabell 2.2 Konsentrasjoner av PCB₇ (µg/kg tørrvekt) i slam fra prøvetatte sandfangkummer i 2001

For å verifisere at det virkelig ble deponert slam som inneholdt PCB, ble det foretatt en ny undersøkelse sommeren 2002. Her ble alt vann og slam som ble deponert i sandfangkummen samlet opp, slik at konsentrasjonen av PCB i vannfasen og i partikkelfasen kunne måles. Det ble valgt ut tre områder, der to av de var samme kummer som det høsten 2001 ble funnet forhøyde verdier av PCB i slammet. Resultatet fra denne undersøkelsen viste noe høyere nivåer av PCB ved Småbåthavna og Dykkerskolen enn undersøkelsen i 2001 (Tabell 2.3). Nivået av PCB i sandfangkum ved Tordenskjold viste tilsvarende nivå med det som ble registrert i 2001. Det er verdt å merke seg at konsentrasjonen av PCB i vannmassene (sum av partikkelbundet og løst PCB) som drenerte ned i sandfangkummen ved Tordenskjold er tilsvarende med konsentrasjonen av PCB som ble funnet i nedbør i samme tidsperiode. Dette viser at tilførselen av PCB ved Tordenskjold hovedsakelig skyldes deponering av langtransportert PCB med nedbør.

Konsentrasjonen av partikkelbundet PCB i vann samlet fra sandfangkummer er vist i Tabell 2.4, mens konsentrasjonen av løst PCB i vann samlet fra sandfangkummer er vist i Tabell 2.5. Resultater fra denne undersøkelsen viser at det er lavest konsentrasjon av de lavklorerte PCB kongenerene både i slammet og partikkelbundet PCB i vannfasen. Kongenerfordelingen av løst PCB i vannfasen var mer jevn mellom lav og høyklorerte PCB, bortsett fra ved Dykkerskolen der det var lavest konsentrasjon av lavklorerte PCB. Undersøkelsene viser også at mesteparten av mengden PCB som tilføres sandfangkummer er partikkelbundet. I Tabell 2.6 er det gjort en oppsummering over mengden PCB₇ pr liter vann som tilføres sandfangkummene fra de ulike fasene.

	<i>PCB-28,</i>	<i>PCB-52,</i>	<i>PCB-101,</i>	<i>PCB-118,</i>	<i>PCB-138,</i>	<i>PCB-153,</i>	<i>PCB-180,</i>	<i>PCB₇,</i>
	<i>µg/kg</i>	<i>µg/kg</i>	<i>µg/kg</i>	<i>µg/kg</i>	<i>µg/kg</i>	<i>µg/kg</i>	<i>µg/kg</i>	<i>µg/kg</i>
SF-52	< 0,5	0,5	4	4	12	10	8	39
SF-89	8	30	41	48	60	50	37	274
SF-103	< 0,5	4	55	37	251	216	236	799

Tabell 2.3 Konsentrasjoner av PCB (µg/kg tørrvekt) i slam fra prøvetatte sandfangkummer i 2002

	<i>PCB-28,</i> <i>ng/l</i>	<i>PCB-52,</i> <i>ng/l</i>	<i>PCB-101,</i> <i>ng/l</i>	<i>PCB-118,</i> <i>ng/l</i>	<i>PCB-138</i> <i>ng/l</i>	<i>PCB-153,</i> <i>ng/l</i>	<i>PCB-180,</i> <i>ng/l</i>	<i>PCB₇,</i> <i>ng/l</i>
SF-52	0,75	0,45	1,38	0,74	2,44	1,57	1,25	8,58
SF-89	0,83	1,07	1,75	1,67	2,85	1,83	1,22	11,2
SF-103	0,15	0,85	11,9	7,53	51,0	40,5	36,1	148

Tabell 2.4 Konsentrasjoner av partikkelbundet PCB i vann samlet fra sandfangkummer i 2002

	<i>PCB-28,</i> <i>ng/l</i>	<i>PCB-52,</i> <i>ng/l</i>	<i>PCB-101,</i> <i>ng/l</i>	<i>PCB-118,</i> <i>ng/l</i>	<i>PCB-138</i> <i>ng/l</i>	<i>PCB-153,</i> <i>ng/l</i>	<i>PCB-180,</i> <i>ng/l</i>	<i>PCB₇,</i> <i>ng/l</i>
SF-52	0,040	0,019	0,013	0,005	0,016	0,013	0,014	0,120
SF-89	0,046	0,025	0,029	0,018	0,043	0,039	0,023	0,223
SF-103	0,039	0,026	0,222	0,094	1,23	0,929	0,855	3,40

Tabell 2.5 Konsentrasjoner av løst PCB (ng/l) i vann samlet fra sandfangkummer i 2002

	<i>SF-52</i> <i>Tordenskjold</i>	<i>SF-89</i> <i>Småbåthavna</i>	<i>SF-103</i> <i>Dykkerskolen</i>
Slam, PCB ₇ (ng/l)	17	94	204
Partikkelbundet i vannfasen, PCB ₇ (ng/l)	8,58	11,2	148
Løst i vannfasen, PCB ₇ (ng/l)	0,120	0,223	3,40
Totalt, PCB₇ (ng/l)	25,7	105	355

Tabell 2.6 Fordeling av PCB i ulike faser i prøver tatt fra sandfangkummer i 2002

I Bergen er det omkring 2000 mm nedbør hvert år, noe som betyr at det er betydelige mengder med overvann som transporteres ut til marint miljø ved HOS. Mesteparten av overvannet blir ledet til kommunalt nett, men ikke ubetydelige mengder vil bli ledet ut i sjøen. Dersom partikler i dette overvannet er betydelig forurenset med PCB, vil sedimentene ved HOS som nå er rensert for PCB, kunne bli tilført tilstrekkelige mengder PCB til at nivået i sedimentene blir høyere enn det som er forutsatt for opphevelse av kostholdsrådet i området. Et grovt estimat viser at ca 96000 m³ nedbør dreneres ut til sandfangkummene hvert år i områder der det er påvist forhøyde nivåer av PCB i slammet. Ved å benytte gjennomsnittet av den totale konsentrasjonen til PCB₇ i vannmassene som tilføres sandfangkummer ved Småbåthavna og Dykkerskolen vil det føre til at omkring 22 gram PCB₇ tilføres sandfangkummene. Da sandfangkummene ved Småbåthavna og Dykkerskolen har direkte utløp til havnebassenget kan det være mulig at en god del av dette blir tilført sedimentene ved HOS i dette området.

2.1.1 Tilførsel fra fartøyer

Det er kjent at en rekke produkter og materialer om bord i fartøyer kan inneholde PCB. Med bakgrunn i at FFI fant betydelige konsentrasjoner av PCB i skipsmaling tatt fra et militært fartøy av tre ved HOS i 1996, ble det i forbindelse med at fregatten KNM Stavanger skulle nyttes som målfartøy foretatt en kartlegging av miljøgifter i produkter og materialer om bord i fartøyet. Resultater fra denne undersøkelsen viste at det kun var små mengder (estimert totalt 13 g PCB₇ på hele fartøyet) med PCB i fartøyet. Resultater fra denne undersøkelsen er nærmere beskrevet i FFI/RAPPORT-2001/04758 (10) og FFI/RAPPORT-2002/02093 (11). Da fartøyet som ble prøvetatt i 1996 var laget av tre, er ikke det representativt for militære fartøyer, da disse i hovedsak er laget av stål, aluminium eller glassfiber/kompositt. Med bakgrunn i undersøkelser fra KNM Stavanger er det derfor liten grunn til å anta at fartøyer er en kilde til PCB av betydning for marint miljø ved HOS.

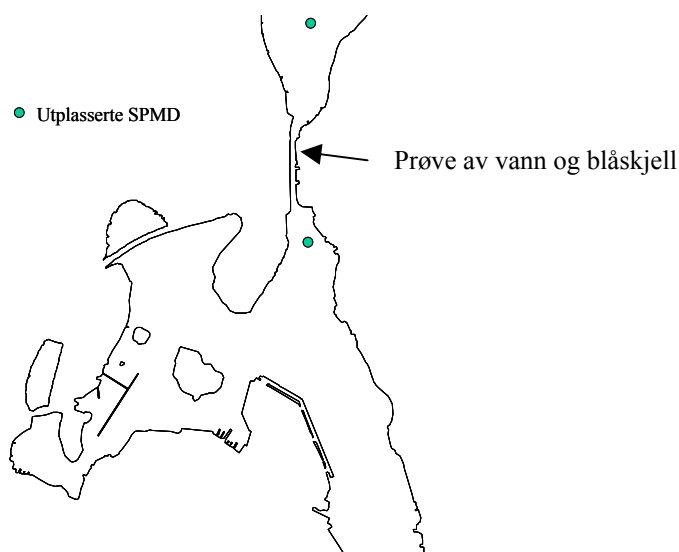
2.1.2 Tilførsel fra kaier

PCB har i Norge blitt benyttet som tilsatsstoff og mykner i betong (12). For å avdekke om betongen i kaiene ved HOS inneholdt PCB, ble det foretatt en analyse av PCB i stikkprøver tatt av gammel betongen. Resultater fra denne undersøkelsen viste at det kun var spor av PCB i betongen (PCB₇ < 10 µg/kg). Det er derfor lite sannsynlig at PCB har vært benyttet som tilsetning til betongen i kaiene ved HOS.

2.2 Tilførsel fra omkringliggende områder

2.2.1 Bjørndalspollen

Da det er mistanke om at sedimenter i Bjørndalspollen inneholder høye konsentrasjoner av PCB er det mulig at det kan være tilførsler av PCB fra dette området og inn til HOS. For å avklare dette er det tatt prøver av vannmassene som strømmer ut og inn av Bjørndalspollen med tidevannet for analyse av PCB. Vannprøvene ble tatt i kanalen inn til Bjørndalspollen. Det er også plassert ut SPMD for å se om det kan påvises noen konsentrasjonsgradient i vannmassene. Plassering av SPMD er vist i Figur 2.3. I tillegg er det tatt prøver av blåskjell i kanalen inn til Bjørndalspollen. FFI vil i løpet av 2003 foreta prøvetaking av sedimenter og vann inne i Bjørndalspollen for analyse av PCB.



Figur 2.3 Lokalisering av utplasserte SPMD ved Bjørndalspollen og prøvetakningspunkt for vann og blåskjell

I Tabell 2.7 er konsentrasjonen av PCB i vannmassene som strømmer inn i og ut av Bjørndalspollen vist. Det er ikke noen vesentlig forskjell i de målte konsentrasjonene ved inngående og utgående tidevann, men det ble målt noe større konsentrasjon av løst PCB ved utgående tidevann.

	Inn i Bjørndalspollen PCB ₇ , ng/l	Ut av Bjørndalspollen PCB ₇ , ng/l
Løst	0,015	0,060
Partikkelbundet	0,11	0,10
Totalt	0,125	0,160

Tabell 2.7 Konsentrasjon av PCB i vannmassene når tidevannet strømmer inn i og ut av Bjørndalspollen

Resultater fra analyser av akkumulert mengde PCB i SPMD (Tabell 2.8), viser heller ingen vesentlig forskjell mellom SPMD plassert et stykke inne i Bjørndalspollen og rett utenfor Bjørndalspollen. Konsentrasjonen av PCB₇ i blåskjell samlet fra kanalen inn til Bjørndalspollen var på 31 ng/g våtvekt, noe som er tilsvarende med det som ble funnet i området ved ubåtkaien.

Med bakgrunn i de målinger som til nå er gjort kan det tyde på at det er en netto transport av noe PCB i form av løst PCB ut av Bjørndalspollen, men dette er noe usikkert i og med at det ikke ble observert noen høyere konsentrasjon av PCB i vannmassene inne i Bjørndalspollen i forhold til utenfor. Det ble heller ikke funnet høyere konsentrasjon av PCB i blåskjell hentet fra kanalen inn til Bjørndalspollen enn det som er registrert ved HOS. Det ser derfor ikke ut til at Bjørndalspollen kan være noen vesentlig kilde for PCB ved HOS.

<i>Inne i Bjørndalspollen</i>	<i>Utenfor Bjørndalspollen</i>
<i>PCB₇, ng/dag</i>	<i>PCB₇, ng/dag</i>
0,62	0,68

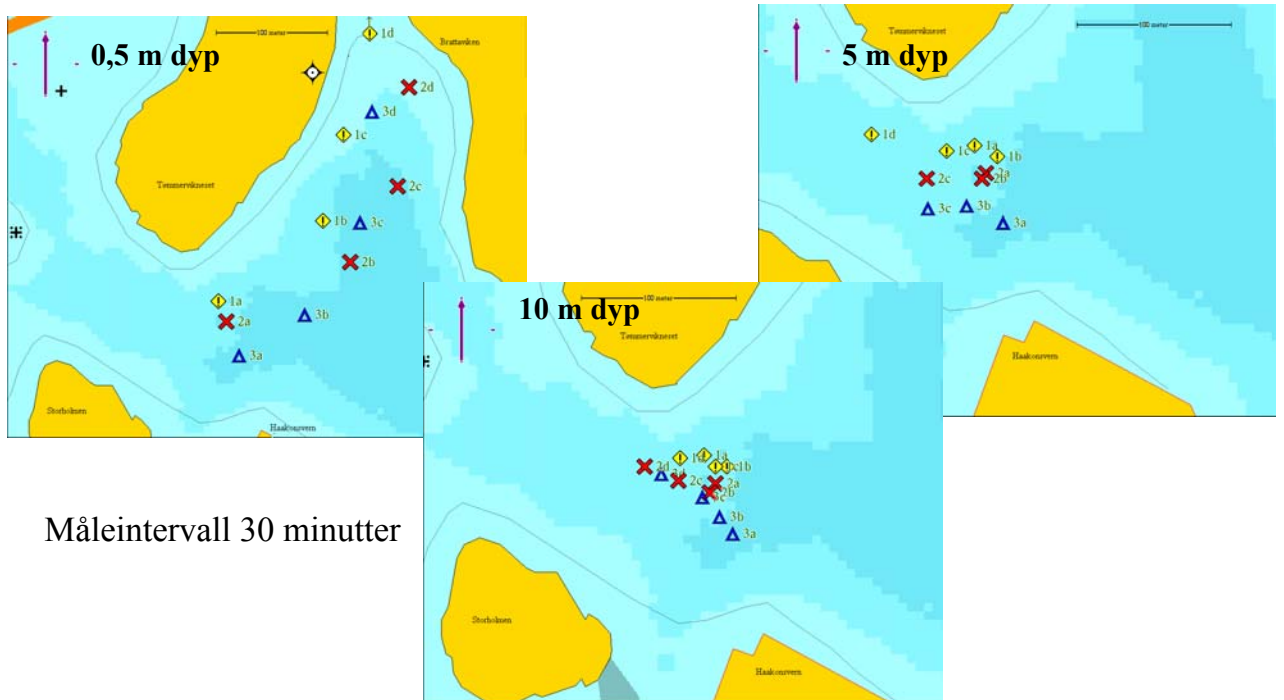
Tabell 2.8 Akkumulert mengde PCB (ng/dag) i SPMD inne i og utenfor Bjørndalspollen

2.2.2 Grimstadjorden

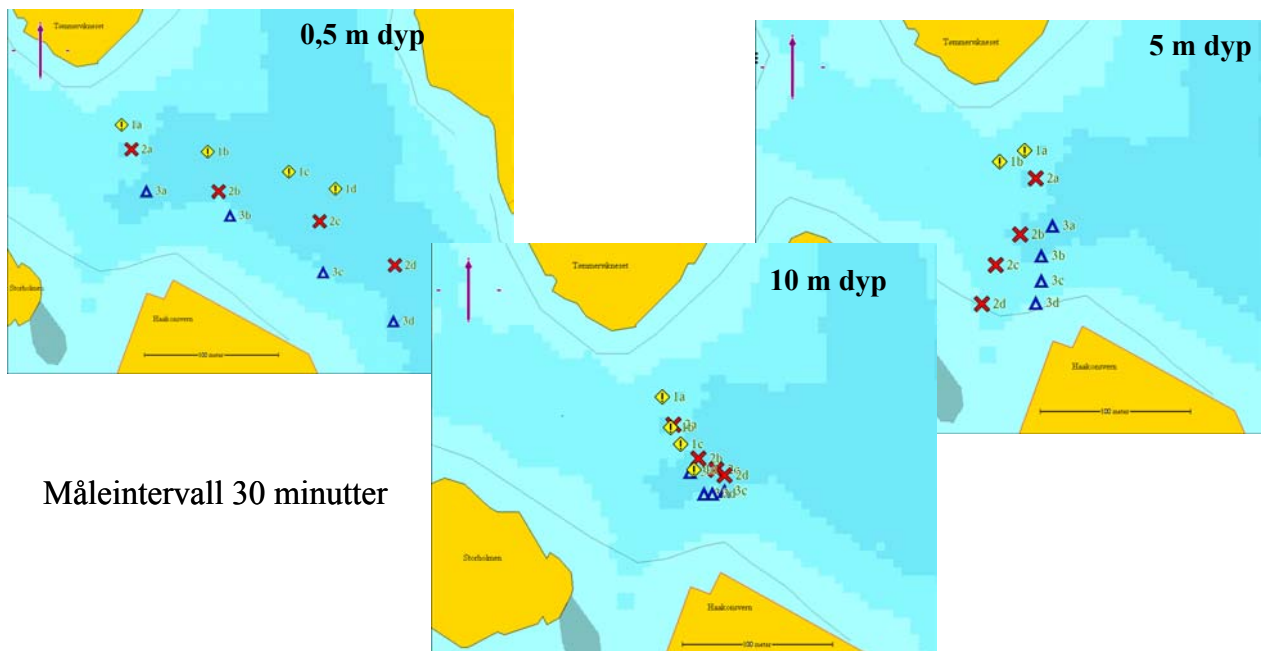
En mulig forklaringsmodell kan være at det foregår en transport av PCB forurensede vannmasser fra nærliggende forurensede områder. Man kjenner til at PCB løst i vann, til forskjell fra PCB bundet til partikler, kan transporteres forholdsvis langt med havstrømmer. Ut fra målinger foretatt av FFI i 1998 vil en maksimalt kunne oppnå en reduksjon i konsentrasjonen av løst PCB med 5-10 ganger etter at mudringen er gjennomført i hele området (1), noe som kan være utilstrekkelig for å nå de mål som er satt for oppryddingstiltaket ved HOS.

I enkelte deler av Bergensregionen er det funnet høye konsentrasjoner av PCB i sedimentene. Det er derfor mulig at forurensning utenfor HOS kan transporteres inn til HOS etter at tiltaket er gjennomført. For å få et bilde av hvordan miljøgifter transporteres med vannmassene, er det foretatt noen strømkorsmålinger i indre del av havnebassenget ved HOS. Disse strømkorsmålingene er utført av UNIFOB, Seksjon for anvendt miljøforskning ved Høyteknologisentret i Bergen på oppdrag fra FFI. For å få bedre informasjon om hvordan forurensninger transporteres i området vil det bli forsøkt å lage en strømmodell for området. Dette arbeidet er nå i startfasen og håpes gjennomført innen utgangen av 2003.

Resultater fra strømkorsmålinger (se Figur 2.4 og Figur 2.5) viser at det er liten strøm (gjennomsnittlig 1,2 cm/s) på bunnen, mens det er noe høyere strøm i overflaten (gjennomsnittlig 5,5 cm/s). Dette betyr at overflatevannet vil kunne transporteres opp mot en kilometer for hver tidevannssyklus, mens bunnvannet kun vil transporteres omkring 250 m. For tiden har FFI utplassert strømmålere ved HOS for å verifisere resultater fra modelleringsarbeidet. Foreløpige resultater fra disse målingene tyder på at den maksimale strømmen på bunnen er omkring 5 cm/s, mens tilsvarende i overflaten er 14 cm/s.



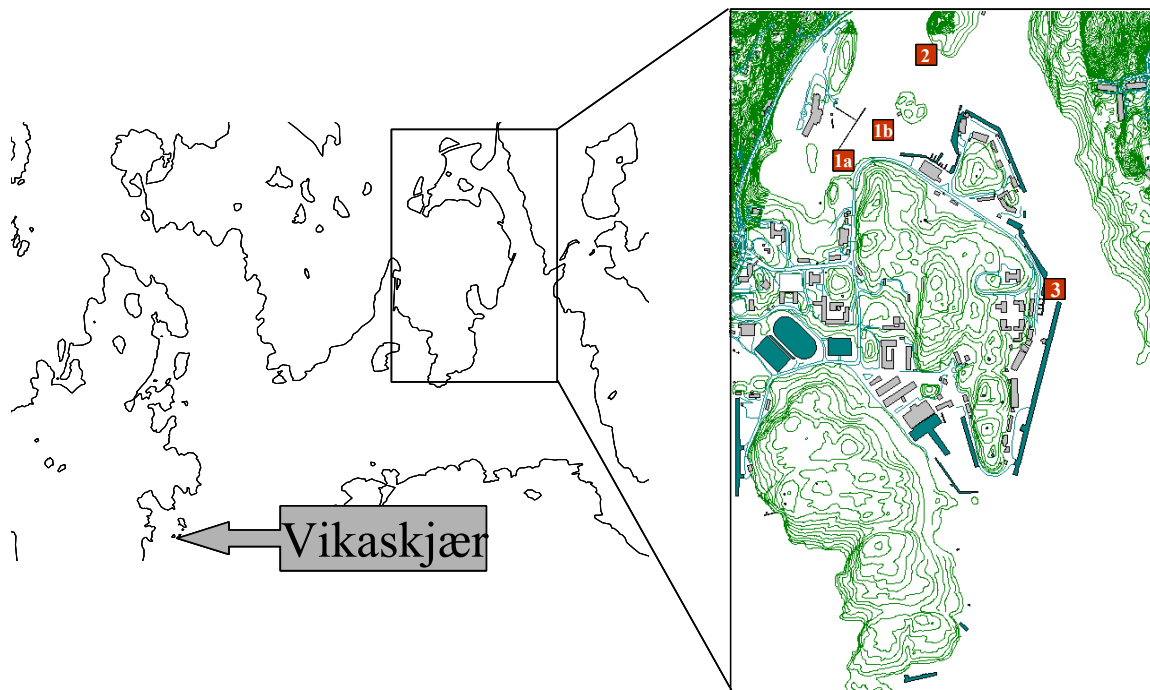
Figur 2.4 Strømkorsmålinger ved 0,5m, 5m og 10 meters dyp ved inngående tidevann



Figur 2.5 Strømkorsmålinger ved 0,5m, 5m og 10 meters dyp ved utgående tidevann

I forbindelse med kartlegging av effektene av tiltaket gjennomført i sedimentene ved HOS, ble det i 2002 (10.04.2002 – 28.05.2002) utplassert SPMD for å vurdere nivået av løst PCB i vannmassene. UNIFOB, Seksjon for anvendt miljøforskning ved Høyteknologisentret i Bergen

har foretatt utsetting og opptak, mens de kjemiske analysene er utført hos FFI. Lokaliseringen av disse stasjonene er vist i Figur 2.6.



Figur 2.6 Plassering av SPMD ved HOS og referansestasjon ved Vikaskjær

Resultatene fra disse analysene viser at det er et betydelig høyere nivå av løst PCB ved HOS enn ved Vikaskjær ytterst i Grimstadfjorden (Tabell 2.9). Akkumulert mengde i SPMD ved stasjon 1b og 2 er omkring tilsvarende det som ble funnet i 1998 (1), mens det ved stasjon 3 ble funnet noe høyere akkumulering (det var ikke utplassert SPMD i nærheten av stasjon 3 i 1998). Nivået av akkumulert mengde ved stasjon 1b og 2 er noe høyere enn det som ble funnet utenfor Bjørndalspollen vinteren 2002/2003. Dette kan ha sammenheng med at konsentrasjonen av løst PCB er noe lavere om vinteren enn om våren. Med utgangspunkt i de analyser som er gjort av SPMD er det lite som tyder på at konsentrasjonen av løst PCB i vannmassene er endret etter at oppryddingstiltaket startet i 1998.

	<i>PCB₇, ng/dag</i>
1b	0,81
2	0,92
3	1,92
Vikaskjær	< 0,009

Tabell 2.9 Akkumulert mengde (ng/dag) i SPMD ved HOS og referansestasjon ved Vikaskjær

Det er tatt vannprøver av overflatevann og bunnvann ved HOS for å se om konsentrasjonen av PCB i vannmassene er høyere nede ved bunnen enn i overflaten. Resultater fra disse målingene er vist i Tabell 2.10. Resultatene tyder på at konsentrasjonen av både løst og partikkelbundet

PCB i vannmassene er større i bunnvannet i forhold til overflatevann. Dette indikerer at sedimentene er en kilde til PCB i vannmassene, selv etter at oppryddingstiltaket ved HOS er gjennomført. Etter som vannmassene har lav strøm ved bunnen vil PCB sannsynligvis kun spres i et begrenset omfang med vannmassene fra sedimentene. I visse perioder av året vil sannsynligvis bunnvann kunne blandes med overflatevann. Dette vil kunne føre til en økt spredning av PCB fra sedimentene med vannmassene.

	<i>Bunnvann fra 18 m dyp sør for Bjørndalspollen PCB₇, ng/l</i>	<i>Overflatevann ved hovedkaaien PCB₇, ng/l</i>
Løst	0,0515	0,0267
Partikkelbundet	0,37	0,15
Totalt	0,42	0,18

Tabell 2.10 Konsentrasjoner av PCB₇ (ng/l) i overflatevann og bunnvann ved HOS

Det har vært foretatt en utsetting av sedimentfeller ved HOS i april 2002 og november 2002. Videre vil det bli satt ut ytterligere sedimentfeller våren og sommeren 2003. UNIFOB, Seksjon for anvendt miljøforskning ved Høyteknologisentret i Bergen har foretatt utsetting og innhenting av sedimentfellene, og har foretatt vurdering av innholdet. FFI har foretatt de kjemiske analysene. Lokaliseringen av sedimentfellene er vist i Figur 2.7. Resultater fra analyser av PCB i sedimentet fra sedimentfellene er vist i Tabell 2.11.

	<i>April/mai 2002 PCB₇, µg/kg</i>	<i>November 2002 PCB₇, µg/kg</i>
Sedimentfelle 1	302	327
Sedimentfelle 2	297	206
Sedimentfelle 3	252	208
Sedimentfelle 4	364	285

Tabell 2.11 Konsentrasjoner av PCB (µg/kg tørr prøve) i sediment samlet i sedimentfeller

Konsentrasjonen av PCB i oppsamlet materiale i sedimentfellene er relativt høy (206 - 364 µg/kg). Det ser derfor ut til at det sedimenteres materiale som er betydelig forurenset med PCB på havbunnen ved HOS. Bortsett fra i sedimentfelle 1 er det en noe lavere konsentrasjon av PCB i november i forhold til i juni. I november 2002 var det lite nedbør i Bergen (118,5 mm), mens det i juni 2002 var relativt mye nedbør (203,4 mm). Det var derfor en større avrenning fra land i juni enn i november, noe som kan ha ført til en lavere konsentrasjon av PCB i oppsamlet materiale i sedimentfellene i november. Som det fremgår av kapittel 2.3 ble det funnet høyest konsentrasjon av PCB i nedbør i juni sammenlignet med november og dette vil også være med på å gi en lavere konsentrasjon av PCB i sedimentfellene i november enn i juni.

Analyser av materiale fra sedimentfeller som blir utsatt i 2003 vil kunne gi indikasjoner på om forurensningssituasjonen ved HOS forbedres som følge av gjennomført tiltak i sedimentene. Så langt ser det ut til at det sedimenteres et lag med sediment betydelig forurenset med PCB i de oppryddede områdene ved HOS. Dette vil være med på å redusere effekten i miljøet av oppryddingstiltaket som er gjennomført ved HOS. Det ble ikke observert noen stor forskjell i konsentrasjonen av PCB i de ulike sedimentfellene. Det tyder derfor på at partiklene i vannmassene ved HOS har et noenlunde likt forurensningsnivå.



Figur 2.7 Lokalisering av utplasserte sedimentfeller

2.2.3 Transport av miljøgifter fra deponi

I forbindelse med innfylling av forurensete sedimenter i sjøkantdeponiet registrerte FFI at konsentrasjonen av løst PCB i deponiet var over ti ganger høyere enn i mudringsområdet (1). Dette viser at innfyllingen av forurensete sedimenter fører til en mobilisering av PCB fra sedimentene, noe som igjen førte til at det ble registrert en viss transport av PCB ut fra deponiet under innfyllingen. Etter avsluttet innfylling var konsentrasjonen av løst PCB i vannmassene redusert betydelig, noe som førte til at transporten av PCB ut fra deponiet var ubetydelig.

For å vurdere i hvilken grad det transporteres PCB ut fra deponiene ved HOS etter avsluttet innfylling, ble det tatt vannprøver i november 2002 både ved inngående tidevann og utgående tidevann. Analyseresultater fra denne prøvetakingen er vist i Tabell 2.12.

Analyseresultatene viser at det er en høyere konsentrasjon av partikkelbundet PCB i vannmassene på utsiden av deponi 2 ved inngående tidevann, mens konsentrasjonen av løst PCB

er omtrent den samme. Ut fra disse analysene ser det derfor ikke ut til at det er noen transport av PCB ut fra deponiene. Det må imidlertid nevnes at avslutningen av deponiene ikke var slutført ved prøvetakning. Det ble fortsatt pumpet store mengder vann inn i deponi 2, noe som så ut til å forårsake en kontinuerlig strøm av vann ut av deponi 2.

	<i>Ved inngående tidevann utenfor deponi 2 PCB₇, ng/l</i>	<i>Ved utgående tidevann utenfor deponi 2 PCB₇, ng/l</i>
Løst	0,0427	0,0398
Partikkelbundet	0,36	0,18
Totalt	0,40	0,22

Tabell 2.12 Konsentrasjoner av PCB i sjøvann ved inn og utgående tidevann fra deponi 2 ved HOS

2.3 Tilførsel fra nedbør

Atmosfærisk transport av PCB til nordområdene er velkjent. Nedbør vil dra med seg partikler og forbindelser fra atmosfæren, slik at disse blir deponert på jordoverflaten. Bergensområdet er et nedbørsrikt område, hvor det vil være sannsynlig med en forholdsvis stor deponering av PCB.

For å avklare hvilken betydning tilførsel av PCB via nedbør har ved HOS er det foretatt prøvetaking av nedbør for analyse av PCB. Av praktiske grunner ble prøvetakingen foretatt på det gamle brannøvingsfeltet. Et prøvetakingssystem av aluminiumsplater som var plassert slik at nedbøren rant ned i et stålfat ble benyttet (se Figur 2.8). Prøvetakingen er foretatt i juni og november 2002.



Figur 2.8 Prøvetaking av nedbør ved HOS

Analyseresultatene fra nedbørsmålingene er vist i Tabell 2.13 og Tabell 2.14. Resultater fra målingen i juni viste høye nivåer av PCB i nedbøren og av den grunn ble det foretatt en ny prøvetaking i november 2002.

Analyseresultatene viser at konsentrasjonen av PCB er mye høyere i prøven samlet inn i juni (28 ng/l) enn i november (1,5 ng/l) og at mesteparten av PCB mengden i nedbør er bundet til partikler. Hva som er årsaken til dette er ikke helt klart, men undersøkelser gjort i USA viser store årstidsvariasjoner i konsentrasjonen av PCB i luft (13). Denne undersøkelsen viser at konsentrasjonen av PCB i luft øker med økende temperatur. Det finnes begrenset med informasjon om variasjonen av PCB i luft i Norge. Data fra Svalbard i 1999 tyder på at konsentrasjonen av PCB i luft er høyere om sommeren og høsten enn om vinteren og våren (14). Målinger av heksaklorheksan (HCH) på Lista i 1999 viser også at konsentrasjonen er høyere om sommeren og høsten enn om vinteren (14). Det er ikke rapporterte data på konsentrasjonen av PCB i nedbør i Norge. FFI samler inn luftprøver for analyse av radioaktivitet ved noen ulike stasjoner i Norge. En av disse stasjonene er på Flesland i Bergen. FFI vil analysere disse filtrene nærmere for å undersøke årstidsvariasjoner av PCB i 2002 i Bergensområdet.

I nedbøren samlet i juni dominerte høyklorerte PCB kongenerene i både partikkelfraksjonen og i løst fraksjon, mens det i november var de lavklorerte PCB kongenerene som dominerte. Dette har sannsynligvis med årstidsvariasjoner å gjøre, ettersom de lavklorerte kongenerene er mer lettflyktige. At det i juni ble observert en overvekt av høyklorerte PCB kan også komme av at PCB forurensningen ved HOS domineres av høyklorerte PCB. Det er mulig at temperaturen om sommeren er tilstrekkelig høy til at forurensninger av PCB lokalt kan gi en økt konsentrasjon i luften, noe som også vil kunne føre til en økt konsentrasjon av PCB i nedbøren lokalt.

Det er kun utført to målinger av PCB i nedbør. Resultatene viser at nedbør er en betydelig kilde til PCB. Samtidig er stor forskjell mellom de to prøvene. Det vil derfor være viktig å ta flere målinger av nedbør for å undersøke variasjonen og for å få et sikrere estimat på hvor mye som tilføres til HOS fra denne kilden. Det vil også være viktig å få avklart i hvilken grad nivået av PCB i nedbør kan være påvirket av lokale kilder.

	<i>PCB-28,</i> <i>ng/l</i>	<i>PCB-52,</i> <i>ng/l</i>	<i>PCB-101,</i> <i>ng/l</i>	<i>PCB-118,</i> <i>ng/l</i>	<i>PCB-138,</i> <i>ng/l</i>	<i>PCB-153,</i> <i>ng/l</i>	<i>PCB-180,</i> <i>ng/l</i>	<i>PCB₇,</i> <i>ng/l</i>
Juni	0,19	0,22	2,29	1,28	9,67	7,41	6,05	27,1
November	0,58	0,41	0,14	0,07	0,11	0,08	0,04	1,43

Tabell 2.13 Målte konsentrasjoner av PCB i partikkelfraksjonen i nedbør samlet i juni 2002 og november 2002

	<i>PCB-28,</i> <i>ng/l</i>	<i>PCB-52,</i> <i>ng/l</i>	<i>PCB-101,</i> <i>ng/l</i>	<i>PCB-118,</i> <i>ng/l</i>	<i>PCB-138,</i> <i>ng/l</i>	<i>PCB-153,</i> <i>ng/l</i>	<i>PCB-180,</i> <i>ng/l</i>	<i>PCB₇,</i> <i>ng/l</i>
Juni	0,047	0,016	0,076	0,025	0,239	0,185	0,173	0,761
November	0,022	0,016	0,007	0,004	0,008	0,009	0,008	0,074

Tabell 2.14 Målte konsentrasjoner av løst PCB i nedbør samlet i juni 2002 og november 2002

Det kan være vanskelig å sammenligne konsentrasjoner fra tidligere publiserte arbeider på grunn av store eksperimentelle forskjeller og manglende detaljopplysninger. Det er i tillegg lite bakgrunnsmateriale å sammenligne med fra Norge. Det er imidlertid rapportert om PCB konsentrasjoner i smeltet snø fra Dividalen som ligger i konsentrasjonsområdet 1-3 ng/l (15). Det er rapportert om at snø inneholder en større andel partikkelbundet PCB enn regn, noe som ofte gjenspeiler høyere konsentrasjon i snø (16). Gjennomsnittlige rapporterte konsentrasjoner i regn ligger på 1-10 ng/l, men det har også vært rapportert konsentrasjoner høyere enn 100 ng/l. I Arktis og Antarktis ligger nivåene rundt 0,1-1 ng/l (17,18) Konsentrasjonen av PCB₇ funnet på HOS i juni ligger dermed i overkant av hva man kunne forvente, mens konsentrasjonen i november samsvarer bedre med det som er rapportert i litteraturen.

Ved beregning av mengde deponert PCB med nedbør er det valgt å anta at halvparten av den totale nedbøren faller i den kalde årstiden. Normalnedbøren for Bergen er omkring 2000 mm og arealet av havoverflaten ved HOS er estimert til 502000 m². Dette betyr at det i løpet av et år vil deponeres omkring 14 gram PCB₇ hvert år på havoverflaten i dette området.

2.4 Tilførsel fra sedimenter

Forholdet mellom PCB konsentrasjonen i sediment, vann og biota ved ulike konsentrasjonsnivå er studert av to hovedfagsstudenter ved Universitetet i Oslo i samarbeid med FFI. Ved et bioakkumuleringsforsøk på fisk (regnbueørret) er betydningen av opptak av PCB via føde kontra opptak via gjellene studert (19). Resultater fra dette arbeidet viser at opptak av PCB over gjellene er viktig for lavklorerte PCB, og på bakgrunn av etablerte biokonsentrasjonsfaktorer vil det være mulig å forutsi nivåene av fisk hvis en vet konsentrasjonen av PCB i vannet. Imidlertid vil mer høyklorerte PCB akkumulere via føden, noe som gjør det umulig å forutsi den totale konsentrasjonen av PCB i fisk ut fra konsentrasjonen i vann. Om det skal bli en betydelig reduksjon av PCB nivået i fisk er det nødvendig å redusere nivået av PCB i de organismer som utgjør føden til fiskene.

I et annet studium er det benyttet et modellsystem med sediment, vann og heptan for å undersøke den passive transporten av PCB fra sediment over en vannbarriere og til en organisk fase. Resultater fra denne studien viser at PCB lekker ut veldig langsomt fra sedimentet og over i den organiske fasen. Den viser også at lavklorerte PCB transporteres raskere fra sedimentet og over til den organiske fasen, noe som viser at lavklorerte PCB er mer mobile enn høyklorerte PCB (20).

I løpet av 2003 vil det bli gjennomført et utlekkingsstudie med forurenset sediment fra HOS. Forurenset sediment vil bli plassert i egne beholdere som deretter fylles med syntetisk sjøvann. I sjøvannet vil det bli plassert SPMD for akkumulering av PCB fra vannfasen. Det vil bli brukt sediment med tre forskjellige konsentrasjoner og det vil bli tatt ut SPMD etter henholdsvis 1, 2, 4, 6 og 8 måneder for kjemisk analyse. Resultater fra denne undersøkelsen vil rapporteres i begynnelsen av 2004.

Som nevnt i kapittel 2.2.2 ble det registrert en høyere konsentrasjon av PCB i bunnvann i forhold til overflatevann, noe som indikerer at det er en viss lekkasje av PCB fra sedimentene og over i vannmassene. Som nevnt i samme kapittel er det lite som tyder på at konsentrasjonen av PCB har endret seg i vannmassene etter at oppryddingen i sedimentene ved HOS er gjennomført. Nivået av PCB i utsatte blåskjell ser heller ikke ut til å ha endret seg som følge av gjennomført tiltak i sedimentene (nærmere beskrevet i kapittel 3.1). Det kan derfor se ut til at konsentrasjonen i vannmassene opprettholdes ved HOS tross i en betydelig reduksjon av konsentrasjonen til PCB i sedimentene. Etersom konsentrasjonen av PCB i vannmassene ved HOS er en god del høyere enn det som er blitt registrert ytterst i Grimstadvfjorden, er det tegn som tyder på at de kildene som finnes ved HOS er tilstrekkelige til å opprettholde nivået av PCB i vannmassene ved HOS. Ytterligere målinger av PCB i SPMD og utsatte blåskjell i 2003 vil vise om det kan registreres en reduksjon i konsentrasjonen av PCB i vannmassene.

Etter at tiltaket ved HOS er avsluttet skal konsentrasjonen i sedimentene være omkring 50 µg/kg tørt sediment i mesteparten av området. Med utgangspunkt i en egenvekt av vått sediment på 1300 kg/m³ og et vanninnhold på 50 % er det beregnet hvor mye tørt sediment det finnes i de øverste 10 cm. Med utgangspunkt i et areal av havbunnet ved HOS på 502000 m² vil det være lagret omkring 32600 tonn tørt sediment. Om en antar at den gjennomsnittlige konsentrasjonen av PCB₇ er 50 µg/kg i sedimentene vil det være lagret omkring 1,6 kg PCB i sedimentene. Med bakgrunn i de utlekkingsstestene som er i ferd med å gjennomføres vil det være mulig å kvantifisere hvor mye av dette som transporteres fra sedimentene til vannmassene hvert år.

I Sverige er det foretatt beregninger på utlekking av PCB fra sediment i forbindelse med en risikovurdering av forurensninger i Ørserumsviken (21). Der ble det beregnet en årlig utlekking av PCB fra sedimentene på 4 mg/m², når konsentrasjonene av PCB i sedimentene var i området 1-10 mg/kg. Om en antar at utlekkingen er proporsjonal med konsentrasjonen av PCB i sedimentet vil utlekkingen ved en sedimentkonsentrasjon på 50 µg/kg være på 0,2 mg/m² per år. Med bakgrunn i dette vil det lekke ut omkring 100 g PCB₇ hvert år fra sedimentene ved HOS.

2.5 Oppsummering - betydningen av de ulike kildene

De undersøkelsene som er gjort viser at det er flere områder ved HOS der det er kilder av PCB på land som gjennom avrenning av overvann sannsynligvis tilfører det marine miljø PCB etter som sandfangkummene i disse områdene har direkte utløp til sjøen. Det vil være vanskelig å

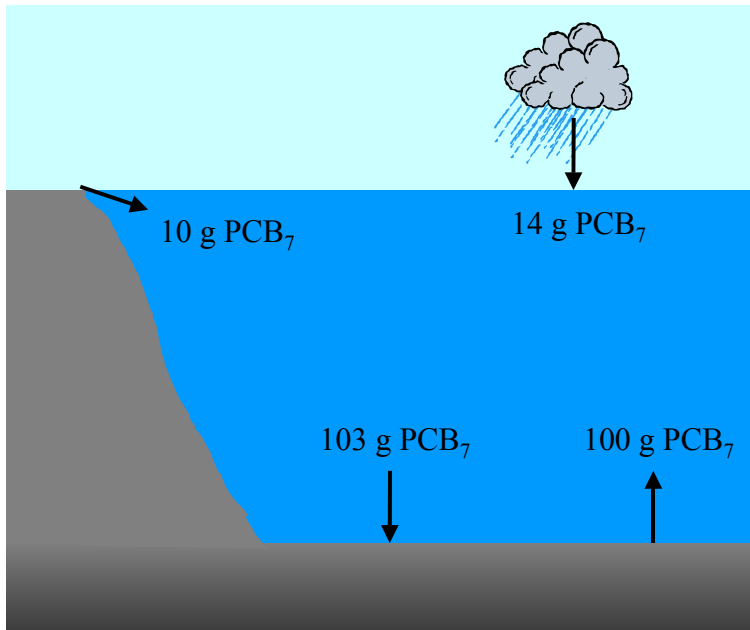
kvantifisere denne mengden, men hvis halvparten av den totale mengden av PCB som deponeres i sandfangkummer i disse områdene transporteres ut i sjøen, kan rundt 10 gram PCB₇ pr år transporteres til havnebassenget ved HOS. Med utgangspunkt i en sedimenteringshastighet på 2 g/m² per dag og at denne mengden PCB fordeles jevnt over havbunnen ved HOS, vil dette føre til at konsentrasjonen av PCB₇ i sedimentert materiale blir 27 µg/kg. Dette betyr at konsentrasjonen av PCB₇ i sedimentene ved HOS ikke kan komme under 27 µg/kg som følge av tilførsel av PCB fra land.

Målinger av PCB i nedbøren og beregninger som er utført viser at omkring 14 gram PCB₇ blir deponert med nedbøren på havoverflaten ved HOS. I havnebassenget ved HOS er det få områder som har erosjonsbunn. Med utgangspunkt i en sedimenteringshastighet på 2 g/m² per dag og at denne mengden PCB fordeles jevnt over havbunnen ved HOS, vil dette føre til at konsentrasjonen av PCB₇ i sedimentert materiale blir 38 µg/kg. Dette betyr at konsentrasjonen av PCB₇ i sedimentene ved HOS ikke kan komme under 38 µg/kg som følge av direkte deponering med nedbør på havoverflaten.

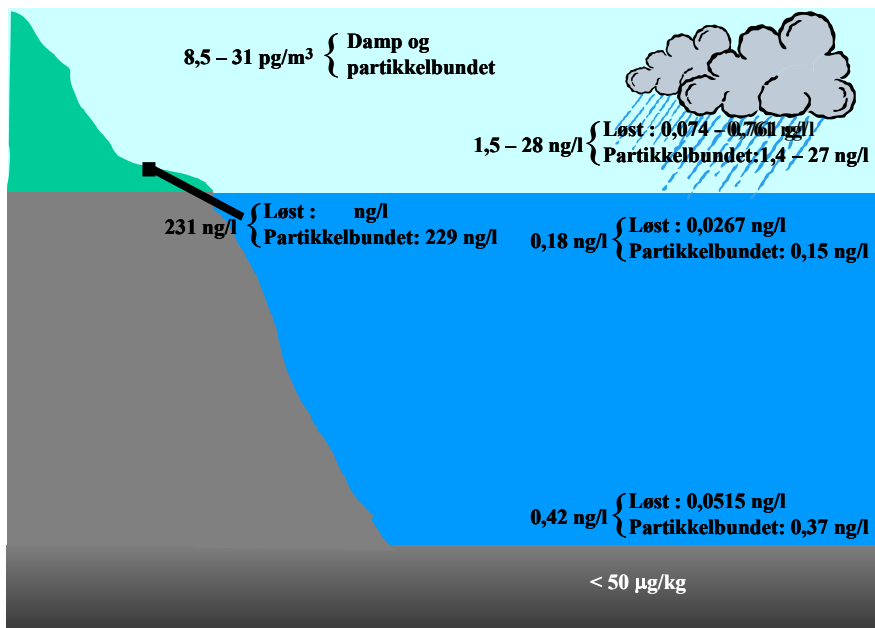
Til sammen vil tilførsel av PCB fra land og med nedbør kunne føre til at konsentrasjonen av PCB₇ i sedimentene ved HOS ikke kan bli lavere enn 65 µg/kg om det er en sedimenteringshastighet på 2 g/m² per dag i hele havnebassenget. Det er lite sannsynlig at det vil deponeres samme mengder PCB over hele havbunnen ved HOS og det vil derfor kunne være høyere konsentrasjoner av PCB₇ i enkelte områder. Forsvarsbygg har satt som mål at konsentrasjonen av PCB₇ skal være lavere enn 50 µg/kg for at kostholdsrestriksjonene på sikt kan fjernes. Derfor er det ikke usannsynlig at nivået av PCB i sedimentene om noen år vil ha steget til et nivå som reduserer effekten av oppryddingstiltaket.

Analyser av PCB i sediment fra utsatte sedimentfeller viste at konsentrasjonen av PCB var høy ved alle målestasjoner både i juni og november 2002. Nye målinger i 2003 vil vise om dette vedvarer eller om det kan registreres en reduksjon som følge av det gjennomførte oppryddingstiltaket. Ut fra oppsamlet mengde tørt sediment i sedimentfellene tyder det på at sedimenteringshastigheten ved HOS varierer fra 0,6 – 4,4 g/m² per dag. Med utgangspunkt i en tetthet på 1300 kg/m³ og et vanninnhold på 50 % vil dette utgjøre en maksimal sedimentering på 2,5 mm/år, slik at det i løpet av 4 år vil ha lagt seg opp mot 1 cm nytt sediment på de områdene som er ryddet. Det er forurensningen i det øverste laget i sedimentene som vil være mest biotilgjengelig.

Med utgangspunkt i en gjennomsnittlig konsentrasjon av PCB₇ i sedimentfellene på 280 µg/kg sediment og en sedimenteringshastighet på 2 g/m² per dag, vil det årlig deponeres omkring 103 g PCB₇. Med bakgrunn i data fra Sverige er det beregnet en utlekking fra sedimentene på rundt 100 g/år. Det vil likevel være grunn til å anta at når konsentrasjonen av PCB₇ i sedimentfellene er over 200 µg/kg vil konsentrasjonen av PCB i sedimentene gradvis øke og føre til en redusert effekt av det gjennomførte tiltaket ved HOS. I Figur 2.9 er det gjort en oppsummering over bidraget av PCB fra de ulike diffuse kildene ved HOS. Konsentrasjonen av PCB i de diffuse kildene er vist i Figur 2.10.



Figur 2.9 Beregnet bidrag av PCB fra ulike diffuse kilder



Figur 2.10 Konsentrasjoner av PCB i de ulike diffuse kildene ved HOS

Det ser ikke ut til at Bjørndalspollen og deponiene representerer noen vesentlig kilde til PCB ved HOS. Det vil imidlertid bli tatt nye prøver i 2003 for å avklare dette nærmere.

3 DELPROSJEKT 2 – KARTLEGGING AV EFFEKTENE TILTAKET I SEDIMENTENE VED HOS HAR PÅ BIOTA

Det forventes at oppryddingen av de forurensede sedimentene ved Haakonsvern vil gi seg utslag i endringer i biota, enten det gjelder endringer i artsammensetning, bedret helsetilstand hos fisk og skalldyr, eller reduserte nivåer av PCB i disse. Det er derfor gjennomført undersøkelser rett før slutført opprydding for å vurdere hva slags effekter som lar seg måle. Videre er det gjennomført undersøkelser rett etter slutføringen for å undersøke om det skjer noen umiddelbare forandringer. Forsvarsbygg har antatt at de kostholdsrestriksjoner som er innført i området rundt HOS sannsynligvis ikke kan oppheves før 10 år etter avsluttet opprydding.

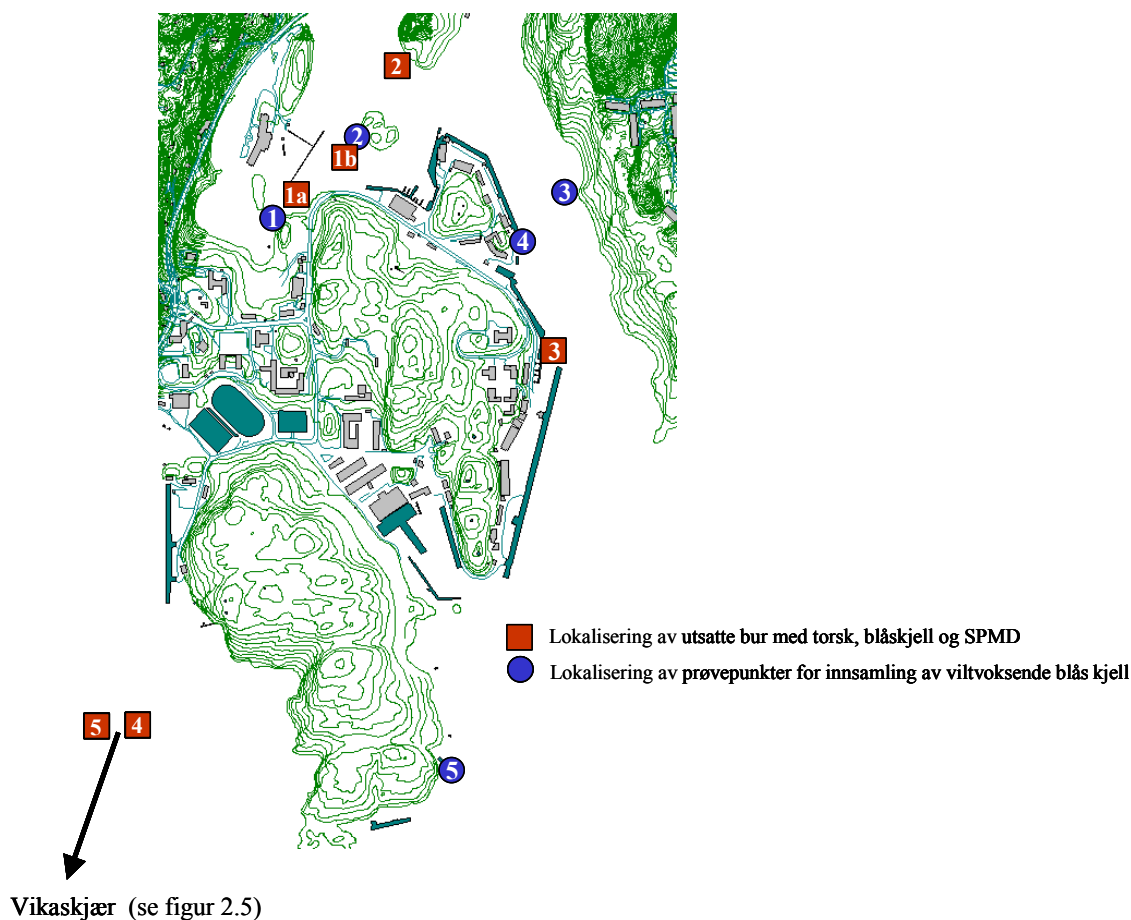
Der er fortatt undersøkelser av opptaket av PCB i utsatte fisk og skalldyr, samt analyse av PCB i viltvoksende blåskjell ved HOS.

Undersøkelsene er utført av UNIFOB, Seksjon for anvendt miljøforskning ved Høyteknologisentret i Bergen på oppdrag fra FFI. FFI har foretatt de kjemiske analysene av PCB i prøvene.

Måledata for de undersøkelser som er rapportert i dette kapitlet er dokumentert i FFI/NOTAT-2003/01592 (9).

3.1 Utsetting av torsk og blåskjell i bur

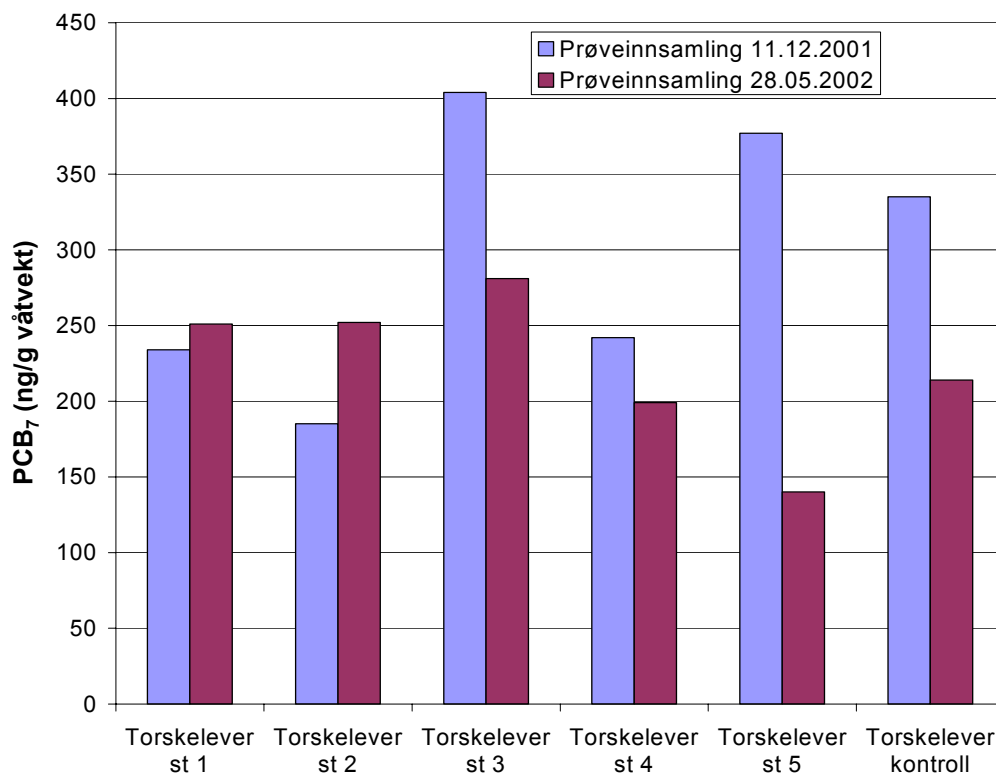
Det ble foretatt en utsetting i november 2001 og en utsetting i april 2002. Posisjonene til de utsatte burene er vist i Figur 3.1. Det er fortatt analyser av konsentrasjonen til PCB i blåskjell og i lever, filet og hjerne hos torsk. I tillegg til disse målingene er det foretatt analyser av både biomarkører og fysiologiske parametere.



Figur 3.1 Lokalisering av utsatte bur med torsk og blåskjell samt lokalisering av prøvepunkter for innsamling av viltvoksende blåskjell. 1a er posisjonen ved utsetting i november 2001, mens 1b er posisjonen ved utsetting april 2002

3.1.1 Akkumulering av PCB

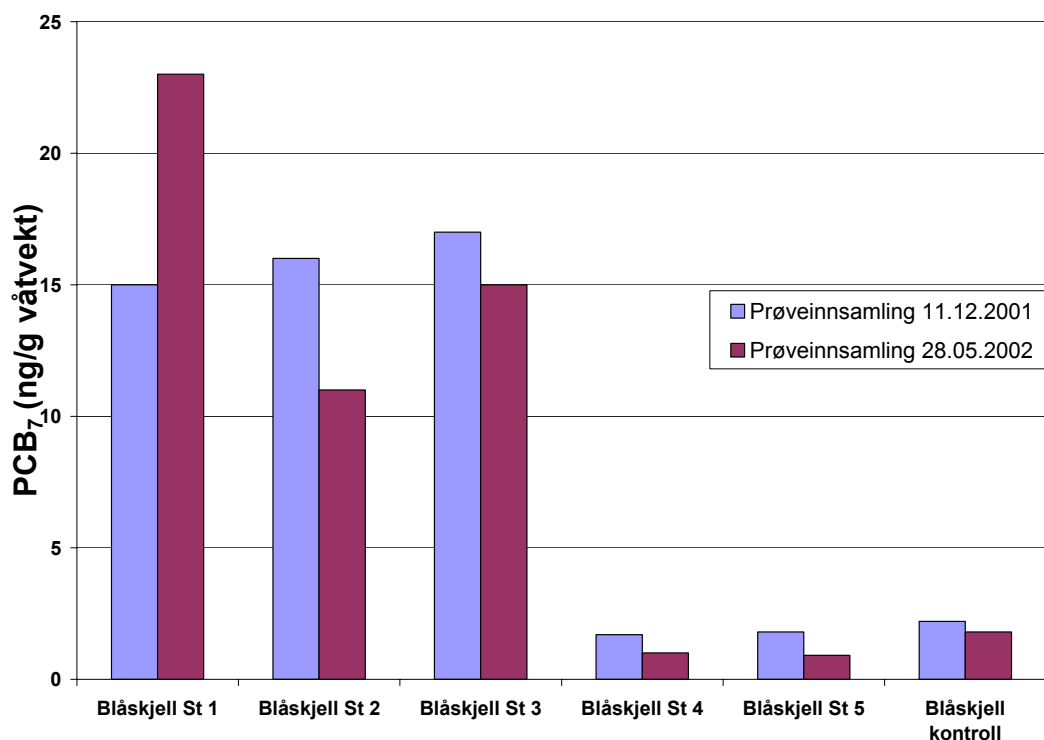
Resultatene fra disse undersøkelsene viser at det ikke kan registreres en akkumulering av PCB i torsk i løpet av utsettingsperioden som er i overkant av en måned. Det vil si at torsk utsatt i referanseområdet og ved HOS hadde omkring samme nivå av PCB som før utsetting. Det ble kun funnet spor av PCB i filet og hjerne hos torsk, mens det i lever ble funnet mengder av PCB fra 140 - 404 $\mu\text{g}/\text{kg}$ våtvekt (Figur 3.2). Det ser derfor ut til at torsk i hovedsak blir eksponert gjennom føden og ikke fra vannmassene, noe som også ble påvist i akkumuleringsstudier gjort ved FFI (19). Det ble funnet lite innhold i magesekken ved disseksjon, noe som bekrefter at den utsatte torsken har hatt lite tilgang på føde.



Figur 3.2 Målte konsentrasjoner av PCB i torskelever

I blåskjell ble det funnet en betydelig akkumulering av PCB på de tre stasjonene ved HOS i forhold til referanseområdet (Figur 3.3). Tilsvarende resultater ble funnet i de undersøkelsene som FFI utførte i forbindelse med mudring av de forurensede sedimentene i småbåthavna ved HOS (delområde 1) i 1998 (1). Konsentrasjonen av PCB i utsatte blåskjell er noe lavere i mai 2002 enn det som ble registrert i desember 2001 for alle stasjonene bortsett fra stasjon 1. På grunn av mudringsarbeider måtte stasjon 1 flyttes mot Storholmen i mai 2002. De to utsettingene i desember 2001 og mai 2002 ved stasjon 1 kan derfor ikke direkte sammenlignes.

Da det ble registrert en lavere konsentrasjon av PCB også i referanseområdet i mai 2002 i forhold til desember 2001, er det sannsynlig at dette skyldes sesongvariasjoner. I løpet av våren vil blåskjell gyte og kan gjennom dette kvitte seg med PCB. Det kan også være andre fysiologiske endringer i blåskjellet som forårsaker den nedgangen som ble observert. Ytterligere målinger i 2003 vil bekrefte om det observeres en nedgang i akkumulert mengde i utsatte blåskjell.



Figur 3.3 Målte konsentrasjoner av PCB i utsatte blåskjell

3.1.2 Fysiologiske målinger

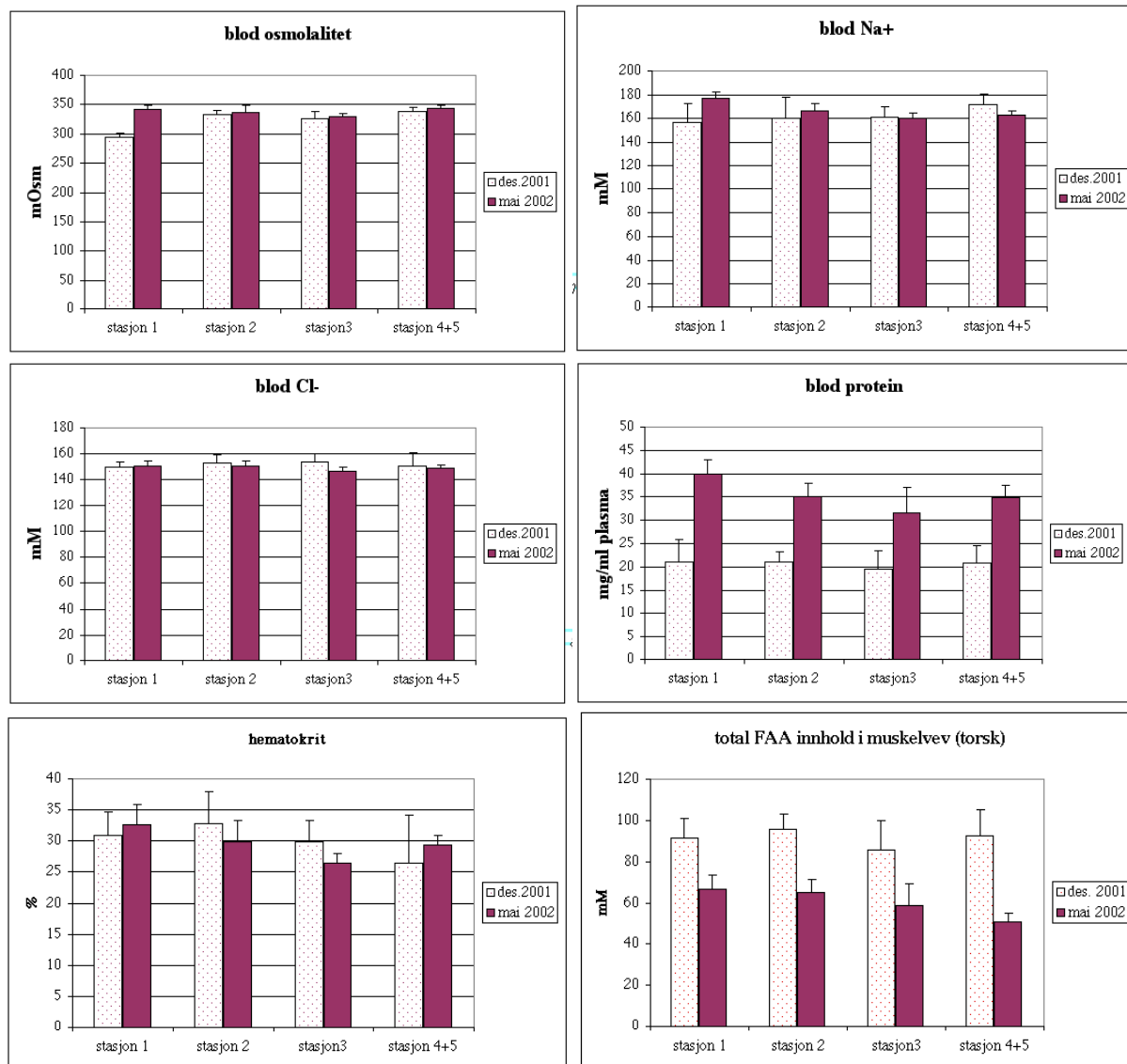
Det ble tatt ut blodprøver fra torskene som var satt ut i bur for å undersøke om det kunne påvises en redusert helsetilstand hos torskene ved HOS i forhold til referanseområdet. Lokaliseringen av utsatte bur er vist i Figur 3.1. Blodplasmaets osmolalitet, proteininnhold og ioneinnhold samt muskelvevets innhold av frie aminosyrer (FAA) er valgt som kritiske måleparametre som vil avspeile fiskens helsetilstand.

Analyseresultatene fra de fysiologiske målingene er vist i Figur 3.4, mens Tabell 3.1 viser kondisjonsfaktoren. Ved alle stasjonene ble det observert en normal pigmentering og adferd hos torskene. Kondisjonsfaktoren er omtrent den samme ved de ulike stasjonene, noe som viser at næringsinntaket ikke har vært vesentlig forskjellig fra torsk utsatt ved HOS i forhold til referanseområdet. Som det fremgår av Figur 3.4 ble det ikke påvist noen forskjeller i de fysiologiske målingene hos torsk utsatt ved HOS og referanseområdet. Ut fra disse målingene er det ikke tegn som tyder på at helsetilstanden hos utsatte torsk er påvirket av forurensninger i marint miljø ved HOS. Dette stemmer godt overens med at det ikke ble observert noen akkumulering av PCB i utsatte torsk. Det ser derfor ut til at torsk utsatt i bur er lite egnet til å overvåke forurensningssituasjonen i et lokalt forurenset område.

Disse målingene ble foretatt rett før mudringen ble avsluttet og noen måneder etter avsluttet mudring. Det vil ikke være sannsynlig at et vesentlig forskjellig resultat ville fremkommet om forsøkene hadde vært utført før oppryddingen startet etter som det ikke ble observert en akkumulering i torsk som følge av begrenset tilgang på føde og begrenset eksponeringstid. Ut fra de undersøkelsene som er gjort er det ingen tegn på at konsentrasjonen av PCB i vannmassene er endret etter at oppryddingen startet. Torskene har derfor vært eksponert for tilsvarende konsentrasjoner av PCB i vannmassene som den ville vært før oppryddingen startet.

Periode	Stasjon 1	Stasjon 2	Stasjon 3	Stasjon 4 & 5
Mai 2002	0,80	0,76	0,71	0,91
Desember 2002	0,82	0,78	0,80	0,78

Tabell 3.1 Kondisjonsfaktor (våttvekt \times 100 / Lengden³) hos utsatte torsk ved prøveinnsamling



Figur 3.4 Analyseresultater fra måling av fysiologiske parametre i blod hos torsk utplassert ved HOS og ved referanseområdet Vikaskjær

3.1.3 Toksikologiske målinger

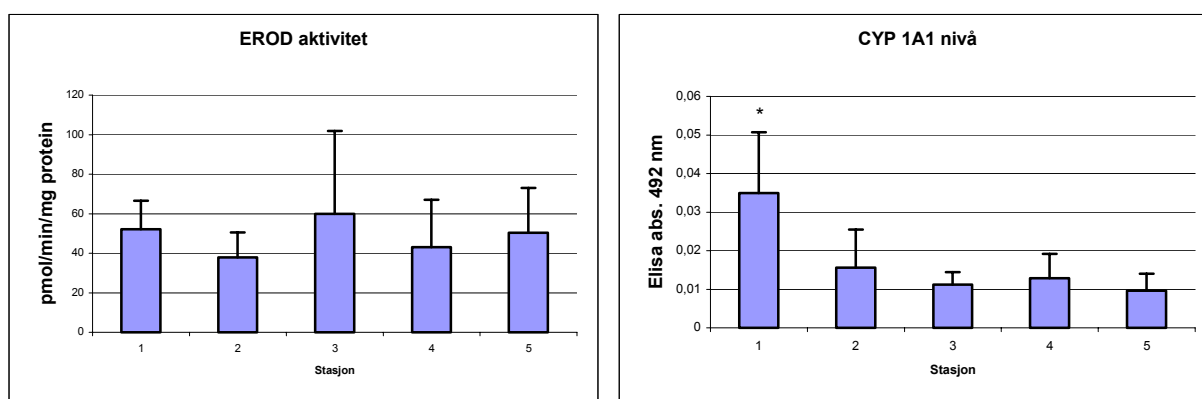
Det ble foretatt målinger av enzymet CYP 1A1 og EROD aktivitet i mikrosomfraksjonen av torskelever hos utsatte torsk for å kartlegge eventuelle toksiske responser hos torsken.

Analyseresultater fra disse undersøkelsene er vist i Figur 3.5 og Figur 3.6.

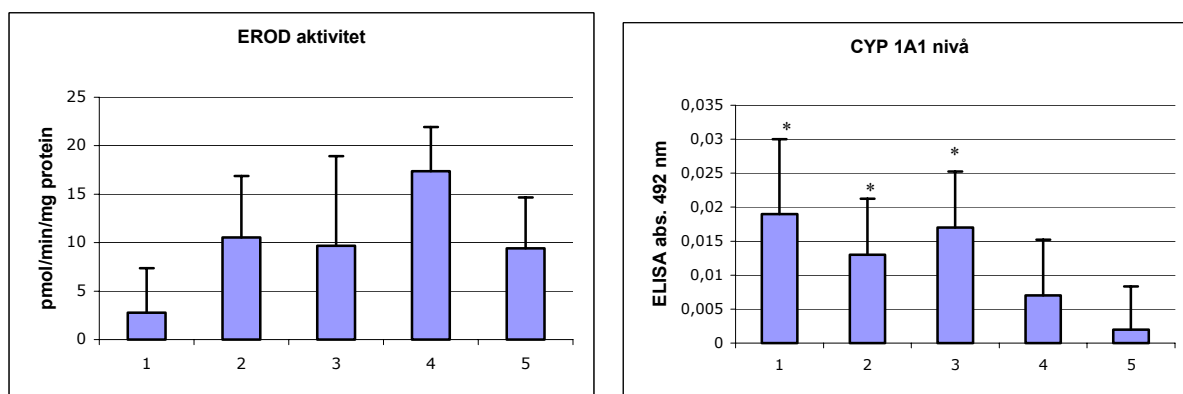
Resultatene fra 2001 viser ingen signifikant forskjell i EROD aktivitet mellom torsk plassert ved

HOS i forhold til referanseområdet, selv om det ble påvist et signifikant økt nivå av enzymet CYP 1A1 ved stasjon 1. Etter som nivået av PCB i torskelerver ved stasjon 1 ikke var forskjellig fra referanseområdet, kan det være andre forbindelser som også gir induksjon av CYP 1A1 som for eksempel polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) som er årsaken til dette.

I 2002 ble det observert en noe lavere EROD aktivitet enn i 2001, noe som kan være forårsaket av årstidsvariasjoner. Ved stasjon 1 var EROD aktiviteten noe lavere enn ved de andre stasjonene, noe som kan skyldes hemming av aktiviteten av forurensningskomponenter som tributyltinn (TBT) eller tungmetaller. Det ble registrert et signifikant økt nivå av CYP 1A1 ved stasjonene ved HOS. Nivået var imidlertid tilsvarende det som ble registrert i 2001. Det er vanskelig å angi hva dette skyldes, men det kan være at dette viser at torskene er eksponert for et forhøyet forurensningsnivå ved HOS i forhold til referanseområdet.



Figur 3.5 EROD aktivitet og CYP 1A1 nivå i torskelerver ved de ulike stasjonene i eksponeringsperiode 01.11.2001 - 11.12.2001. * indikerer signifikant forskjellig fra stasjon 5 og fra sammenslått stasjon 4 og 5 ved bruk av Wilcoxon/Kruskal-Wallis test

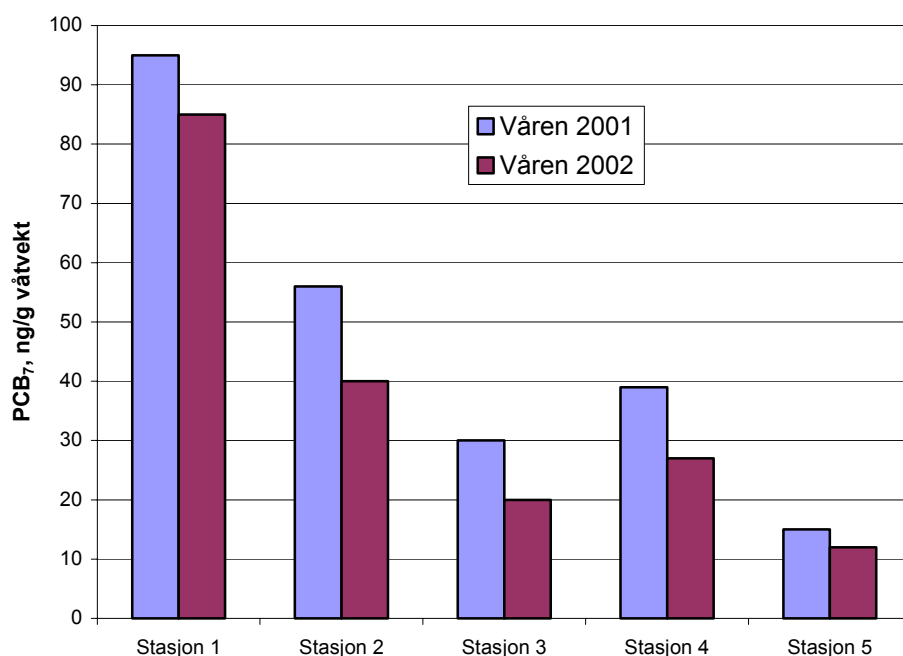


Figur 3.6 EROD aktivitet og CYP 1A1 nivå i torskelerver ved de ulike stasjonene i eksponeringsperiode 10.04.2002 - 28.05.2002. * indikerer signifikant forskjellig fra stasjon 5 og fra sammenslått stasjon 4 og 5 ved bruk av Wilcoxon/Kruskal-Wallis test

3.2 Overvåkning av nivået av PCB i viltvoksende blåskjell

Det er samlet inn viltvoksende blåskjell våren 2001 og våren 2002 ved fem ulike posisjoner ved HOS (Figur 3.1) som er analysert for PCB.

Resultatet fra disse analysene viser at det er en stigende konsentrasjonsgradient inn mot deponiet ved HOS (Figur 3.7) både ved prøvetaking i 2001 og 2002. Disse resultatene tyder på at det er en konsentrasjonsgradient i vannmassene av PCB ut fra deponiet. Dette kan indikere at vannutskiftningen inne ved deponiet er mindre enn lenger ut i havneområdet ved HOS, slik at konsentrasjonene av PCB i vannmassene er høyere her. Det kan også være at dette skyldes transport av PCB fra deponiet med vannmassene og ut i havnebassenget ved HOS. Sjøbunnen nærmest deponiet ble rensert opp sist og var ikke ferdig opprenset før sommeren 2002. Dette kan være medvirkende til at det høyeste nivået blir registrert nærmest deponiet. Oppfølgende målinger i 2003 vil avklare dette nærmere.



Figur 3.7 Målte konsentrasjoner av PCB i viltvoksende blåskjell

3.3 Risikovurdering

For å avklare i hvilken grad nivået av miljøgifter i sedimentene etter avsluttet tiltak ved HOS utgjør noen helserisiko eller økotoksikologisk risiko, er det med utgangspunkt i risikovurderingsverktøy for forurensede sedimenter utarbeidet av FFI (22) foretatt en utvidet risikovurdering med hensyn til PCB.

3.3.1 Helserelatert risikovurdering

I Tabell 3.2 er det vist hvilke normkonsentrasjoner som er beregnet i risikovurderingsverktøyet når alle eksponeringsveier er tatt med. Standardverdier som er benyttet i beregningene er vist i appendiks A.

Med bakgrunn i de beregninger som er gjort er det klart at inntak av fisk er den viktigste eksponeringsveien for PCB. Det blir derfor små endringer i normkonsentrasjonen om de andre eksponeringsveiene fjernes i vurderingen. Ved HOS er det ingen badeplasser og det forekommer minimalt med bading i området. Ved å fjerne alle eksponeringsveier bortsett fra inntak av fisk vil beregnet normverdi for sedimenter bli som vist i Tabell 3.3. Med bakgrunn i eksponering av barn vil normverdien for PCB₇ i sedimenter være 2,8 µg/kg. Dette er tilsvarende tilstandsklasse I, ubetydelig – lite forurenset for PCB₇ (23).

	Normverd i, µg/kg	Inntak av fisk, mg/kg vv	Oralt inntak av suspendert materiale, mg/l	Oralt inntak av overflatevann, mg/l	Oralt inntak av kontaminerte sedimenter, mg/kg tv	Hudkontakt med kontaminerte sedimenter, mg/kg tv	Hudkontakt med kontaminert overflatevann, mg/kg
Barn	2,5	2,75E-3	3,7E+16	1,1E+3	2,37E-2	1,38E+1	2,89E+1
Voksne	6,4	6,42E-3	1,73E+17	7,71E+4	3,16E0	5,18E0	4,27E+1

Tabell 3.2 Normkonsentrasjoner for PCB₇ i sediment beregnet i risikoverktøyet med bidrag fra alle eksponeringsveier både ved eksponering av barn og voksne

	Normverdi, µg/kg
Barn	2,8
Voksne	6,4

Tabell 3.3 Normverdi for PCB₇ i sedimenter når alle eksponeringsveier bortsett fra inntak av fisk er fjernet

I standardverdien til risikovurderingen er det benyttet et inntak av fisk på henholdsvis 70 g/dag for barn og 140 g/dag for voksne. I henhold til fisk og viltundersøkelsen utført av Statens næringsmiddeltilsyn (24) er inntaket av fisk i Hordaland i gjennomsnitt på 72 g/dag. Inntaket av mager og halvfet fisk i samme fylke er i gjennomsnitt på 26 g/dag. For hele landet er 95-percentil for fisk (totalt) 139 g/dag og tilsvarende med det som er benyttet som standardverdi i risikoverktøyet. For hele landet er 95-percentil for mager og halvfet fisk 62 g/dag og for fet fisk 44 g/dag. I undersøkelsen er ikke inntaket av fisk hos barn undersøkt, men det laveste inntaket av fisk blir registrert hos aldersgruppen 18-29 år. Ved å ta hensyn til det inntak av fisk som er nevnt ovenfor og et utgangspunkt i at barn har et inntak av fisk som er det halve av de voksnes inntak er det gjort en ny beregning av normverdi for PCB₇ i sediment. Resultatene fra disse beregningene er vist i Tabell 3.4.

		<i>Inntak av fisk Voksne 72 g/dag Barn 36 g/dag</i>	<i>Inntak av fisk Voksne 26 g/dag Barn 13 g/dag</i>	<i>Inntak av fisk Voksne 62 g/dag Barn 31 g/dag</i>	<i>Inntak av fisk Voksne 44 g/dag Barn 22 g/dag</i>
Normverdi $\mu\text{g}/\text{kg}$	Barn	5,4	15	6,3	8,9
	Voksne	12	34	14	22

Tabell 3.4 Normverdier for PCB₇ i sediment avhengig av inntaket av fisk

Bortsett fra når en legger til grunn det gjennomsnittlige inntaket av mager og halvfet fisk i Hordaland blir normverdien for PCB₇ i sedimenter lavere enn 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$. For at det skal være trygt for selv den som spiser mye fisk, viser risikovurderingen at mengden PCB₇ i sedimentene bør være under 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Det er benyttet konservative verdier i risikovurderingen og det er knyttet en del usikkerhet til de normverdier som er beregnet. Forsvarsbygg har i forbindelse med oppryddingen av sedimentene ved HOS satt som mål at konsentrasjonen av PCB₇ i sedimentene skal være lavere enn 50 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Med bakgrunn i de beregnede normkonsentrasjoner vil det være noe usikkert om dette er tilstrekkelig til å oppheve kostholdsrestriksjonene på fisk og skalldyr ved HOS.

I risikovurderingsverktøyet for sjøforurensninger utarbeidet av FFI er det også gjort beregninger av helserelevante normverdier av PCB₇ i vann og biota. Disse normkonsentrasjonene er vist i Tabell 3.5. I alle vannprøver som er tatt rundt HOS har konsentrasjonen av PCB₇ vært høyere enn normkonsentrasjonen på 0,012 ng/l. I både blåskjell og torskelever har konsentrasjonen av PCB₇ vært mye høyere enn beregnet normverdi 0,56 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Ettersom biota akkumulerer PCB fra vann, ser det ut til at det er nødvendig med en betydelig reduksjon av konsentrasjonen til PCB i vann ved HOS for å gi en tilstrekkelig lav konsentrasjon i biota til at disse trykt kan spises.

<i>Normverdi for vann, ng/l</i>	<i>Normverdi for biota, $\mu\text{g}/\text{kg}$</i>
0,012	0,56

Tabell 3.5 Helserelevante normverdier for PCB₇ i vann og biota

3.3.2 Økotoksikologisk risiko

FFI har også utarbeidet en økotoksikologisk normverdi for PCB₇ i sediment (24). Denne normverdien er beregnet til 1 mg/kg. Ved HOS ble det i gjennomsnitt målt en konsentrasjon av PCB₇ i sedimentene på 0,55 mg/kg før oppryddingsarbeidene i sedimentene startet. Etter avsluttet opprydding i sedimentene vil konsentrasjonen i mesteparten av området ligge under 0,05 mg/kg. Dette er langt under beregnet normverdi og det skulle derfor ikke være noen økotoksikologisk risiko forbundet med forurensningen av PCB ved HOS. Resultatene fra de fysiologiske og toksikologiske undersøkelsene som er utført viser liten eller ingen effekter som kan knyttes til forurensning av PCB ved HOS. Med bakgrunn i dette er det stor sannsynlighet for at det ikke foreligger noen økotoksikologisk risiko på marint miljø fra forurensningen av PCB lokalt ved HOS.

3.4 Forslag til videre oppfølging

Med bakgrunn i de undersøkelser som er gjort og de resultater som er fremkommet foreslår FFI følgende forslag til videre oppfølging av miljøet ved HOS.

1. Analyse av slam i sandfangkummer som har direkte utløp til sjøen for å kvantifisere og lokalisere mulige diffuse utslipp fra land. Prøve å finne mulige kilder til PCB i småbåthavna og ved dykkerskolen
2. Nærmere undersøkelse av årstidsvariasjoner av PCB i nedbør
3. Prøvetakning med sedimentfeller for å overvåke ny forurensning av sjøbunnen
4. Prøvetakning av ville blåskjell og eventuelt SPMD for å overvåke nivået av PCB i vannmassene
5. Lage en modell som beskriver transport av PCB ved HOS

4 KONKLUSJON

Med bakgrunn i de resultater som er fremkommet så langt tyder det på at tilførsler av PCB fra land og via nedbør kan føre til at effekten av oppryddingstiltaket ved HOS blir liten. Selv om den totale mengden av PCB som tilføres marint miljø med overvann og nedbør er moderat, så viser undersøkelsene at konsentrasjonen av PCB i slam fra sandfangkummer og sedimentfeller er høy. Dette vil være med på å opprettholde konsentrasjonen av PCB i vannmassene og føre til at bunnsedimentene stadig tilføres forurensede sediment. Oppfølgende undersøkelser vil vise om det kan påvises noen reduksjoner av nivået til PCB i biota som følge av oppryddingen som er foretatt ved HOS.

Konsentrasjonen av PCB₇ i sedimentene er redusert fra i gjennomsnitt omkring 500 µg/kg til under 50 µg/kg. Det har derfor blitt en klar forbedring av forurensningsnivået i sedimentene etter at tiltaket ved HOS er avsluttet. Ut fra nåværende data er det vanskelig å angi om dette har hatt noen innvirkning på spredning av PCB fra sedimentene. Etter som konsentrasjonen av PCB er redusert betraktelig i sedimentene er det grunn til å anta at utlekkingen av PCB fra sedimentene er redusert. Det er imidlertid verdt å nevne at mudringen har fjernet store mengder med organiske partikler som har høy affinitet for PCB og har på enkelte steder etterlatt seg ett grovt sediment av stein og grus som har liten affinitet for PCB. Dette kan forårsake en økt utlekking av PCB fra sedimentene som vil være med på å opprettholde spredningen av PCB fra sedimentene. Vi har i dag ikke data på i hvilken grad utlekkingen av PCB fra sedimentene er direkte proporsjonal med konsentrasjonen av PCB i sedimentene. Det er derfor vanskelig å antyde i hvilken grad utlekkingen fra sedimentene er redusert som følge av oppryddingen. Etter som blåskjell og SPMD ser ut til å akkumulere tilsvarende mengder med PCB etter avsluttet tiltak som før tiltaket ble iverksatt, er det lite som tyder på at konsentrasjonen av PCB i vannmassene er endret. Foreløpig er det derfor lite som tyder på at oppryddingen har ført til en vesentlig lavere transport av PCB fra HOS. Det kan være at oppvirvling som skyldes fartøyer

fører til en mindre spredning av forurensning helt lokalt, ettersom konsentrasjonen av PCB i sedimentene er betydelig redusert.

Det ble ikke registrert noen fysiologiske effekter hos utsatte torsk ved HOS og det ble i liten grad påvist toksikologisk respons hos torsk utplassert ved HOS. Det ble heller ikke observert akkumulering av PCB i utsatte torsk. Nivået av PCB i utsatt blåskjell og SPMD viser tilsvarende akkumulering som før oppryddingstiltaket startet ved HOS og langt høyere enn det som er registrert ved referanseområdet. Dette tyder på at det er lokale kilder ved HOS som opprettholder konsentrasjonen av PCB i vannmassene selv etter at oppryddingstiltaket er gjennomført, noe som kan føre til at effekten av oppryddingstiltaket blir redusert.

Det ble registrert en økende konsentrasjon av PCB i viltvoksende blåskjell inn mot deponiet, noe som kan skyldes en lavere vannutveksling i indre havnebassen enn lenger ut eller det kan tyde på at det transporteres noe PCB ut av deponiet. Det ble ikke påvist noen netto transport av PCB ut fra deponiet etter analyse av PCB i vannmasser som strømmer ut og inn i deponiet med tidevannet. Det kan derfor tyde på at deponiet ikke er noen vesentlig kilde til PCB ved HOS.

Ut fra de analyser som er gjort tyder det heller ikke på at Bjørndalspollen representerer noen vesentlig kilde til PCB ved HOS.

Ut fra gjennomført risikovurdering med hensyn på helsefare er det klart at det er inntak av fisk som er den viktigste eksponeringsveien for PCB. Beregninger som er gjort viser at konsentrasjonen av PCB₇ i sedimentene bør være lavere enn 10 µg/kg om det ikke skal være forbundet med helsefare å spise fisk fra området. Dette er noe lavere enn det som er konsentrasjonen av PCB₇ ved HOS og det er derfor knyttet noe usikkerhet til om kostholdsrestriksjonene som er innført ved HOS på sikt kan oppheves. Med bakgrunn i nye risikovurderinger har Statens næringsmiddeltilsyn innført følgende kostholdsråd for fiskelever med bakgrunn i høyt innhold av PCB og dioksiner: Barn, kvinner i fruktbar alder og gravide bør ikke spise fiskelever eller pålegg laget av fiskelever. Andre personer bør begrense inntaket. Dette viser at det kan være vanskelig å fjerne kostholdsråd knyttet til PCB selv om det blir foretatt en opprydding i sedimentene.

Med bakgrunn i en gjennomført økotoksikologisk risikovurdering er det stor sannsynlighet for at det ikke foreligger noen risiko knyttet til forurensningen av PCB for marint miljø lokalt ved HOS. De fysiologiske og toksikologiske undersøkelsene understøtter også dette.

APPENDIKS

A STANDARDVERDIER BENYTTET TIL HUMAN RISIKOANALYSE

Variabel	Symbol	Enhet	Verdi	
Egenskaper ved vann				
Egenvekt sediment	EV.s	kg/liter	1.3	
Grenseverdi Oktanol-vann-koeff.	LK	-	3	
Fraksjon organisk karbon i sediment	Focs	-	0.058	
Fraksjon vann i sediment	Fvs	-	0.4	
Egenvekt partikulært materiale	EV.m	kg/liter	1.3	
Fraksjon organisk karbon i partikulært materiale	Focm	-	0.116	
Fraksjon vann i partikulært materiale	Fvm	-	0.4	
Fortynningsfaktor for sediment	Ts	-	0.04	
Fortynningsfaktor for partikulært materiale	Tm	-	0.0000092	
Egenskaper ved mennesker				
Sett inn			Barn	Voksne
Alder: Bruk verdier for barn = 0, voksne = 1	-	-	0	
Daglig inntak av sediment	DI _s	kg tv/dag	0.01	0.00035
Daglig inntak av fisk	DI _f	kg vv/dag	0.07	0.14
Daglig inntak av overflatevann	DI _u	l/dag	0.05	0.05
Absorpsjonsfaktor	AF	-	1	1
Absorpsjonsrate for hud for eksponering av sediment	AR _s	(l/dag)	0.24	0.12
Hudareal for eksponering av sediment	HA _s	m ²	0.28	0.95
Hudareal for eksponering av overflatevann	HA _u	m ²	0.57	1.8
Absorpsjonsrate for hud for eksponering av overflatevann	AR _u	[(mg/m ²)/(mg/l)]/t	0	0
Hudadherensrate for sediment	AD	mg/m ²	5100	37500
Matriks faktor	M _f	-	0.15	0.15
Eksponeringsfrekvens	EF	dager/ 365dager	0.0821917	0.0821917
Kroppsvekt	KV	kg	15	70
Innhold suspendert materiale i overflatevann	IS _u	kg/liter	0.00003	0.00003
Eksponeringstid for sediment	ET _s	timer/timer	0.3333333	0.3333333
Kontaminert fraksjon	KF	-	0.5	0.5
Eksponeringstid for overflatevann	ET _v	timer/dag	0.3333333	0.3333333
Eksponeringsfrekvens for overflatevann	EF _{ov}	dager/365 dager	0.0821917	0.0054794
Eksponeringsfrekvens for suspendert materiale	EF _{sm}	dager/ 365dager	0.0821917	0.0054794

18. April 2003

Forsvarets
Forskningsinstitutt,
April 2002

Litteratur

- (1) Johnsen A, Olsen JS, Rossland H, Ljønes M, Hartvig SK (1998): Akkumulering av miljøgifter i blåskjell og semipermeable membraner under mudring i delområde 1; Haakonsvern, FFI/rapport-98/05088, ugradert
- (2) Johnsen A, Rossland HK (2000): Akkumulering av miljøgifter i blåskjell og semipermeable membraner i delområde 1 og deponiene ved Haakonsvern orlogsstasjon. Oppfølgende undersøkelser, FFI/RAPPORT-99/06337, ugradert
- (3) Johnsen A, Rossland HK, Bøyum O, Christiansen M (2000): Analyse av polyklorete bifenyler (PCB) i sjøvann, FFI/RAPPORT-2000/05945, ugradert
- (4) Johnsen A, Ljønes M (2002): Målinger av miljøgifter i slam fra sandfangkummer ved Haakonsvern orlogsstasjon, FFI/NOTAT-2002/00815, ugradert
- (5) Miljøverndepartementet (2002): St.meld. nr.12 (2001-2002) Rent og rikt hav.
- (6) Statens forurensningstilsyn (2000): Miljøgifter i norske fjorder. Ambisjonsnivå og strategi for arbeidet med forurenset sjøbunn. SFT-rapport 1774/2000.
- (7) Forsvarets bygningstjeneste (2001): Opprydding av forurensete sedimenter og forurenset grunn på Haakonsvern orlogsstasjon i Bergen kommune. Statusrapport pr. 31.12.2000.
- (8) Johnsen A, Engøy T (2000): Contamination from marine paints - A Norwegian perspective. I RTO meeting proceedings 39. Approaches to the implementation of environment pollution prevention technologies at military bases.
- (9) Johnsen A, Rossland HK, Søybye E (2003): Måledata fra undersøkelser av diffuse kilder og effektstudier i torsk og blåskjell ved Haakonsvern orlogsstasjon, FFI/NOTAT-2003/01592, ugradert
- (10) Johnsen A (2001): Kartlegging av miljøgifter i fregatten KNM Stavanger - Miljøgifter i maling, FFI/RAPPORT-2001/04758, ugradert
- (11) Johnsen A (2002): Kartlegging av miljøgifter i fregatten KNM Stavanger - Miljøgifter i ulike produkter og materialer, FFI/RAPPORT-2002/02093, ugradert
- (12) Statens forurensningstilsyn (1996): PCB i Norge - Forekomst og forslag til tiltak. SFT rapport 96:08.
- (13) Manchester-Neevsvig JB, Andren AW (1989): Seasonal variation in the atmospheric concentration of polychlorinated biphenyl congeners, *Environmental Science & Technology* **23**, 9, 1138-1148.
- (14) Aas W, Tørset K, Solberg S, Berg T, Manø S (2000): Overvåkning av langtransportert forurenset luft og nedbør. Atmosfærisk tilførsel, 1999. NILU OR 23/2000.
- (15) Enge EK, Heimstad ES, Kallenborn R (1998): Distribution of polychlorinated biphenyls (PCBs) in snow samples in northern Norway, *Organohalogen compounds* **39**, 435-438.

- (16) Franz TP, Eisenreich SJ (1998): Snow scavenging of polychlorinated biphenyls and polycyclic aromatic hydrocarbons in Minnesota, *Environmental Science & Technology* **32**, 12, 1771-1778.
- (17) Erickson MD (1997): Analytical chemistry of PCBs. Second edition, CRC Press Inc., Florida, USA. ISBN 0-87371-923-9
- (18) Franz TP, Eisenreich SJ (1993): Wet deposition of polychlorinated biphenyls to Green Bay, Lake Michigan, *Chemosphere* **26**, 10, 1767-1788.
- (19) Hetland Ø (2002): Relative contributions of aqueous and dietary uptake of two PCBs to the body burden in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Hovedoppgave til cand.scient.-graden i toksikologi, Avdeling for molekylær cellebiologi, Biologisk institutt. Universitet i Oslo.
- (20) Myhrvold C (2002): Sedimenter som sekundærkilde for polyklorerte bifenyler (PCB). Hovedoppgave til cand.scient.-graden i toksikologi, Avdeling for molekylær cellebiologi, Biologisk institutt. Universitet i Oslo.
- (21) Axelman J, Åkerman G, Tjärnlund U, Balk L, Broman D (1998): PCB- och kvicksilverundersøkning i Øresumviken - underlag för fördjupad riskbedömning. Upublisert rapport.
- (22) Voie Ø, Storstenvik A (2001): Risikovurderinger av sjøforurensninger, FFI/RAPPORT-2001/04130, ugradert
- (23) Statens forurensningstilsyn (1997): Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystvann. Veiledning 97:03.
- (24) Statens næringsmiddeltilsyn (2002): Fisk- og viltundersøkelsen. Konsum av matvarer som kan ha betydning for inntaket av kvikksølv, kadmium og PCB/dioksin i norsk kosthold. SNT-rapport 6.

FORDELINGSLISTE

FFIBM
Dato: 7 mai 2003

RAPPORTTYPE (KRYSS AV)		RAPPORT NR.	REFERANSE	RAPPORTENS DATO				
<input checked="" type="checkbox"/>	RAPP	<input type="checkbox"/>	NOTAT	<input type="checkbox"/>	RR	2003/01595	FFIBM/81301/138.2	7 mai 2003
RAPPORTENS BESKYTTELSESGRAD				ANTALL TRYKTE UTSTEDT	ANTALL SIDER			
UGRADERT				70	41			
RAPPORTENS TITTEL				FORFATTER(E)				
DIFFUSE KILDER TIL PCB OG EFFEKTSTUDIER I TORSK OG BLÅSKJELL VED HAAKONSVERN ORLOGSSTASJON				JOHNSEN Arnt, ROSSLAND Helle Kristin, SØBYE Edgar, LONGVA Kjetil Sager				
FORDELING GODKJENT AV FORSKNINGSSJEF				FORDELING GODKJENT AV AVDELINGSSJEF:				
Bjørn Arne Johnsen				Jan Ivar Botnan				

EKSTERN FORDELING
INTERN FORDELING

ANTALL	EKS NR	TIL	ANTALL	EKS NR	TIL
1		FO	9		FFI-Bibl
1		v/Kom kapt Jon Ole Siggerud	1		FFI-ledelse
1		v/Maj Eldar Elvebu	1		FFIE
1		FLO/Sjø	1		FFISYS
1		v/Harald Juvik	1		FFIBM
1		FLO/Luft	1		FFIN
1		v/Maj Walter Blix	5		Forfattereksemplar(er)
1		FLO/Land	30		Restopplag til Biblioteket
1		v/Jan Harald Evensen			Elektronisk fordeling:
1		Forsvarsbygg			FFI-veven
1		v/Torgeir Mørch			Miljøreferanser
1		v/Harald Bjørnstad			Jan Ivar Botnan, FFIBM
1		SDV			Bjørn Arne Johnsen, FFIBM
1		v/Orl kapt Svein Syversen			Øyvind Voie, FFIBM
1		SFT			Arnt Johnsen, FFIBM
1		v/Anne Kathrine Arnesen			Kjetil Longva, FFIBM
1		v/Arne Anders Sandnes			Hege Ringnes, FFIBM
1		v/Per Antonsen			Marita Ljønes, FFIBM
1		v/Kari Kjøningsen			Edgar Søbye, FFIBM
1		UNIFOB			Arnljot Strømseng, FFIBM
1		v/ Per Johannessen			Helle Kristin Rosslund, FFIBM
					Lene Sørli Heier, FFIBM