

Risikovurdering av propelloppvirvling av sedimenter ved Hydro Aluminium Sunndals kaiområde



Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 55 31 22 14

NIVA Midt-Norge

Pirsenteret, Havnegata 9
Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Risikovurdering av propelloppvirvling av sedimenter ved Hydro Aluminium Sunndals kaiområde	Løpenr. (for bestilling) 5975-2010	Dato 14/05/10
	Prosjektnr. Undernr. O-10211	Sider Pris 39
Forfatter(e) Jarle Håvardstun, Torgeir Bakke, Kristoffer Næs	Fagområde Marine miljøgifter	Distribusjon Fri
	Geografisk område Møre og Romsdal	Trykket CopyCat

Oppdragsgiver(e) Hydro Aluminium Sunndal.	Oppdragsreferanse Arne Magne Johannessen
----------------------------------------------	---------------------------------------------

Sammendrag

Ved bruk av Klifs risikoveileder (SFT TA-2230/2007), og vedlegg A.3 til veilederen er det gjennomført en risikovurdering av propellgenerert oppvirvling av sjøsediment utenfor Hydro Aluminium Sunndal. Konsentrasjonene av tungmetaller, TBT, HCB og PCB i sedimentene var generelt lave, mens det var høye konsentrasjoner av PAH. Beregnet mengde oppvirvlet sediment fra skipstrafikken var ca. 3800 tonn/år ved å bruke vedlegg A.3, og ca. 500-1000 tonn/år ved å bruke risikoveilederens sjablongverdier for hhv. industrihavn og stor havn. Beregnet total fluks av PAH fra sedimentene innenfor en 100 m dybdekote var 1042 kg/år med størst bidrag av lavmolekylære forbindelser. Bidraget fra propelloppvirvling var ubetydelig. For hele fjordområdet ut til Sæbønes-Flåøya bidrar propellerrosjon til maksimalt 10 % av total fluks av de enkelte stoffene. Beregnet fluks overskrider fluksen fra et tenkt sediment i SFT klasse II for nikkel og de fleste PAH-forbindelsene. Eliminering av propellerrosjon endrer dette bildet lite og gir derfor liten risikomessig gevinst.

Spredning av oksid og koks som følge av aktiviteter ved kaianleggene vil ikke ha betydning for spredning av PAH-forbindelser ettersom det er dokumentert at disse ikke inneholder PAH.

Fire norske emneord 1. Sedimentoppvirvling 2. Risikovurdering 3. Skipstrafikk 4. Havneforurensning	Fire engelske emneord 1. Sediment resuspension 2. Risk assessment 3. Ship traffic 4. Polluted harbours
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



Jarle Håvardstun

Prosjektleder



Kristoffer Næs

Forskningsleder



Bjørn Faafeng

Seniorrådgiver

**Risikovurdering av propelloppvirvling av
sedimenter ved Hydro Aluminium Sunndals
kaiområde.**

Forord

NIVA har gjennomført en risikovurdering av propelloppvirvling av sedimenter utenfor kaiene ved Hydro Aluminium Sunndal. Oppdragsgiver har vært Hydro Aluminium Sunndal ved Arne Magne Johannessen. Jarle Håvardstun har vært prosjektleder og har sammen med Torgeir Bakke skrevet rapporten. Kristoffer Næs har kvalitetssikret rapporten sammen med Torgeir Bakke.

Grimstad, 10. mai 2010

Jarle Håvardstun

Innhold

Sammendrag	5
Summary	7
Bakgrunn	8
1. Metoder og gjennomføring	9
1.1 Risikovurdering av forurenset sediment	9
1.2 Prøvetaking og bakgrunnsdata	9
1.3 Analyser	10
1.4 Kaianlegget	11
2. Resultater	12
2.1 Prinsippet for risikovurderingen	12
2.2 Beregnet mengde oppvirvlet sediment	14
2.3 Beregnet spredning av miljøgifter ut av sedimentet	15
2.4 Risikovurdering av miljøgiftspredningen	19
2.5 Spredning som følge av spill fra kaiaktiviteten.	21
2.6 Oppsummering av spredningsberegningene.	21
2.7 Vurdering av behovet for tiltak	22
3. Referanser	24
Vedlegg A. Analyseresultater	25
Vedlegg B. Regneark	39

Sammendrag

Klima og Forurensningsdirektoratet, (Klif) har gitt Hydro Aluminium Sunndal varsel om pålegg om å gjennomføre risiko- og tiltaksvurdering av propellgenerert oppvirvling av forurenset sjøsediment utenfor Hydro Aluminium Sunndals kaiområder. Hensikten er å få avklart om den normale havnevirksomheten medfører en uakseptabel spredning av miljøgifter, og om det er behov for å iverksette avbøtende tiltak. Vurderingen er gjort med utgangspunkt i Trinn 2 i Klifs veileder for risikovurdering av forurenset sediment (SFT TA-2230), samt ved en nærmere beregning av oppvirvlet masse i henhold til Trinn 3 i veilederen (vedlegg A.3 til SFT TA-2231). Vurderingen er gjort på grunnlag av sedimentprøvetaking utført i 2008 samt opplysninger om skipstrafikkmønster for kaiene. Sedimentprøvene fra 2008 ble tatt fra 43-56 m dyp. I risikoveilederen er det angitt at oppvirvling av sedimenter skjer på dybder grunnere enn 20m. Alle beregningene i denne rapporten er gjort med den forutsetning at sedimentene grunnere enn 20m har de samme miljøgiftkonsentrasjonene som prøvene fra 43-56 m dyp. Siden man må forvente et større innhold av grovere partikler nærmere kaiene, er det grunn til å forvente at beregningene er konservative.

Beregningene viser at total mengde oppvirvlet sediment på grunn av skipstrafikken til Hydro Aluminium Sunndal i løpet av ett år er på ca. 3800 tonn. Gjennomsnittlig mengde oppvirvlet sediment ved et skipsanløp er beregnet til 6900 kg. Beregninger basert på risikoveilederens sjablongverdier for en typisk industrihavn gir tilsvarende 500-1000 tonn/år. Trinn 3 gir altså et betydelig høyere estimat av mengde sediment oppvirvlet fra skipstrafikken. Dette skyldes både lengre traseer grunnere enn 20 m i inn- og utseilingsledene til kaiene, og at det i beregningene er benyttet sedimentprøver fra 43-56 m dyp med en høyere andel av finpartikler enn sedimentene på grunnere vann trolig har. Estimert mengde oppvirvlet sediment ut fra risikoveilederens Trinn 3 synes også noe høye i forhold til det som er målt ved for eksempel anløp av et stort fartøy som "Color Viking" i Sandefjord (ca. 2800kg sediment pr. anløp).

Konsentrasjonene av de fleste tungmetaller i sedimentene utenfor Hydro Aluminium Sunndal var lave (Klif tilstandsklasse I og II). Nikkel lå i tilstandsklasse III og overskred grenseverdiene for risikoveilederens Trinn 1 med 12 %. For de ulike PAH-forbindelsene var det til dels store overskridelser av grenseverdiene (73 – 26376 %). PCB, TBT og HCB tilfredsstilte Trinn 1.

Beregnet total fluks av PAH fra hele sedimentarealet ut til 100 m dybdekote utenfor Sunndal var i følge risikoveilederen 1042 kg/år. Hovedbidraget til fluksen kom fra de lavmolekylære forbindelsene. Bidraget fra propelloppvirvlingen til total fluks var ubetydelig. Ved å benytte stedsspesifikke Kd-verdier for de høymolekylære PAH-forbindelsene ble estimert fluks redusert til ca. 600 kg/år og det relative bidraget fra propelloppvirvlingen (som ikke påvirkes av Kd) økte til 90 %, men fremdeles var bidraget fra propelloppvirvlingen ubetydelig for totalen. Hvis man legger et større område av fjorden ut til linja mellom Sæbønes og Flåøya til grunn, utgjør propelloppvirvlingen maksimalt 10 % av totalfluksen av de ulike miljøgiftene.

For nikkel og de fleste av PAH-forbindelsene var beregnet total fluks fra sedimentene innenfor 100 m dybdekote klart høyere enn tilsvarende fluks fra et tenkt sediment som har akseptabel miljørisiko etter risikoveilederens Trinn 1. Selv om man utelukker spredningen forårsaket av skipstrafikken, ble ikke dette bildet i særlig grad endret. Dette betyr at gevinsten i form av redusert mobilisering av miljøgiftene ved å eliminere oppvirvling fra skipstrafikken ved kaiene vil være liten.

Spredning av oksid og koks som følge av aktiviteter ved kaianleggene vil ikke ha betydning for spredning av PAH-forbindelser ettersom det er dokumentert at disse ikke inneholder PAH.

Det vil være lite hensiktsmessig å fastslå behovet for eventuelle tiltak før man har vedtatt miljømål for Sundalsfjorden som viser hvilket ambisjonsnivå tiltakene bør legges på.

Summary

Title: Risk assessment of propeller generated erosion of sediments outside Hydro Aluminium Sunndal Industrial park.

Year: 2010

Author: Jarle Håvardstun, Torgeir Bakke and Kristoffer Næs

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-5710-6

The Norwegian Climate and Pollution Agency (Klif) has announced a request that Hydro Aluminium Sunndal performs a risk and remediation assessment of propeller generated sediment resuspension outside their harbour area at Hydro Aluminium Sunndal. The purpose is to assess whether the normal harbour operations result in an unacceptable dispersion of contaminants from the sediments, and if there is a need for remedial action. The risk assessment is made according to Tier 2 in the Klif guidelines for risk assessment of contaminated sediments (SFT TA-2230/2007) and a more thorough, site specific estimate (Tier 3 approach of Annex A.3 to SFT TA-2231/2007) of the amounts of sediment resuspended due to the vessel traffic to the harbour. The assessment is based on analysis of contaminants in the sediments made in 2008 and on information received regarding ship traffic pattern at the pier. The sediment samples were taken from 43-56 m depths and the present assessment is made on the assumption that they are representative for sediments at depths shallower than 20 m in the ship lanes since this is the maximum depth at risk of propeller erosion.

The calculations show that total annual amount of resuspended sediment due to the ship traffic at Hydro Aluminium Sunndal is 3800 tons/yr. Average amount resuspended material per ship arrival is estimated to 6900 kg. Corresponding annual resuspension for a typical industrial harbour based on the standard constants and coefficients in the risk guidelines Tier 2 is 500 – 1000 tons/yr. Hence, Tier 3 gives a considerably higher estimate of resuspended amounts. This is due to longer ship lanes than assumed in Tier 2 and that the fraction of fine sediment material analysed in the sediments at 43-56 m depth most likely is higher than at <20 m depth. The estimated total amount of resuspended material is, however, also somewhat high compared to the 2800 kg that have been measured during arrival of the fairly large ferry liner “Color Viking” in Sandefjord.

The concentrations of most heavy metals were low in the sediments outside Hydro Aluminium Sunndal (Klif quality class I and II). Nickel was in class II and exceeded the acceptance limit in Tier 1 of the risk guidelines by 12 %. Exceedance for the various PAH compounds was 73 to 26376 %. PCB, TBT and HCB complied with Tier 1.

Estimated total flux of PAHs from the sediment area outside Sunndal to a depth of 100 m was 1042 kg/yr according to Tier 2 risk calculations. The main contribution was from the low molecular compounds. The contribution from propeller erosion was insignificant. When using site specific K_d values for the high molecular PAHs the estimated total flux was reduced to 600 kg/yr and the relative contribution from propeller erosion (which is not influenced by the K_d values) increased to 90 %. If one considers a larger area of the Sunndalsfjord, inside a borderline between Sæbønes and Flåøya, the propeller erosion did not contribute to more than 10 % of the total flux for any of the micropollutants assessed.

For nickel and most of the PAH compounds the estimated total flux from the sediments inside the 100 m depth isoline was clearly higher than corresponding estimated fluxes from a sediment that just complies with the Tier 1 criteria. Excluding the contribution from propeller erosion did not change this pattern to any extent. This means that the benefit from removing the propeller erosion regarding mobilisation of sediment bound contaminants is marginal.

Bakgrunn

Klif (før SFT) har gitt Hydro Aluminium Sunndal varsel om pålegg om å ”gjennomføre undersøkelser, risiko- og tiltaksvurdering av forurensningsbidraget til sjø og sjøbunn fra Hydro Aluminium Sunndals havnevirksomhet”. Hensikten med pålegget vil være å få avklart om den normale havnevirksomheten medfører en uakseptabel oppvirvling og spredning av miljøgifter, og om det er behov for å iverksette avbøtende tiltak. Størst oppmerksomhet knytter seg til oppvirvling av forurenset sediment ved manøvrering av større båter i havneområdet. Erfaring viser at propellgenerert oppvirvling selv fra store båter, skjer i områder grunnere enn ca. 20 m.

Sedimentprøvene som er benyttet i risikovurderingene, er hentet fra en nylig gjennomført undersøkelse av Sunndalsfjorden (Næs mfl. 2010). Disse prøvene ble tatt 200-250 meter fra områdene grunnere enn 20 m ved kaiområdet og på 40-50 meters dyp. Hensiktmessigheten av å bruke sedimentprøver fra et noe større vandyp enn 20 meter, begrunnes i at innholdet av finstoff generelt øker med økende vandyp. Det er derfor grunn til å forvente at de anvendte sedimentresultatene heller vil overestimere enn underestimere risikoen.

1. Metoder og gjennomføring

1.1 Risikovurdering av forurenset sediment

Klif har utarbeidet en veileder "Risikovurdering av forurenset sediment" (SFT TA-2230/2007, (Bakke mfl. 2007a)), til bruk for vurdering av miljørisiko fra forurenset sediment i fjord og kystområder inkludert havner. Vi har benyttet veilederen med tilhørende Excel-basert regneark for å gjennomføre vurderingen. For å benytte risikoveilederen forutsettes at et minimum av informasjon om det aktuelle området er tilgjengelig. Der slik informasjon mangler, foreslår risikoveilederen generelle sjablongverdier som kan erstatte målte verdier. Sjablongverdiene er satt rimelig konservative ut fra eksisterende kunnskap for å unngå å friskmelde områder som egentlig utgjør en risiko for miljø og helse. I tillegg til å benytte sjablongverdier i beregningene har vi gjort en beregning ut fra mer spesifikke opplysninger om skipsstørrelsen på båter som anløper Hydros kaianlegg.

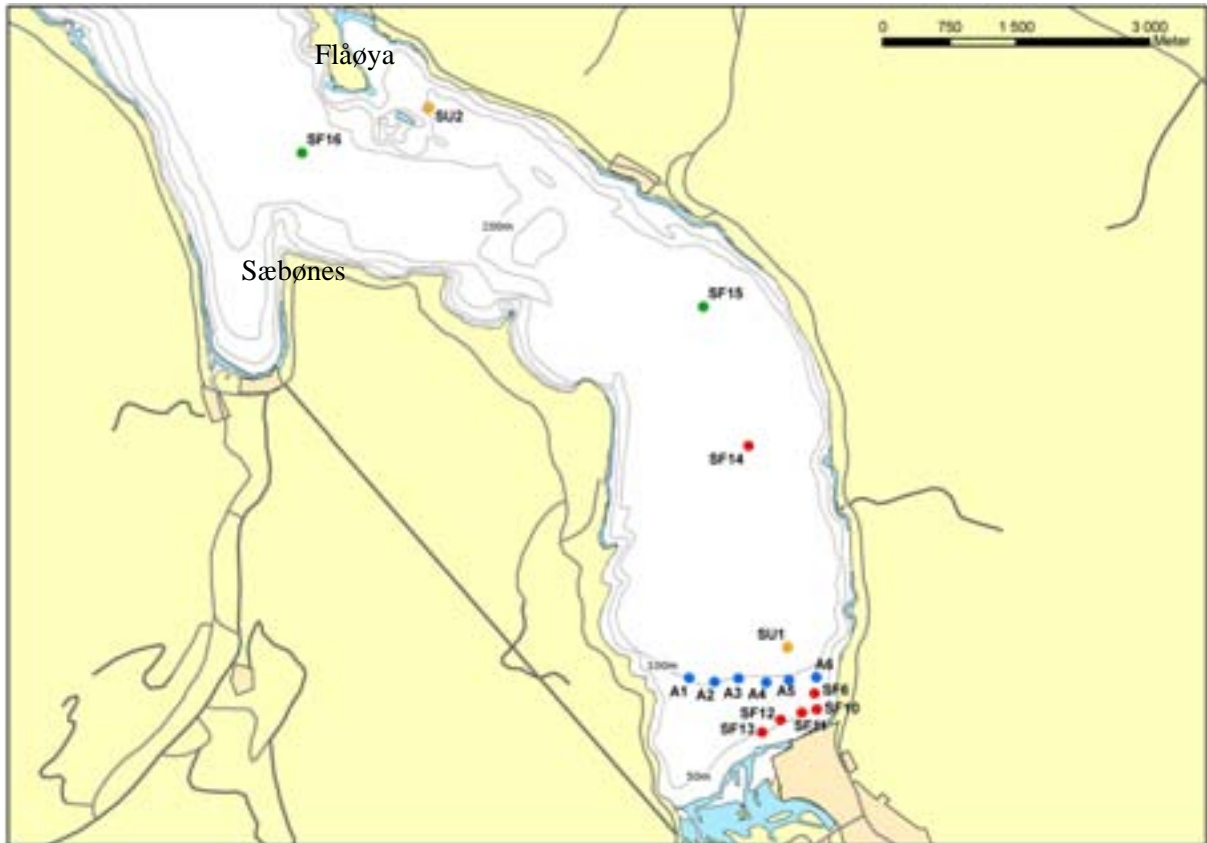
1.2 Prøvetaking og bakgrunnsdata

Det er ikke gjort en egen bunnprøvetaking utenfor kaianleggene ved Hydro Aluminium Sunndal i forbindelse med denne undersøkelsen. Analysene baserer seg på prøvetaking fra 2008 (Næs mfl. 2010). Prøvene ble innsamlet med en grabb av van Veen type. Grabben har luker på oversiden for uttak av overflatesediment. Grabben har et åpningsareal på 0,1 m². Under feltarbeidet ble det samlet prøver fra til sammen 10 stasjoner. Det ble tatt ut en delprøve fra overflatelaget på ca. 0-2 cm fra hver av grabbene. Tabell med koordinater, vanddyp og antall prøver fra hver stasjon er vist i **Tabell 1**. Stasjonskart med prøvetakingspunktene avmerket er gitt i **Figur 1**. Analyseresultatene er vist i Vedlegg A.

Tabell 1. Stasjonsdetaljer fra feltarbeidet i Sunndalsfjorden 29.-30. oktober 2008.

Stasjon	N	Ø	Dyp, m	Analyser	Kjemi
SF6	62 41,196	8 33,155	56	PAH	1 prøve
SF10	62 41,135	8 33,163	43	PAH, metaller, PCB,TBT,HCB	1 prøve
SF11	62 41,110	8 32,879	48	PAH, metaller,PCB, TBT, HCB	1 prøve
SF12	62 41, 059	8 32,728	43	PAH	1 prøve
SF13	62 41, 024	8 32,551	43	PAH, metaller,PCB,TBT,HCB	1 prøve
SU1	62 41,509	8 32,805	111	PAH	5 parallelle prøver
SF14	62 42,735	8 32,303	152	PAH,metaller PCB,TBT,HCB	3 parallelle prøver
SF15	62 43,589	8 31,613	155	PAH	3 parallelle prøver
SF16	62 44,504	8 26,299	237	PAH	1 prøve
SU2	62 44,772	8 28,002	111	PAH	3 parallelle prøver

I de videre beregningene er resultatene fra stasjonene SF6, SF10, SF11, SF12 og SF13 benyttet for å beregne forurensningsbidraget fra propelloppvirvling. På disse stasjonene er det analysert på PAH-innhold på samtlige stasjoner. For metaller er det kun verdier fra stasjonene SF10, SF11 og SF13 som er analysert. Det blir også gjort en beregning av bidraget fra forurensning til Sunndalsfjorden ut til en linje mellom Sæbøneset og sørenden av Flåøya. I den beregningen er konsentrasjonen av PAH på stasjonene SU1, SF14, SF15, SF16 og SU2 benyttet i tillegg til de andre stasjonene.



Figur 1. Kart som viser stasjonsplassering og stasjonsnummer for sedimentprøvetakingen ved Hydro Aluminium Sunndal. Stasjoner merket A er ikke prøvetatt for sedimenter.

Veilederen oppgir sjablongverdier for oppvirvling av mengde sediment pr. skipsanløp for tre ulike standardkategorier av havner. På grunnlag av opplysninger om antall skipsanløp og skipsstørrelser for skip som pr. år gitt av Hydro Aluminium ved Kåre Magne Lingjerde er disse sjablongverdiene byttet ut med beregnet mengde oppvirvlet sediment. Dette gjenspeiler de lokale forholdene bedre. Beregningene er gjort i følge formelverk beskrevet i vedlegg A.3 i "Bakgrunnsdokument Del A Vedlegg A-1. Utprøving av risikoveileder for risikovurdering på Bispevika, Oslo havn" (SFT TA-2231/2007).

Propelldyp for de enkelte skip som anløper er ofte vanskelig å skaffe nøyaktige tall for. For størrelsen av båtene som anløper Hydro Aluminium Sunndals kaianlegg har vi derfor benyttet propelldyp på 4,5 og 6,5 m for den kategorien båter som anløper kaianleggene. Skipsbreddene som er benyttet er henholdsvis 21 m og 27,5m. Dette representerer de to største fartøyskategoriene som vanligvis anløper industrihavner og større havner. Estimater ansees derfor å være konservativt, dvs. at mengden beregnet sediment som blir oppvirvlet derfor vil være overestimert.

Veilederen dekker beregninger for metaller, PAH, PCB, TBT og en rekke andre miljøgifter.

For de fleste av PAH-forbindelsene har vi benyttet stedsspesifikke K_d -verdier hentet fra (Ruus mfl 2007) i stedet for de generelle verdiene i veilederen. Forbindelsene det er brukt slike verdier for er vist i **Tabell 7**. Sedimentkonsentrasjonene og stasjonene som er benyttet i de ulike beregningene er vist i vedlegg B.

1.3 Analyser

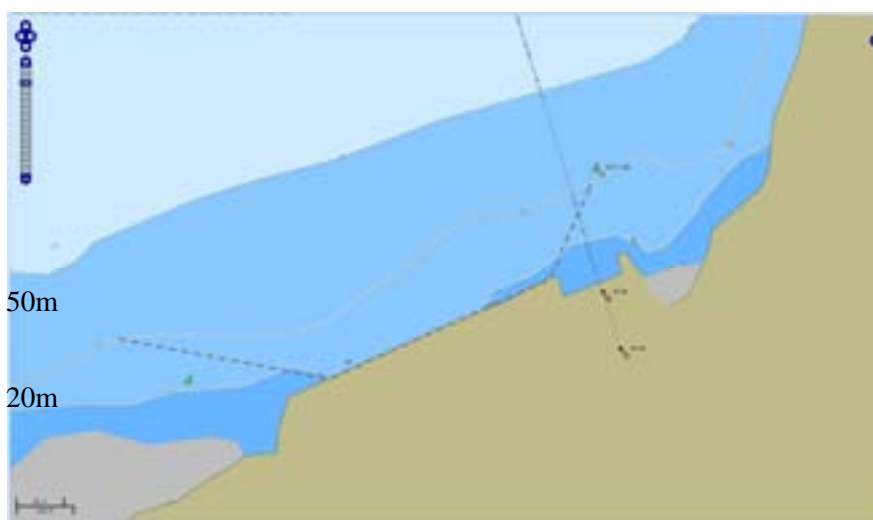
NIVAs laboratorium gjennomførte analysene av PAH-innhold av finstoff (dvs. vektprosent partikler med kornstørrelse $<63\mu\text{m}$), organisk karbon (TOC), totalt nitrogen (TN), og metaller i sedimenter. Bestemmelse av prosentandel $<63\mu\text{m}$ er gjort ved våtsikting. Analyser av TOC/TN er gjort med en CHN-analysator etter at karbonater er fjernet i syredamp. Metallene er bestemt ved at prøven

oppsluttes ved autoklavering med salpetersyre og analyseres med hjelp av atomabsorpsjon og grafittovn, bortsett fra kvikksølv som bestemmes med gullfelle og kalddamp atomabsorpsjon.

Ved bestemmelse av PAH tilsettes prøvene deutererte indre standarder og ekstraheres i Soxhlet med diklormetan. Etter opprensing og oppkonsentrering kvantifiseres PAH-forbindelsene ved hjelp av interne standarder og GC med MS-detektor. Måleusikkerheten er generelt <10-20 %, men kan være høyere for enkelte forbindelser. Alle analyseresultatene er vist i vedlegg A.

1.4 Kaianlegget

Beliggenheten av kaien med dybdekoter inntegnet er vist på kart i **Figur 2 A**. Det er gjennomført beregninger av oppvirvling av sediment fra skip som anløper kaien. Traselengden for et anløp og avgang er til sammen ca. 600 m, antydnet med stiplet linje. I **Figur 2 B** er satelittfoto av kaianlegget som viser skip i to størrelseskategorier liggende fortøyd ved kaia.



A



B

Figur 2. A: Kart over kaianlegget med dybdekoter og traselengde (stiplet linje) inntegnet. B: Satelittfoto som viser kaianlegget med to skip liggende fortøyd til kai.

2. Resultater

2.1 Prinsippet for risikovurderingen

Risikovurdering av sedimenter har som mål å beskrive risikoen for miljøskade eller helseskade som sedimentene utgjør, slik at man kan bedømme om risikoen er akseptabel eller ikke. Risikoen er vurdert i følge Klifs veileder (SFT TA-2230/2007 (Bakke mfl. 2007a)) med underliggende dokumenter. Systemet er bygget opp i tre trinn der hvert trinn er mer arbeidskrevende, men gir økt lokal forankring og økt sikkerhet i konklusjonene. Klif har også fått utarbeidet et regneark-verktøy for gjennomføring av beregningene i Trinn 1 og 2. Systemet dekker ikke tiltaksvurdering.

Trinn 1 er en forenklet risikovurdering hvor miljøgiftkonsentrasjon og toksisitet av sedimentet sammenlignes med grenseverdier for økologiske effekter ved kontakt med sedimentet. Trinn 1 har som mål å kunne skille mellom områder som raskt kan friskmeldes, og områder som må risikovurderes videre.

Grenseverdiene for sedimentkonsentrasjon i Trinn 1 tilsvarer grensen mellom tilstandsklasse II og III i Klifs veileder for klassifisering av miljøtilstand for sedimenter (SFT TA-2229/2007 (Bakke mfl. 2007b)). I **Tabell 2** er beskrivelse og fargekode for de ulike tilstandsklassene i denne veilederen vist.

Tabell 2. Klifs klassifisering av miljøtilstand.

	Tilstandsklasser				
	I Ubetydelig – Lite forurenset Bagrunn	II Moderat forurenset God miljøtilstand	III Markert forurenset Moderat miljøtilstand	IV Sterkt forurenset Dårlig miljøtilstand	V Meget sterkt forurenset Svært dårlig miljøtilstand
Fargesetting					

Kjemiresultatene fra sedimentstasjonene ved kaien til Hydro Aluminium Sunndal er lagt inn i Klifs regneverktøy. Fra dette framkommer hvilke miljøgifter som overskrider grenseverdiene og hvor stor overskridelsen er. Resultatene fra beregningene er vist i **Tabell 3**.

Dersom nivået av et stoff ligger i tilstandsklasse III eller høyere vurderes risikoen derfor som ”ikke ubetydelig”, og Trinn 2 av risikovurderingen må gjennomføres.

Veilederen inneholder også et Trinn 3 som man kan velge å gjennomføre for å få en bedre lokalforankring av beregningene i Trinn 2. Klifs pålegg til Hydro Aluminium Sunndal innebærer i praksis en Trinn 3 vurdering av risikoen forbundet med propelloppvirvlet sediment.

Tabell 3. Målt sedimentkonsentrasjon (stasjon SF6, SF10, SF11, SF12 og SF13) med maks ($C_{sed, max}$) og gjennomsnittsverdier ($C_{sed, middel}$) sammenlignet med Trinn 1 grenseverdier. Positive prosentverdier betyr overskridelse. Økende tallverdi angir en forventet økende grad av skade på organismsamfunn i sedimentene.

Stoff	Målt sedimentkonsentrasjon			Trinn 1 grenseverdi (mg/kg)	Målt sedimentkonsentrasjon overskrider trinn 1 grenseverdi med:	
	Antall prøver	$C_{sed, max}$ (mg/kg)	$C_{sed, middel}$ (mg/kg)		Maks	Middel
Arsen	3	5	4	52	-90 %	-92 %
Bly	3	20	16	83	-76 %	-81 %
Kadmium	3	0,2	0,2	2,6	-92 %	-92 %
Kobber	3	38,9	34,3	51	-24 %	-33 %
Krom totalt (III + VI)	3	48,9	42,63	560	-91 %	-92 %
Kvikksølv	3	0,071	0,047	0,63	-89 %	-93 %
Nikkel	3	70,8	51,47	46	54 %	12 %
Sink	3	73,2	65,27	360	-80 %	-82 %
Naftalen	5	0,8	0,502	0,29	176 %	73 %
Acenaftylene	5	0,014	0,0079	0,033	-58 %	-76 %
Acenaften	5	1,3	0,884	0,16	713 %	453 %
Fluoren	5	0,88	0,604	0,26	238 %	132 %
Fenantren	5	5,3	3,82	0,50	960 %	664 %
Antracen	5	1	0,75	0,031	3126 %	2319 %
Fluoranten	5	8,1	6,54	0,17	4665 %	3747 %
Pyren	5	6,7	5,28	0,28	2293 %	1786 %
Benzo(a)antracen	5	7,5	5	0,06	12400 %	8233 %
Krysen	5	17	8	0,28	5971 %	2757 %
Benzo(b)fluoranten	5	20	10,76	0,24	8233 %	4383 %
Benzo(k)fluoranten	5	6	3,34	0,21	2757 %	1490 %
Benzo(a)pyren	5	7,2	5,76	0,42	1614 %	1271 %
Indeno(1,2,3-cd)pyren	5	7,7	5,04	0,047	16283 %	10623 %
Dibenzo(a,h)antracen	5	2,4	1,374	0,59	307 %	133 %
Benzo(ghi)perylene	5	8,9	5,56	0,021	42281 %	26376 %
PCB 28	3	0,0024	0,00097			
PCB 52	3	0,002	0,00167			
PCB 101	3	0,0017	0,00073			
PCB 118	3	0,0012	0,00057			
PCB 138	2	0,002	0,00113			
PCB 153	3	0,0015	0,00092			
PCB 180	3	0,00055	0,00035			
Sum PCB7	3	1,14E-02	6,33E-03	0,017	-33 %	-63 %
Tributyltinn (TBT-ion)	2	0,028	0,015	0,035	-20 %	-57 %
Heksaklorbenzen	3	0,003	0,00145	0,0169	-82 %	-91 %

Tabell 3 viser med hvor mange prosent grenseverdien overskrides for både gjennomsnittsnivået av hvert stoff og maksimumsnivået. Negative prosentverdier viser at grenseverdien ikke overskrides. For metallene er det kun nikkel (Ni) som har en mindre overskridelse. For PAH-forbindelsene er det til dels høye overskridelser for samtlige forbindelser unntatt for acenaftylene. Tributyltinn (TBT), sum PCB₇ og heksaklorbenzen (HCB) ligger alle under grenseverdiene.

2.2 Beregnet mengde oppvirvlet sediment

For å vurdere nærmere hvilken effekt propelloppvirvling av sedimenter fra skipsanløp¹ til kaianleggene ved Hydro Aluminium Sunndal bidrar med har vi benyttet fremgangsmåten beskrevet i vedlegg A3.4 i SFT TA-2231/2007 (Bakke mfl.2007 b). For større skip kan propelloppvirvling virke på arealer ned til ca. 20 m dyp. Langs skipstraséene i dette området beregnes oppvirvlet mengde sediment innenfor hvert av 3 dybdeintervaller (20-15 m, 15-10 m, 10-5 m) på basis av trasélengde, dybdeprofil, avstand mellom propell og bunn, og kornstørrelse av sedimentet i hvert dybdeintervall, samt skipsbredde. Beregnet trasélengde i de ulike dybdeintervallene er gjort ut fra kartverktøyet til Kystverket som er tilgjengelig på "kystverket.no". I **Figur 2 A** er traséene for dybder mindre enn 20 m i seilingsleden ved kaien vist. Beregnet mengde oppvirvlet sediment utenfor kaianlegget er vist i **Tabell 4**. Den totale mengde oppvirvlede sedimenter i løpet av ett år er beregnet til 3439 tonn. Til sammenlikning er mengden oppvirvlet sediment estimert til 500 tonn/år ved å benytte risikoveilederens sjablongverdi for industrihavn og 1000 tonn ved å bruke sjablongverdi for stor havn (**Tabell 5**).

Trinn 3 beregningene vist i **Tabell 4** gir altså betydelig høyere verdier enn beregningene i Trinn 2. En av årsakene til dette er at Trinn 2 baserer seg på en trasélengde på 40 m i hver av de tre dybdekategoriene, mens det utenfor Hydro Aluminium Sunndals kai er betydelig lengre (T_{ri} i **Tabell 4**). I tillegg er det benyttet et innhold av finpartikler på 0,54 (fraksjon $<63\mu\text{m}$) for begge dybdeintervallene. Sjablongverdiene forutsetter mer sandig sediment på grunnere vann, men ettersom vi kun har prøver fra ca. 50 m dyp har vi benyttet verdiene fra dette dypet i beregningene. Dette medfører at andelen finpartikulært materiale som blir oppvirvlet sannsynligvis blir overestimert. Vi har imidlertid grunn til å tro at dette ikke kan være hele forklaringen. Beregningsverktøyet ble utviklet bl.a. ved feltstudier i Sandefjord, her ble det beregnet at "Color Viking" virvlet opp ca. 2800 kg sediment ved avgang. Ved å benytte samme formelverk for skip som anløper Hydro Aluminium Sunndals kaianlegg får vi en tredobling av denne mengden, noe som kan virke urimelig.

Tabell 4. Beregning av oppvirvlet mengde sediment pr. skipsanløp ($m_{\text{sed pr. anløp}}$) og total mengde oppvirvlet sediment pr. år ved skipsanløp ($m_{\text{sed pr. år}}$) for kaien ved Hydro Aluminium Sunndal. Traselengden (T_{ri}) er oppgitt som trasélengde ved ett anløp til kaianlegget. Alle verdier er oppgitt som (tørrvekt pr./år).

Lokalitet	D_i	P_d	Br	f_{si}	T_{ri}	$m_{\text{sed pr. anløp}}$	ant. skipsanløp pr/år	$m_{\text{sed pr. år}}$
Kai Sunndal	7,5				0	0	0	0
Kai Sunndal	12,5	4,5	21,0	0,54	150	3199	125	399838
Kai Sunndal	12,5	6,5	27,5	0,54	150	5984	125	748034
Kai Sunndal	17,5	4,5	21,0	0,54	150	1752	125	218991
Kai Sunndal	17,5	6,5	27,5	0,54	150	2822	125	352778
Sum kg/år								1719642
Sum tonn/år								1720
Sum tonn/år for både anløp og avgang (antall anløp x 2)								3439
Sum kg anløp (sum kg/år delt på 250 skipsanløp)								6879

D_i	snitt vanndyp i dybdekategori
P_d	propelldyp
Br	skipsbredde
f_{si}	Fraksjon $<63\mu\text{m}$ i dybdekategori
T_{ri}	trasélengde i dybdekategori m
$m_{\text{sed pr. anløp}}$	kg materiale oppvirvlet pr fartøyskategori

¹ Med anløp i vedlegg A3 menes en skipsbevegelse, dvs enten anløpet til kai eller avgangen fra kai.

Tabell 5. Beregning av total mengde oppvirvlet sediment ved å bruke risikoveilederens sjablongverdi for industrihavner på 1000 kg/anløp og for stor havn med 2000 kg/anløp.

Lokalitet	sjablongverdi	ant. Skipsanløp pr.år	sjablongverdi industrihavn	totalsum (tonn)
Kai Sunndalsfjorden	industrihavn	250	1000kgx2	500
Kai Sunndalsfjorden	stor havn	250	2000kgX2	1000

2.3 Beregnet spredning av miljøgifter ut av sedimentet

Ut fra et gjennomsnitt på ca. 6900 kg sediment pr. anløp tatt fra Trinn 3 beregningen ovenfor har vi beregnet den totale propellgenererte spredningen av miljøgifter fra sedimentene og sammenlignet denne med de andre spredningsveiene i risikoveilederen (biotdiffusjon¹ og via opptak i organismer). De parametrene som ligger til grunn for beregningene er vist i **Tabell 6**.

Tabell 6. Parametre for beregning av spredningsmekanismer

Parametere for oppvirvling fra skip, F_{skip}	Sjablongverdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Antall skipsanløp per år, N_{skip}	ingen standard	250	oppgitt av Hydro Sunndal
Mengde oppvirvlet sediment per anløp, m_{sed} [kg]	ingen standard	6900	Gjennomsnitt fra Vedlegg A3-4 for begge fartøyskategorier
Sedimentareal påvirket av oppvirvling, A_{skip} [m ²]	ingen standard	7350	Areal grunnere enn 20m som blir påvirket av skipsoppvirvling
Fraksjon suspendert f_{susp} = sedimentfraksjon < 2µm	ingen standard	0,11	20% av andel < 63µ

For PAH-forbindelsene er beregningene også gjort med to ulike sett av K_d -verdier, henholdsvis de som ligger i risikoveilederens Trinn 2 og K_d -verdier utledet spesifikt for Sunndalsfjorden (Ruus mfl. 2007) (**Tabell 7**).

Tabell 7. Lokale K_d -verdier for Sunndalsfjorden (Ruus mfl 2007) og K_d -verdier fra risikoveilederen. Lokale verdier er ikke utledet for de lavmolekylære forbindelsene naftalen, acenaftylen, acenaften og fluoren.

Stoff	K_d sed (l/kg) ved TOC 1 %	K_d sed (l/kg) ved TOC 1 %
	Stedsspesifikk	Sjablongverdi
Fenantren	58583	229
Antracen	60707	282
Fluoranten	193501	1445
Pyren	108358	589
Benzo(a)antracen	1043915	5012
Krysen	901713	3981
Benzo(b)fluoranten	713877	8128
Benzo(k)fluoranten	862303	7943
Benzo(a)pyren	2199152	8317
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1959675	23442
Dibenzo(a,h)antracen	1448692	19498
Benzo(ghi)perylene	1197896	10233

Betydningen av propelloppvirvlede miljøgifter ved kaiene i forhold til den totale miljøgifttransporten ut av sedimentet er beregnet for hele fjorden ut til henholdsvis 100 m dyp og til linja mellom Sæbønes og Flåøya. Beregningene for arealet ut til 100 m er gjort både med K_d -verdiene fra Trinn 2, og de lokale K_d -verdiene for PAH. Dette arealet er en naturlig avgrensning av den innerste delen av Sunndalsfjorden og sannsynligvis også området der det meste av partiklene vil sedimentere. Beregningene for området ut til Sæbønes – Flåøya er bare gjort med de stedsspesifikke K_d -verdiene.

¹ Fysisk diffusjon stimulert av bunnfaunaaktivitet (bioturbasjon)

Resultatet av beregningene for PAH ut til 100 m grensen er oppsummert i **Tabell 8** og **Tabell 9**. De viser at den totale fluksen av PAH ut av sedimentene i dette området er 1042 kg/år på basis av Kd-verdiene fra Trinn 2 (**Tabell 8**) og 594 kg/år på basis av de lokale verdiene (**Tabell 9**). Forskjellen skyldes endret fluks av de høymolekylære PAH-forbindelsene gjennom biodiffusjon og opptak i organismer (fra totalt 474 kg/år til 26 kg/år). Bidraget fra propelloppvirvling (som ikke påvirkes av Kd-verdiene) utgjør 90 % av totalfluksen når lokale Kd-verdier brukes. Når det gjelder de lavmolekylære PAH-forbindelsene, som dominerer den totale PAH-fluksen, viser tabellene at 98 % lekker ut ved biodiffusjon, og at oppvirvling fra skipsaktiviteten er helt ubetydelig (0,4%).

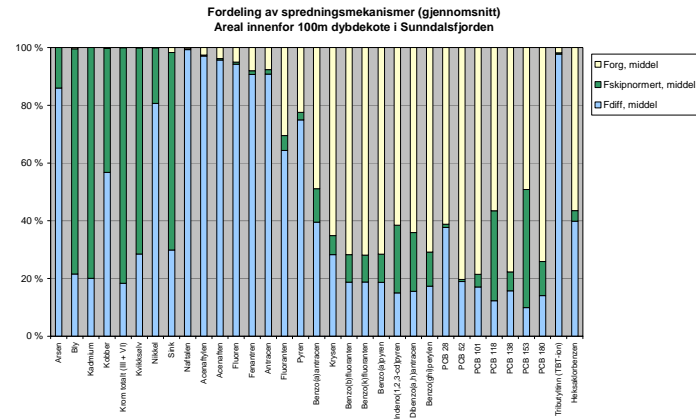
Tabell 8. Beregnet mengde av de ulike forbindelsene som spres fra arealet innenfor 100 m koten utenfor Hydro Aluminium Sunndal, fordelt på de ulike spredningsveiene. Spredningen er beregnet for biodiffusjon (Fdiff), propelloppvirvling (Fskip) og opptak i organismer (Forg) basert på Kd-verdiene fra Trinn 2. Lavmolekylære PAH-forbindelser er merket ¹, høymolekylære er merket ².

	Beregnet spredning fra oppvirvling pga. skip Fskip,			
	Ftotal g/år	middel g/år	Fdiff, middel g/år	Forg, middel g/år
Naftalen ¹	384799	1079	381917	1804
Acenaftalen ¹	2765	10	2684	71
Acenaften ¹	129263	663	123655	4945
Fluoren ¹	51668	365	48703	2599
Fenantren ²	143847	1833	130491	11523
Antracen ²	22904	346	20805	1754
Fluoranten ²	50231	2586	32337	15308
Pyren ²	85457	2210	64049	19198
Benzo(a)antracen ²	16558	1920	6543	8094
Krysen ²	46624	3082	13181	30361
Benzo(b)fluoranten ²	43181	4114	8090	30977
Benzo(k)fluoranten ²	13686	1277	2570	9840
Benzo(a)pyren ²	22640	2202	4232	16206
Indeno(1,2,3-cd)pyren ²	8181	1918	1232	5031
Dibenzo(a,h)antracen ²	2574	523	401	1649
Benzo(ghi)perylene ²	17951	2123	3114	12714
Sum lavmolekylære PAH kg/år	568,5	2,1	557,0	9,4
Sum høymolekylære PAH kg/år	473,8	24,1	287,0	162,7
Totalsum PAH Kg/år	1042	26	844	172

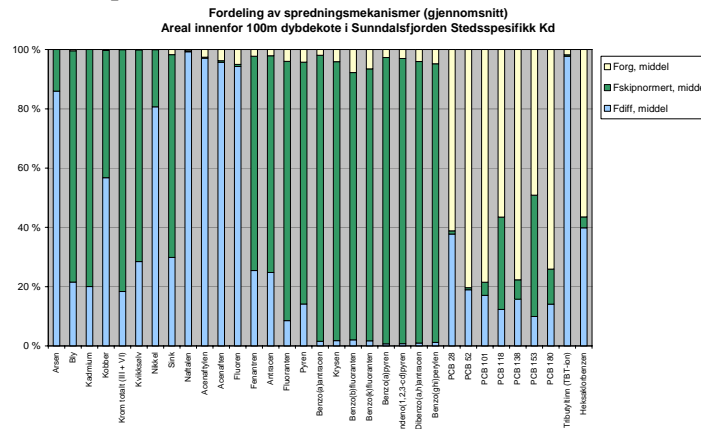
Tabell 9. Beregnet mengde av de ulike forbindelsene som spres fra arealet innenfor 100 m koten utenfor Hydro Aluminium Sunndal, basert på de lokale Kd-verdiene (gjelder forbindelser merket med gult). Se ellers forklaring til **Tabell 8**.

	Ftotal g/år	Beregnet spredning fra oppvirvling pga. skip Fskip,		
		middel g/år	Fdiff, middel g/år	Forg, middel g/år
Naftalen ¹	384799	1079	381917	1804
Acenaftalen ¹	2765	10	2684	71
Acenaften ¹	129263	663	123655	4945
Fluoren ¹	51668	365	48703	2599
Fenantren ²	2006	1451	510	45
Antracen ²	390	285	97	8
Fluoranten ²	2839	2483	241	114
Pyren ²	2457	2005	348	104
Benzo(a)antracen ²	1968	1898	31	39
Krysen ²	3228	3036	58	134
Benzo(b)fluoranten ²	4529	4084	92	353
Benzo(k)fluoranten ²	1382	1268	24	91
Benzo(a)pyren ²	2263	2186	16	61
Indeno(1,2,3-cd)pyren ²	1988	1913	15	60
Dibenzo(a,h)antracen ²	549	521	5	22
Benzo(ghi)perylene ²	2245	2110	27	109
Sum lavmolekylære PAH kg/år	568,5	2,1	557,0	9,4
Sum høymolekylære PAH kg/år	25,8	23,2	1,5	1,1
Totalsum PAH Kg/år	594	25	558	11

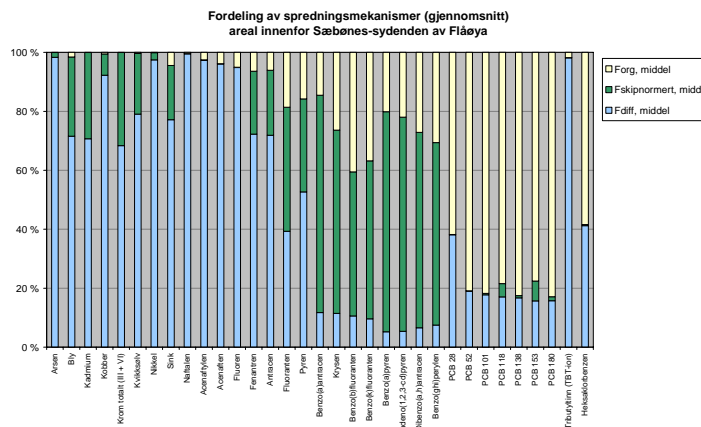
De relative bidragene fra de ulike spredningsveiene der de øvrige miljøgiftene også er tatt med, er vist i **Figur 3**. I området innenfor 100 m dypet (**Figur 3 A** og **Figur 3 B**) bidrar propelloppvirvlingen med 14-82 % av totalfluks av metaller, 1-41 % av totalfluksen av PCB-kongenerene, 0,5 % av totalfluksen av TBT og 4 % av totalfluksen av HCB. Ser en på hele sedimentområdet ut til Sæbønes – Flåøya (**Figur 3 C**), bidrar oppvirvlingen fra skipstrafikken med maksimalt 10 % av totalfluksen for de ulike miljøgiftene. Bidraget er helt ubetydelig for de lavmolekylære PAH-forbindelsene, PCB TBT, HCB og enkelte av metallene.



A) Areal innenfor 100 m kote på: 2340000 m²



B) Areal innenfor 100 m kote på: 2340000 m²



C) Areal innenfor en linje mellom Sæbønes og Flåøya på: 22500000 m²

Figur 3. Relativ betydning av de ulike spredningsveiene for miljøgifter i sedimenter utenfor Hydro Aluminium Sunndal, A) ved å benytte Kd-verdiene i Trinn 2 på arealet innenfor 100 m dybdekoten. B) ved å benytte lokale Kd-verdier for PAH på arealet innenfor 100 m dybdekoten. C) ved å benytte de lokale Kd-verdiene på hele arealet innenfor Sæbønes-Flåøya.

2.4 Risikovurdering av miljøgiftspredningen

Det finnes ikke allment omforente akseptkriterier for risiko fra miljøgiftspredning alene, og heller ikke lokale akseptkriterier for området. Risikoveilederen foreslår at man kan bruke spredningen fra et sediment som akkurat tilfredsstillende Trinn 1 som en indikasjon på hva som er akseptabel spredning og så se på overskridelsen i forhold til dette. Dette akseptkriteriet er brukt i denne rapporten og resultatene er vist i **Tabell 10** for total fluks av de ulike miljøgiftene. Det må understrekes at overskridelsene i seg selv ikke sier noe om risikoen for effekter på helse og miljø.

Tabell 10. Beregnet total spredning av miljøgifter fra sedimentet innenfor 100 m dybdekote ved bruk av lokale Kd-verdier for PAH, samt overskridelse av spredning fra et tenkt sediment som akkurat tilfredsstillende risikoveilederens Trinn 1. Positive prosentverdier betyr overskridelse. Det er lagt vekt på kolonnen merket middel.

Stoff	Beregnet spredning		Spredning dersom C_{sed} er lik grenseverdi for trinn 1 ($mg/m^2/år$)	F_{tot} overskrider tillatt spredning med:	
	$F_{tot, maks}$ ($mg/m^2/år$)	$F_{tot, middel}$ ($mg/m^2/år$)		Maks	Middel
Arsen	5,87E+00	4,69E+00	6,10E+01	-90 %	-92 %
Bly	4,16E+00	3,33E+00	1,73E+01	-76 %	-81 %
Kadmium	4,06E-02	4,06E-02	5,28E-01	-92 %	-92 %
Kobber	1,48E+01	1,30E+01	1,93E+01	-24 %	-33 %
Krom totalt (III + VI)	9,72E+00	8,48E+00	1,11E+02	-91 %	-92 %
Kvikksølv	1,61E-02	1,07E-02	1,43E-01	-89 %	-93 %
Nikkel	6,04E+01	4,39E+01	3,92E+01	54 %	12 %
Sink	1,74E+01	1,55E+01	8,55E+01	-80 %	-82 %
Naftalen	2,62E+02	1,64E+02	1,42E+02	84 %	15 %
Acenaftylen	2,09E+00	1,18E+00	7,40E+00	-72 %	-84 %
Acenaften	8,12E+01	5,52E+01	1,50E+01	442 %	269 %
Fluoren	3,22E+01	2,21E+01	1,42E+01	126 %	55 %
Fenantren	1,19E+00	8,57E-01	1,28E-01	831 %	571 %
Antracen	2,22E-01	1,67E-01	7,81E-03	2743 %	2032 %
Fluoranten	1,50E+00	1,21E+00	3,35E-02	4383 %	3520 %
Pyren	1,33E+00	1,05E+00	6,08E-02	2091 %	1626 %
Benzo(a)antracen	1,26E+00	8,41E-01	1,03E-02	12180 %	8087 %
Krysen	2,93E+00	1,38E+00	4,97E-02	5796 %	2674 %
Benzo(b)fluoranten	3,60E+00	1,94E+00	4,53E-02	7843 %	4173 %
Benzo(k)fluoranten	1,06E+00	5,91E-01	3,87E-02	2644 %	1427 %
Benzo(a)pyren	1,21E+00	9,67E-01	7,17E-02	1585 %	1248 %
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,30E+00	8,49E-01	8,07E-03	15980 %	10425 %
Dibenzo(a,h)antracen	4,10E-01	2,35E-01	1,03E-01	297 %	127 %
Benzo(ghi)perylene	1,54E+00	9,60E-01	3,73E-03	41041 %	25602 %
PCB 28	4,02E-02	1,62E-02			
PCB 52	4,97E-02	4,14E-02			
PCB 101	6,39E-03	2,76E-03			
PCB 118	6,26E-04	2,96E-04			
PCB 138	5,02E-03	2,82E-03			
PCB 153	5,95E-04	3,64E-04			
PCB 180	7,60E-04	4,83E-04			
Sum PCB7	1,03E-01	6,43E-02			
Tributyltinn (TBT-ion)	6,16E+00	3,30E+00	1,16E+01	-47 %	-71 %
Heksaklorbenzen	1,39E-02	6,69E-03	1,16E-01	-88 %	-94 %

Fra **Tabell 10** ser en at det for metallene kun er nikkel som overskrider ”tillatt spredning”. Det er overskridelser for samtlige av PAH-forbindelsene unntatt acenaftylen mens verken TBT eller HCB overskrider. For PCB kan ikke overskridelsene beregnes, men konsentrasjonene er lave og tilfredsstillende Trinn 1 i risikovurderingen (**Tabell 3**).

Tabell 10 referer til total spredning ut fra sedimentene og ikke bare spredning som skyldes propelloppvirvling. Ved å beregne tilsvarende overskridelser når spredningen fra skipstrafikken er trukket fra, vil man få inntrykk av virkningen det å fjerne alle skipsanløp har for risikobildet. Dette er vist i **Tabell 11**.

Tabell 11. Beregnet spredning fra sedimentet som i **Tabell 10**, men uten propelloppvirvling.

Stoff	Beregnet spredning		Spredning dersom C_{sed} er lik grenseverdi for trinn 1 ($mg/m^2/år$)	F_{tot} overskrider tillatt spredning med:	
	$F_{tot, maks}$ ($mg/m^2/år$)	$F_{tot, middel}$ ($mg/m^2/år$)		Maks	Middel
Arsen	5,04E+00	4,04E+00	5,25E+01	-90 %	-92 %
Bly	9,18E-01	7,34E-01	3,81E+00	-76 %	-81 %
Kadmium	8,15E-03	8,15E-03	1,06E-01	-92 %	-92 %
Kobber	8,43E+00	7,43E+00	1,10E+01	-24 %	-33 %
Krom totalt (III + VI)	1,79E+00	1,56E+00	2,05E+01	-91 %	-92 %
Kvikksølv	4,62E-03	3,06E-03	4,10E-02	-89 %	-93 %
Nikkel	4,87E+01	3,54E+01	3,17E+01	54 %	12 %
Sink	5,49E+00	4,90E+00	2,70E+01	-80 %	-82 %
Naftalen	2,61E+02	1,64E+02	1,42E+02	84 %	15 %
Acenaftylen	2,09E+00	1,18E+00	7,38E+00	-72 %	-84 %
Acenaften	8,08E+01	5,50E+01	1,49E+01	442 %	268 %
Fluoren	3,19E+01	2,19E+01	1,42E+01	126 %	55 %
Fenantren	3,29E-01	2,37E-01	4,66E-02	607 %	409 %
Antracen	5,97E-02	4,48E-02	2,78E-03	2051 %	1513 %
Fluoranten	1,88E-01	1,52E-01	5,93E-03	3076 %	2465 %
Pyren	2,45E-01	1,93E-01	1,54E-02	1495 %	1157 %
Benzo(a)antracen	4,50E-02	3,00E-02	5,41E-04	8233 %	5456 %
Krysen	1,75E-01	8,22E-02	4,31E-03	3948 %	1805 %
Benzo(b)fluoranten	3,53E-01	1,90E-01	6,36E-03	5456 %	2889 %
Benzo(k)fluoranten	8,78E-02	4,88E-02	4,61E-03	1805 %	960 %
Benzo(a)pyren	4,13E-02	3,30E-02	3,61E-03	1043 %	814 %
Indeno(1,2,3-cd)pyren	4,89E-02	3,20E-02	4,48E-04	10822 %	7049 %
Dibenzo(a,h)antracen	2,06E-02	1,18E-02	7,60E-03	171 %	55 %
Benzo(ghi)perylene	9,25E-02	5,78E-02	3,27E-04	28154 %	17551 %
PCB 28	3,97E-02	1,60E-02			
PCB 52	4,93E-02	4,11E-02			
PCB 101	6,11E-03	2,64E-03			
PCB 118	4,31E-04	2,04E-04			
PCB 138	4,69E-03	2,64E-03			
PCB 153	3,52E-04	2,15E-04			
PCB 180	6,70E-04	4,26E-04			
Sum PCB7	1,01E-01	6,32E-02			
Tributyltinn (TBT-ion)	6,13E+00	3,29E+00	1,15E+01	-47 %	-71 %
Heksaklorbenzen	1,34E-02	6,44E-03	1,13E-01	-88 %	-94 %

Beregningene i **Tabell 11** viser at det for alle forbindelser fortsatt er overskridelser i forhold til et sediment som tilfredsstillende Trinn 1. Det å eliminere propelloppvirvlingen utenfor kaiene, vil alene ikke være nok til å redusere spredningsrisikoen til "akseptabel".

2.5 Spredning som følge av spill fra kaiaktiviteten

I følge informasjon fra Hydro Aluminium Sunndal er det beregnet en årlig tilførsel av 100-150 tonn oksid og 1,5 tonn koks som spill over kaiene. Det er dokumentert at koksen ikke inneholder PAH, og det er ikke PAH knyttet til oksidet. Bedriften kjenner ikke til andre kilder til eventuell uhellstilførsel av PAH fra land. Dette betyr at sedimentene er den eneste kilden av betydning til PAH i fjordvannet.

2.6 Oppsummering av spredningsberegningene.

Ved å benytte data fra miljøgiftanalyser i sedimentene utenfor Hydro Aluminium Sunndal og Klifs risikoveileder for forurenset sediment sammen med tilleggsopplysninger fra Hydro Aluminium angående skipsstørrelse, antall anløp og dybdeforhold i traseene for skipsanløp (Trinn 3-vurdering), har det blitt beregnet hvor mye sediment og miljøgifter som virvles opp ved et skips anløp og avgang til/fra kaiene.

Beregningene viser at total mengde oppvirvlet sediment på grunn av skipstrafikken til Hydro Aluminium Sunndal i løpet av ett år er på ca. 3800 tonn. Gjennomsnittlig mengde oppvirvlet sediment ved et skipsanløp er beregnet til 6900 kg. Beregninger basert på risikoveilederens sjablongverdier for en typisk industrihavn gir tilsvarende 500-1000 tonn/år. Trinn 3 gir altså et betydelig høyere estimat av mengde sediment oppvirvlet fra skipstrafikken. Dette skyldes både lengre traseer grunnere enn 20 m i inn- og utseilingsledene til kaiene, og at det i beregningene er benyttet sedimentprøver fra 43-56 m dyp med en høyere andel av finpartikler enn sedimentene på grunnere vann trolig har. Estimert mengde oppvirvlet sediment ut fra risikoveilederens Trinn 3 synes også noe høye i forhold til det som er målt ved for eksempel anløp av et stort fartøy som "Color Viking" i Sandefjord (ca. 2800 kg sediment pr. anløp).

Konsentrasjonene av de fleste tungmetaller i sedimentene utenfor Hydro Aluminium Sunndal var lave (tilstandsklasse I og II). Nikkel lå i tilstandsklasse III og overskred grenseverdiene for risikoveilederens Trinn 1 med 12%. For de ulike PAH-forbindelsene var det til dels store overskridelser av grenseverdiene (73 – 26376 %). PCB, TBT og HCB tilfredsstilte Trinn 1.

Beregnet total fluks av PAH fra hele sedimentarealet ut til 100 m dybdekote utenfor Sunndal var i følge risikoveilederen 1042 kg/år. Hovedbidraget til fluksen kom fra de lavmolekylære forbindelsene. Bidraget fra propelloppvirvlingen til total fluks var ubetydelig. Ved å benytte stedsspesifikke Kd-verdier for flere av PAH-forbindelsene ble estimert fluks redusert til ca. 600 kg/år og det relative bidraget fra propelloppvirvlingen (som ikke påvirkes av Kd) økte til 90 %. Hvis man legger et større område av fjorden, ut til linja mellom Sæbønes og Flåøya til grunn, utgjør propelloppvirvlingen maksimalt 10 % av totalfluksen av de ulike miljøgiftene.

For nikkel og de fleste av PAH-forbindelsene var beregnet total fluks fra sedimentene innenfor 100 m dybdekote klart høyere enn tilsvarende fluks fra et tenkt sediment som har akseptabel miljørisiko etter risikoveilederens Trinn 1. Selv om man utelukker spredningen forårsaket av skipstrafikken ble ikke dette bildet i særlig grad endret. Dette betyr at gevinsten i form av redusert mobilisering av miljøgiftene ved å eliminere oppvirvling fra skipstrafikken ved kaiene vil være liten.

Risikovurderingen viser at sedimentene utenfor Hydro Aluminium Sunndal overskrider grenseverdiene for effekter på organismer som lever i sedimentet. Dette gjelder først og fremst for

PAH der alle forbindelsene unntatt acenaftylen overskrider. Dette betyr også at nivået av disse stoffene i sedimentet er i Klif klasse III eller høyere etter klassifiseringsveilederen (TA-2229/2007).

Det er ikke direkte beregnet hva den totale utlekkingen fører til av PAH i vannmassene, men beregnede porevannskonsentrasjoner overskrider grenseverdi for økologiske effekter i vannmassene (Klif klasse II) for 5 av forbindelsene, mest for naftalen. Det vil kreves 3-11 x fortyning av dette porevannet før denne risikoen forsvinner, noe som teoretisk oppnås ved full innblanding i vannmassen opp til 1 m over bunnen. Dette viser i praksis at den reelle risikoen for økologiske effekter i vannmassene i fjorden er ubetydelig og at den økologiske risikoen først og fremst er knyttet til miljøgiftene der de ligger. Således har altså propelloppvirvlingen lite å si for den samlede økologiske risikoen fra sedimentet.

Beregning av de reelle fordelingskoeffisientene for PAH (Trinn 3) har vist at bindingen til sedimentpartiklene er sterkere enn det som risikoveilederen legger til grunn i Trinn 2, og at den totale PAH-utlekkingen derfor blir lavere. Risikovurderingen konkluderer med at fluksen av PAH ut fra sedimentene som følge av oppvirvling fra skipstrafikken til kaiene er ca. 25 kg/år som sum PAH₁₆. Til sammenlikning er PAH-fluksen via biodiffusjon og transport gjennom næringskjeden i det indre fjordområdet grunnere enn 100 m ca. 570 kg/år. En tenkt eliminering av propelloppvirvlingen vil altså redusere den totale PAH-utlekkingen med ca. 4 %. Dette slår ulikt ut på de ulike PAH-forbindelsene, men betyr mest for de tyngre forbindelsene. For disse står propelloppvirvlingen for ca. 90 % av total utlekking. Som tidligere nevnt, er det bare benzo(a)pyren som utgjør en potensiell helserisiko. For denne forbindelsen bidrar transport gjennom næringskjeden til 77 % av den helsemessige risikoen fra sedimentet. Eliminering av propelloppvirvlingen vil derfor ikke eliminere helserisikoen av benzo(a)pyren.

Alle resultatene bygger på forutsetningen om at konsentrasjonene av miljøgifter i sedimentene som påvirkes av skipspropeller, dvs grunnere enn 20 m, tilsvarer de som er målt i sedimentprøver på 43 – 56 m dyp utenfor Hydro Aluminium Sunndal.

2.7 Vurdering av behovet for tiltak

Mobilisering og spredning av PAH fra forurenset sediment er hovedfokus for vurdering av behov for tiltak utenfor Hydro Aluminium Sunndal. Behovet for tiltak begrunnes med at de skal bidra til oppfyllelse av vedtatte miljømål. Så vidt vi vet er det ikke etablert miljømål for Sunndalsfjorden. Imidlertid, gjennom EØS-samarbeidet plikter Norge å følge opp målsettingen i EUs vanndirektiv. Direktivet er tatt inn i norsk rett gjennom Vannforskriften. Et av hovedformålene med forskriften er å gi grunnlag for harmonisert utforming av miljømål for vannforekomster. På basis av et utvalg viktige parametere beskriver forskriften hva som legges i *meget god*, *god* og *middels miljøtilstand* for naturlige vannforekomster (elver, innsjøer, brakkvann, kystvann, grunnvann). Dette er de klassene som er aktuelle å knytte opp mot miljømål, dvs at mål om *middels* miljøtilstand er det laveste akseptable. Det er videre et krav om at vannforekomster i klasse *meget god* og *god* ikke forringes til klasse *middels*. Vannforskriften innebærer at det er lite hensiktsmessig å fastslå behovet for tiltak i Sunndalsfjorden før man har vedtatt miljømål som viser hvilket ambisjonsnivå tiltakene bør legges på.

Legger man klasse *god* til grunn for miljømålet, så kan man tolke klassifiseringen av de fysisk-kjemiske kvalitetselementene i forskriften til å være at miljøgiftnivåene i sediment skal tilfredsstillende Vanndirektivets EQS, dvs Klasse II i TA-2229/2007. Klasse II synes å være i tråd med vanlig praksis ved de sedimenttiltak som er gjennomført i Norge. Om Klasse II skal være akseptkriteriet i Sunndal også, bør likevel vurderes nærmere siden bindingen av PAH til sedimentet i dette tilfellet er betydelig sterkere enn i fjord- og havneområder generelt.

Legger man klasse *moderat* til grunn, er kravet bare ”forhold som betyr at verdiene for de biologiske kvalitetselementene angitt kan oppnås”. For bunnfauna er dette beskrevet som at moderat avvik fra

såkalte ”typespesifikke sedimentsamfunn” kan aksepteres, dvs det samfunn man kan forvente å finne under de rådende naturlige økologiske fjordforholdene. En slik tilstand synes å samsvare med den nylig gjennomførte fjordundersøkelsen, som viste et godt utviklet dyreliv med høy artsrikhet på alle stasjonene, men en økt andel av arter som erfaringsmessig tiltar i områder med høye sedimentkonsentrasjoner av PAH, nær kaiområdet. Klassifisering av tilstand ”*moderat*” er likevel så vagt formulert i forskriften at det er behov for en utdyping og spesifisering både av miljømål og behovet for tiltak. Dette bør bare gjøres dersom man lokalt velger å legge miljømålene på ambisjonsnivå *moderat* etter Vannforskriften. I vurderingen av tiltaksbehov etter Vannforskriften må man også ta med seg at PAH-konsentrasjonene har hatt gjennomgående stor nedgang i forhold til tidligere resultat (1986), en utvikling som harmonerer med konklusjonen fra modellberegningen NIVA gjennomførte i 2005 (Armitage mfl. 2005).

3. Referanser

Armitage, J., Saloranta, T. M. 2005. Simulating the fate of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in the Sunndalsfjord. NIVA Rapport l.nr.: 5113. 35s.

Bakke, T., Breedveld, G., Källqvist, T., Oen, A., Eek, E., Ruus, A., Kibsgaard, A., Helland, A. & Hylland, K. 2007 a. Veileder for risikovurdering av forurenset sediment. SFT-rapport TA-2230/2007. 65 s.

Bakke, T., Breedveld, G., Källqvist, T., Oen, A., Eek, E., Ruus, A., Kibsgaard, A., Helland, A. & Hylland, K. 2007b. Bakgrunnsdokument til veiledere TA-2229 og TA-2230. SFT-rapport TA-2231/2007. 204 s.

Bakke, T., Breedveld, G., Källqvist, T., Oen, A., Eek, E., Ruus, A., Kibsgaard, A., Helland, A. & Hylland, K. 2007c. Revidering av klassifisering av metaller og organiske miljøgifter i vann og sedimenter. SFT-rapport TA 2229/2007. 12 s.

Næs, K., I. Allan, E. Oug, H. Chr, Nilsson, J. Håvardstun. 2010. Oppdatering av miljøstatus for Sunndalsfjorden i 2008. Vannmasser, sediment og organismer. NIVA Rapport l.nr. 5941. 92s

Ruus, A., O. Bøyum., M. Grung., K. Næs. 2007. Particle affinity and bioavailability of PAHs associated with coal tar pitch. NIVA Rapport l.nr. 5497. 64 s.

Vedlegg A. Analyseresultater

Side nr.25/41

Norsk
Institutt
for
Vannforskning

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Tel: 22 18 51 00
Fax: 22 18 52 00

ANALYSE RAPPORT



Navn **Sundalsfjorden**
Adresse

Deres referanse:
IAL

Vår referanse:
Rekv.nr. 2009-875
O.nr. O 27445

Dato
11.06.2010

Prøvene ble levert ved NIVAs laboratorium av oppdragsgiver, og merket slik som gjengitt i tabellen nedenfor. Prøvene ble analysert med følgende resultater (analyseusikkerhet kan fås ved henvendelse til laboratoriet):

Prøvenr	Prøve merket	Prøvetakings- dato	Mottatt NIVA	Analyseperiode
1	SU 1 P1		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
2	SU 1 P2		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
3	SU 1 P3		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
4	SU 1 P4		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
5	SU 1 P5		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
6	SF 6		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
7	SF 12		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19

Analysevariabel	Enhet	Prøvenr Metode	1	2	3	4	5	6	7
Kornfordeling <63µm	% t.v.	Intern*	90	90	91	89	91	60	50
Karbon, org. total	µg C/mg TS	G 6	13,0	14,6	14,6	13,4	17,2	26,7	25,7
Sølv	µg/g	E 9-5	<0,5						
Arsen	µg/g	E 9-5	6						
Kadmium	µg/g	E 9-5	<0,2						
Krom	µg/g	E 9-5	72,8						
Kobber	µg/g	E 9-5	39,0						
Kvikksølv	µg/g	E 4-3	0,029						
Nikkel	µg/g	E 9-5	46,7						
Bly	µg/g	E 9-5	13						
Sink	µg/g	E 9-5	71,0						
PCB-28	µg/kg t.v.	H 3-3	<0,5						
PCB-52	µg/kg t.v.	H 3-3	<0,5						
PCB-101	µg/kg t.v.	H 3-3	<0,5						

PCB-118	µg/kg	t.v. H 3-3	<0,5						
PCB-105	µg/kg	t.v. H 3-3	<0,5						
PCB-153	µg/kg	t.v. H 3-3	<2						
PCB-138	µg/kg	t.v. H 3-3	<0,5						
PCB-156	µg/kg	t.v. H 3-3	<0,5						
PCB-180	µg/kg	t.v. H 3-3	<0,5						
PCB-209	µg/kg	t.v. H 3-3	<0,5						
Sum PCB	µg/kg	t.v. Beregnet	<6,5						
Seven Dutch	µg/kg	t.v. Beregnet	<5						
Pentaklorbenzen	µg/kg	t.v. H 3-3	<0,3						
Alfa-HCH	µg/kg	t.v. H 3-3	<0,5						
Hexaklorbenzen	µg/kg	t.v. H 3-3	0,44						

* : Metoden er ikke akkreditert.

Kommentarer

- 1 Metallresultatene er oppgitt på tørrvekt.
 PCB: Et sertifisert referansemateriale ble analysert parallelt med prøvene. Resultatet for CB52, CB105 og CB156 var høyere enn øvre aksjonsgrense.
 CB52 og CB153 var dekket av en interferens i kromatogrammet av prøvene. Det er derfor satt høyere deteksjonsgrense enn normalt for disse forbindelsene.
 SnOrg: Et sertifisert referansemateriale ble analysert parallelt med prøvene. Resultatet for TBT var lavere enn nedre aksjonsgrense. Årsaken antas å skyldes lite innveid materiale, samt at referansematerialet var relativt gammelt.

ANALYSE RAPPORT



Rekv.nr. 2009-875

(fortsettelse av tabellen):

Prøvenr	Prøve merket	Prøvetakings- dato	Mottatt NIVA	Analyseperiode
1	SU 1 P1		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
2	SU 1 P2		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
3	SU 1 P3		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
4	SU 1 P4		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
5	SU 1 P5		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
6	SF 6		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
7	SF 12		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19

Prøvenr Analysevariabel Enhet Metode	1	2	3	4	5	6	7
Gamma-HCH µg/kg t.v. H 3-3	<0,5						
Oktaklorstyren µg/kg t.v. H 3-3	<0,5						
4,4-DDE µg/kg t.v. H 3-3	<0,5						
4,4-DDD µg/kg t.v. H 3-3	<1						
Naftalen i sediment µg/kg t.v. H 2-3	95	120	140	65	150	480	800
Acenaftalen µg/kg t.v. H 2-3	<2	2,4	2,7	<2	2,8	9,1	6,5
Acenaften µg/kg t.v. H 2-3	190	250	260	160	290	860	1300
Fluoren µg/kg t.v. H 2-3	150	160	180	100	180	550	880
Dibenzotiofen µg/kg t.v. H 2-3	60	76	79	48	78	250	370
Fenantren µg/kg t.v. H 2-3	980	1200	1200	740	1200	3700	5300
Antracen µg/kg t.v. H 2-3	160	210	220	110	230	710	1000
Fluoranten µg/kg t.v. H 2-3	1600	2000	1900	1300	2000	6500	8100
Pyren µg/kg t.v. H 2-3	1400	1700	1600	1100	1600	5300	6700
Benz(a)antracen µg/kg t.v. H 2-3	940	1200	1300	820	1300	5600	5900

Chrysen	1500	1500	1400	960	1500	8700	6000
µg/kg t.v. H 2-3							
Benzo(b+j)fluoranten	1900	2300	2300	1500	2500	11000	10000
µg/kg t.v. H 2-3							
Benzo(k)fluoranten	2000	800	800	540	830	3400	3200
µg/kg t.v. H 2-3							
Benzo(e)pyren	1100	1300	1300	870	1400	6200	5800
µg/kg t.v. H 2-3							
Benzo(a)pyren	1200	1600	1600	1100	1700	5800	7200
µg/kg t.v. H 2-3							
Perylen	340	430	380	260	450	1300	1700
µg/kg t.v. H 2-3							
Indeno(1,2,3cd)pyren	1400	1700	1500	920	1700	5500	5100
µg/kg t.v. H 2-3							
Dibenz(ac+ah)antrac.	350	410	350	220	420	1500	1300
µg/kg t.v. H 2-3							
Benzo(ghi)perylene	1500	1800	1600	1000	1800	5900	5500
µg/kg t.v. H 2-3							
Sum PAH	<16867	18758,4	18111,7	<11815	19330,8	73259,1	76156,5
µg/kg t.v. Beregnet							
Sum PAH16	<15367	16952,4	16352,7	<10637	17402,8	65509,1	68286,5
µg/kg t.v. Beregnet							
Sum KPAH	9385	9630	9390	6125	10100	41980	39500
µg/kg t.v. Beregnet							
Monobutyltinn	<3						
µg MBT/kg H 14-1*							
Dibutyltinn	<1						
µg/kg t.v. H 14-1*							
Tributyltinn	<1						
µg/kg t.v. H 14-1*							
Monophenyltinn	<1						
µg/kg t.v. H 14-1*							

* : Metoden er ikke akkreditert.

ANALYSE RAPPORT



Rekv.nr. 2009-875

(fortsettelse av tabellen):

Prøvenr	Prøve merket	Prøvetakings- dato	Mottatt NIVA	Analyseperiode
1	SU 1 P1		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
2	SU 1 P2		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
3	SU 1 P3		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
4	SU 1 P4		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
5	SU 1 P5		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
6	SF 6		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
7	SF 12		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19

Analysevariabel	Enhet	Prøvenr Metode	1	2	3	4	5	6	7
Diphenyltinn	µg/kg	t.v. H 14-1*	<3						
Triphenyltinn	µg/kg	t.v. H 14-1*	<1						

* : Metoden er ikke akkreditert.

ANALYSE RAPPORT



Rekv.nr. 2009-875

(fortsettelse av tabellen):

Prøvenr	Prøve merket	Prøvetakings- dato	Mottatt NIVA	Analyseperiode					
8	SF 10		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19					
9	SF 16		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19					
10	SF 15 P1		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19					
11	SF 15 P2		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19					
12	SF 15 P3		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19					
13	SF 14 P1		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19					
14	SF 14 P2		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19					
Analysevariabel	Enhet	Prøvenr Metode	8	9	10	11	12	13	14
Kornfordeling <63µm	% t.v.	Intern*	51	95	96	96	95	78	54
Karbon, org. total	µg C/mg TS	G 6	29,6	14,6	11,6	12,8	11,3	10,2	9,0
Sølv	µg/g	E 9-5	<0,5					<0,5	
Arsen	µg/g	E 9-5	5					6	
Kadmium	µg/g	E 9-5	0,2					<0,2	
Krom	µg/g	E 9-5	35,6					74,6	
Kobber	µg/g	E 9-5	38,9					46,3	
Kvikksølv	µg/g	E 4-3	0,071					0,021	
Nikkel	µg/g	E 9-5	70,8					45,4	
Bly	µg/g	E 9-5	20					13	
Sink	µg/g	E 9-5	73,2					74,7	
PCB-28	µg/kg v.v.	H 3-4						0,09	
PCB-28	µg/kg t.v.	H 3-3	<0,5						
PCB-52	µg/kg v.v.	H 3-4						1,9	
PCB-52	µg/kg t.v.	H 3-3	<2						
PCB-101	µg/kg t.v.	H 3-3	1,7					<0,5	
PCB-118	µg/kg t.v.	H 3-3	1,2					<0,5	
PCB-105	µg/kg t.v.	H 3-3	1,5					<0,5	
PCB-153	µg/kg t.v.	H 3-3	<5					<3	
PCB-138	µg/kg t.v.	H 3-3	2,0					<0,5	
PCB-156	µg/kg t.v.	H 3-3	<0,5					<0,5	
PCB-180	µg/kg t.v.	H 3-3	0,55					<0,5	
PCB-209	µg/kg t.v.	H 3-3	<0,5					<0,5	
Sum PCB	µg/kg t.v.		<15,45					<6,5	
Beregnet									
Sum PCB	µg/kg v.v.							1,99	
Beregnet									
Seven Dutch	µg/kg t.v.		<12,95					<5	
Beregnet									
Seven Dutch	µg/kg v.v.							1,99	
Beregnet									
Pentaklorbenzen	µg/kg t.v.	H 3-3	0,45					<0,3	
Alfa-HCH	µg/kg t.v.	H 3-3	<0,5					<0,5	
Hexaklorbenzen	µg/kg t.v.	H 3-3	3,0					<0,3	

* : Metoden er ikke akkreditert.

ANALYSE RAPPORT



Rekv.nr. 2009-875

(fortsettelse av tabellen):

Prøvenr	Prøve merket	Prøvetakings- dato	Mottatt NIVA	Analyseperiode
8	SF 10		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
9	SF 16		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
10	SF 15 P1		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
11	SF 15 P2		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
12	SF 15 P3		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
13	SF 14 P1		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
14	SF 14 P2		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19

Prøvenr	Analysevariabel	Enhet	8	9	10	11	12	13	14
	Gamma-HCH	µg/kg t.v.	<0,5					<0,5	
	H 3-3								
	Oktaklorstyren	µg/kg t.v.	<0,5					<0,5	
	H 3-3								
	4,4-DDE	µg/kg t.v.	<0,5					<0,5	
	H 3-3								
	4,4-DDD	µg/kg t.v.	<1					<1	
	H 3-3								
	Naftalen i sediment	µg/kg t.v.	470	23	27	46	39	28	19
	H 2-3								
	Acenaftalen	µg/kg t.v.	14	<2	<2	<2	2,5	<2	<2
	H 2-3								
	Acenaften	µg/kg t.v.	780	39	54	83	61	49	37
	H 2-3								
	Fluoren	µg/kg t.v.	530	29	37	62	55	39	27
	H 2-3								
	Dibenzotiofen	µg/kg t.v.	250	13	16	24	22	16	11
	H 2-3								
	Fenantren	µg/kg t.v.	3600	200	260	380	340	250	180
	H 2-3								
	Antracen	µg/kg t.v.	840	27	44	48	51	34	23
	H 2-3								
	Fluoranten	µg/kg t.v.	7400	320	440	660	580	430	320
	H 2-3								
	Pyren	µg/kg t.v.	5600	270	370	560	490	380	290
	H 2-3								
	Benz(a)antracen	µg/kg t.v.	7500	230	300	350	320	230	190
	H 2-3								

Chrysen H 2-3	µg/kg t.v.	17000	250	320	470	390	330	260
Benzo(b+j)fluoranten H 2-3	µg/kg t.v.	20000	440	600	830	700	600	510
Benzo(k)fluoranten H 2-3	µg/kg t.v.	6000	150	210	300	260	220	180
Benzo(e)pyren H 2-3	µg/kg t.v.	11000	250	350	470	410	350	290
Benzo(a)pyren H 2-3	µg/kg t.v.	7200	200	380	500	460	390	320
Perylen H 2-3	µg/kg t.v.	1500	29	96	130	100	100	81
Indeno(1,2,3cd)pyren H 2-3	µg/kg t.v.	7700	300	360	520	440	400	340
Dibenz(ac+ah)antrac. H 2-3	µg/kg t.v.	2400	76	86	110	95	83	70
Benzo(ghi)perylene H 2-3	µg/kg t.v.	8900	320	390	560	470	470	390
Sum PAH Beregnet	µg/kg t.v.	108684	<3168	<4342	<6105	5285,5	<4401	<3540
Sum PAH16 Beregnet	µg/kg t.v.	95934	<2876	<3880	<5481	4753,5	<3935	<3158
Sum KPAH Beregnet	µg/kg t.v.	68270	1669	2283	3126	2704	2281	1889
Monobutyltinn H 14-1*	µg MBT/kg						<2	
Dibutyltinn H 14-1*	µg/kg t.v.						<2	
Tributyltinn H 14-1*	µg/kg t.v.						<2	
Monophenyltinn H 14-1*	µg/kg t.v.						<2	

* : Metoden er ikke akkreditert.

ANALYSE RAPPORT



Rekv.nr. 2009-875

(fortsettelse av tabellen):

Prøvenr	Prøve merket	Prøvetakings- dato	Mottatt NIVA	Analyseperiode
8	SF 10		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
9	SF 16		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
10	SF 15 P1		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
11	SF 15 P2		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
12	SF 15 P3		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
13	SF 14 P1		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
14	SF 14 P2		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19

Analysevariabel	Enhet	Prøvenr Metode	8	9	10	11	12	13	14
Diphenyltinn	µg/kg	t.v. H 14-1*						i	
Triphenyltinn	µg/kg	t.v. H 14-1*						<2	

i : Forbindelsen er dekket av en interferens i kromatogrammet.

* : Metoden er ikke akkreditert.

ANALYSE RAPPORT



Rekv.nr. 2009-875

(fortsettelse av tabellen):

Prøvenr	Prøve merket	Prøvetakings- dato	Mottatt NIVA	Analyseperiode
15	SF 14 P3		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
16	SF 13		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
17	SF 11		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
18	SU 2 P1		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
19	SU 2 P2		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
20	SU 2 P3		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19

Analysevariabel	Enhet	Prøvenr Metode	15	16	17	18	19	20
Kornfordeling <63µm	% t.v.	Intern*	83	60	50	92	93	92
Karbon, org. total	µg C/mg TS	G 6	11,3	17,2	22,9	14,3	11,4	13,0
Sølv	µg/g	E 9-5		<0,5	<0,5			
Arsen	µg/g	E 9-5		5	2			
Kadmium	µg/g	E 9-5		<0,2	<0,2			
Krom	µg/g	E 9-5		48,9	43,4			
Kobber	µg/g	E 9-5		30,9	33,1			
Kvikksølv	µg/g	E 4-3		0,027	0,043			
Nikkel	µg/g	E 9-5		36,8	46,8			
Bly	µg/g	E 9-5		10	18			
Sink	µg/g	E 9-5		57,8	64,8			
PCB-28	µg/kg t.v.	H 3-3		<0,5	2,4			
PCB-52	µg/kg t.v.	H 3-3		<1	<2			
PCB-101	µg/kg t.v.	H 3-3		<0,5	<0,5			
PCB-118	µg/kg t.v.	H 3-3		<0,5	<0,5			
PCB-105	µg/kg t.v.	H 3-3		<0,5	<0,5			
PCB-153	µg/kg t.v.	H 3-3		<3	<1			
PCB-138	µg/kg t.v.	H 3-3			<0,5			
PCB-156	µg/kg t.v.	H 3-3		<0,5	<0,5			
PCB-180	µg/kg t.v.	H 3-3		<0,5	<0,5			
PCB-209	µg/kg t.v.	H 3-3		<0,5	<0,5			
Sum PCB	µg/kg t.v.	Beregnet		<7,5	<8,9			
Seven Dutch	µg/kg t.v.	Beregnet		<6	<7,4			
Pentaklorbenzen	µg/kg t.v.	H 3-3		<0,3	<0,3			
Alfa-HCH	µg/kg t.v.	H 3-3		<0,5				
Hexaklorbenzen	µg/kg t.v.	H 3-3		0,66	0,67			

* : Metoden er ikke akkreditert.

ANALYSE RAPPORT



Rekv.nr. 2009-875

(fortsettelse av tabellen):

Prøvenr	Prøve merket	Prøvetakings- dato	Mottatt NIVA	Analyseperiode
15	SF 14 P3		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
16	SF 13		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
17	SF 11		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
18	SU 2 P1		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
19	SU 2 P2		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
20	SU 2 P3		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19

Prøvenr Analysevariabel Metode	Enhet	15	16	17	18	19	20
Gamma-HCH 3-3	µg/kg t.v. H		<0,5	<0,5			
Oktaklorstyren 3-3	µg/kg t.v. H		<0,5	<0,5			
4,4-DDE 3-3	µg/kg t.v. H		<0,5	<0,5			
4,4-DDD 3-3	µg/kg t.v. H		<1	<1			
Naftalen i sediment 2-3	µg/kg t.v. H	48	360	400	23	13	28
Acenaftalen 2-3	µg/kg t.v. H	<2	4,3	5,6	<2	<2	<2
Acenaften 2-3	µg/kg t.v. H	86	670	810	48	26	54
Fluoren 2-3	µg/kg t.v. H	61	510	550	38	22	42
Dibenzotiofen 2-3	µg/kg t.v. H	22	200	240	15	9,1	17
Fenantren 2-3	µg/kg t.v. H	360	3000	3500	240	140	270
Antracen 2-3	µg/kg t.v. H	47	540	660	35	21	34
Fluoranten 2-3	µg/kg t.v. H	590	4700	6000	410	240	470
Pyren 2-3	µg/kg t.v. H	510	3900	4900	360	230	410
Benz(a)antracen 2-3	µg/kg t.v. H	320	2600	3400	270	160	280
Chrysen 2-3	µg/kg t.v. H	430	3300	5000	390	220	380

Benzo(b+j)fluoranten 2-3	µg/kg t.v. H	760	5400	7400	610	430	640
Benzo(k)fluoranten 2-3	µg/kg t.v. H	270	1800	2300	220	150	230
Benzo(e)pyren 2-3	µg/kg t.v. H	440	3100	4300	350	250	370
Benzo(a)pyren 2-3	µg/kg t.v. H	510	3800	4800	400	280	430
Perylen 2-3	µg/kg t.v. H	130	860	1100	83	72	92
Indeno(1,2,3cd)pyren 2-3	µg/kg t.v. H	470	2900	4000	410	300	430
Dibenz(ac+ah)antrac. 2-3	µg/kg t.v. H	100	710	960	85	68	91
Benzo(ghi)perylene 2-3	µg/kg t.v. H	540	3200	4300	450	340	460
Sum PAH Beregnet	µg/kg t.v.	<5696	41554,3	54625,6	<4439	<2973,1	<4730
Sum PAH16 Beregnet	µg/kg t.v.	<5104	37394,3	48985,6	<3991	<2642	<4251
Sum KPAH Beregnet	µg/kg t.v.	2908	20870	28260	2408	1621	2509
Monobutyltinn 14-1*	µg MBT/kg H		2,2	9,4			
Dibutyltinn 14-1*	µg/kg t.v. H		<2	7,7			
Tributyltinn 14-1*	µg/kg t.v. H		<2	28			
Monophenyltinn 14-1*	µg/kg t.v. H		<2	<1			

* : Metoden er ikke akkreditert.

ANALYSE RAPPORT



Rekv.nr. 2009-875

(fortsettelse av tabellen):

Prøvenr	Prøve merket	Prøvetakings- dato	Mottatt NIVA	Analyseperiode
15	SF 14 P3		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
16	SF 13		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
17	SF 11		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
18	SU 2 P1		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
19	SU 2 P2		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19
20	SU 2 P3		2009.05.11	2009.05.19-2009.06.19

Analysevariabel	Enhet	Prøvenr Metode	15	16	17	18	19	20
Diphenyltinn	µg/kg	t.v. H 14-1*		<3	i			
Triphenyltinn	µg/kg	t.v. H 14-1*		<2	<1			

i : Forbindelsen er dekket av en interferens i kromatogrammet.

* : Metoden er ikke akkreditert.

Norsk institutt for vannforskning

Kristoffer Næs

ANALYSE RAPPORT



Rekv.nr. 2009-875

(fortsettelse av tabellen):

VEDLEGG

SUM PCB er summen av polyklorete bifenyler som inngår i denne rapporten.

Seven dutch er summen av polyklorete bifenyler 28,52,101,118,138,153 og 180.

SUM PAH16 omfatter flg forbindelser: naftalen, acenaftylen, acenaften, fluoren, fenantren, antracen, fluoranten, pyren, benz(a)antracen, chrysen, benzo(b+j)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(a)pyren, indeno(1,2,3-cd)pyren, dibenz(a,c+a,h)antracen, benzo(ghi)perylene.

SUM KPAH er summen av benz(a)antracen, benzo(b+j+k)fluoranten, benzo(a)pyren, indeno(1,2,3-cd)pyren, dibenz(a,c+a,h)antracen, chrysen og naftalen¹. Disse har potensielt kreftfremkallende egenskaper i mennesker i flg International Agency for Research on Cancer, IARC (1987, Chrysen og naftalen fra 2007). De tilhører IARC's kategorier 2A + 2B (sannsynlig + trolig carcinogene). Chrysen og naftalen ble inkludert i våre rapporter f.o.m. 18.09.2008.

SUM PAH er summen av alle PAH-forbindelser som inngår i denne rapporten

¹ Bare a,h-isomeren har potensielt kreftfremkallende egenskaper

Vedlegg B. Regneark

Sedimentkonsentrasjoner benyttet i risikoveilederen for stasjonene som representer arealet innennfor 100m koten innerst i Sundalsfjorden.

Stoff	Målt sedimentkonsentrasjon			Kontroll av homogenitet	INPUT: Målt sedimentkonsentrasjon, C _{sed} (mg/kg)					Prøve 6
	Antall prøver	C _{sed, max} (mg/kg)	C _{sed, middel} (mg/kg)	C _{sed, max} / C _{sed, median} (Verdi større enn 2 kan tyde på inhomogenitet/hotspot)	SF 6	SF 10	SF 11	SF 12	SF 13	
Arsen	3	5,00E+00	4,00E+00	1,0		5	2		5	
Bly	3	2,00E+01	1,60E+01	1,1		20	18		10	
Kadmium	3	2,00E-01	2,00E-01	1,0		0,2	0,2		0,2	
Kobber	3	3,89E+01	3,43E+01	1,2		38,9	33,1		30,9	
Krom totalt (III + VI)	3	4,89E+01	4,26E+01	1,1		35,6	43,4		48,9	
Kvikksølv	3	7,10E-02	4,70E-02	1,7		0,071	0,043		0,027	
Nikkel	3	7,28E+01	5,15E+01	1,5		70,8			46,8	
Sink	3	7,32E+01	6,53E+01	1,1		73,2	64,8		57,8	
Naftalen	5	8,00E-01	5,02E-01	1,7	0,4800	0,4700	0,4000	0,8000	0,3600	
Acenaftylen	5	1,40E-02	7,90E-03	2,2	0,0091	0,0140	0,0056	0,0065	0,0043	
Acenaften	5	1,30E+00	8,84E-01	1,6	0,8600	0,7800	0,8100	1,3000	0,6700	
Fluoren	5	8,80E-01	6,04E-01	1,6	0,5500	0,5300	0,5500	0,8800	0,5100	
Fenantren	5	5,30E+00	3,82E+00	1,5	3,7000	3,6000	3,5000	5,3000	3,0000	
Antracen	5	1,00E+00	7,50E-01	1,4	0,7100	0,8400	0,6600	1,0000	0,5400	
Fluoranten	5	8,10E+00	6,54E+00	1,2	6,5000	7,4000	6,0000	8,1000	4,7000	
Pyren	5	6,70E+00	5,28E+00	1,3	5,3000	5,6000	4,9000	6,7000	3,9000	
Benzo(a)antracen	5	7,50E+00	5,00E+00	1,3	5,6000	7,5000	3,4000	5,9000	2,6000	
Krysen	5	1,70E+01	8,00E+00	2,8	8,7000	17,0000	5,0000	6,0000	3,3000	
Benzo(b)fluoranten	5	2,00E+01	1,08E+01	2,0	11,0000	20,0000	7,4000	10,0000	5,4000	
Benzo(k)fluoranten	5	6,00E+00	3,34E+00	1,9	3,4000	6,0000	2,3000	3,2000	1,8000	
Benzo(a)pyren	5	7,20E+00	5,76E+00	1,2	5,8000	7,2000	4,8000	7,2000	3,8000	
Indeno(1,2,3-cd)pyren	5	7,70E+00	5,04E+00	1,5	5,5000	7,7000	4,0000	5,1000	2,9000	
Dibenzo(a,h)antracen	5	2,40E+00	1,37E+00	1,8	1,5000	2,4000	0,9600	1,3000	0,7100	
Benzo(ghi)perylene	5	8,90E+00	5,56E+00	1,6	5,9000	8,9000	4,3000	5,5000	3,2000	
PCB 28	3	2,40E-03	9,67E-04	9,6		0,0003	0,0024		0,0003	
PCB 52	3	2,00E-03	1,67E-03	1,0		0,0020	0,0020		0,0010	
PCB 101	3	1,70E-03	7,33E-04	6,8		0,0017	0,0003		0,0003	
PCB 118	3	1,20E-03	5,67E-04	4,8		0,0012	0,0003		0,0003	
PCB 138	2	2,00E-03	1,13E-03	1,8		0,0020	0,0003			
PCB 153	3	1,50E-03	9,17E-04	1,5		0,0003	0,0010		0,0015	
PCB 180	3	5,50E-04	3,50E-04	2,2		0,0006	0,0003		0,0003	
Tributyltinn (TBT-ion)	2	2,80E-02	1,50E-02	1,9			0,0280		0,0020	
Heksaklorbenzen	3	3,00E-03	1,45E-03	4,4		0,003	0,0006767		0,00066	

Sedimentkonsentrasjoner benyttet i risikoveilederen for stasjonene som representer arealet ut til linjen Sæbønes/sydenden av Flåøya i Sunndalsfjorden.

Stoff	Målt sedimentkonsentrasjon			Kontroll av homogenitet	INPUT: Målt sedimentkonsentrasjon, C _{sed} (mg/kg)													
	Antall prøver	C _{sed, max} (mg/kg)	C _{sed, middel} (mg/kg)	C _{sed, max} / C _{sed, median} (Verdi større enn 2 kan tyde på inhomogenitet/hotspot)	SF 6	SF 10	SF 11	SF 12	SF 13	SF 14	P1-P3	SF 15	P1-P3	SF 16	SU 1	P1-P5	SU 2	P1-P5
Arsen	5	6,00E+00	4,80E+00	1,2														
Bly	5	2,00E+01	1,48E+01	1,5														
Kadmium	5	2,00E-01	2,00E-01	1,0														
Kobber	5	4,63E+01	3,76E+01	1,2														
Krom totalt (III + VI)	5	7,46E+01	5,51E+01	1,5														
Kvikksølv	5	7,10E-02	3,82E-02	2,4														
Nikkel	5	7,08E+01	4,93E+01	1,5														
Sink	5	7,47E+01	6,83E+01	1,1														
Naftalen	10	8,00E-01	2,74E-01	3,4	0,4800	0,4700	0,4000	0,8000	0,3600	0,0317	0,0373	0,0230			0,1140	0,0213		
Acenafylen	10	1,40E-02	4,60E-03	4,5	0,0091	0,0140	0,0056	0,0065	0,0043	0,0010	0,0015	0,0010	0,0010	0,0010	0,0020	0,0010		
Acenafthen	10	1,30E+00	4,86E-01	2,9	0,8600	0,7800	0,8100	1,3000	0,6700	0,0573	0,0660	0,0390	0,2300	0,2300	0,2300	0,2300	0,2300	0,2300
Fluoren	10	8,80E-01	3,33E-01	2,7	0,5500	0,5300	0,5500	0,8800	0,5100	0,0423	0,0513	0,0290	0,1540	0,1540	0,1540	0,1540	0,1540	0,1540
Fenantren	10	5,30E+00	2,12E+00	2,6	3,7000	3,6000	3,5000	5,3000	3,0000	0,2633	0,3267	0,2000	1,0640	1,0640	1,0640	1,0640	1,0640	1,0640
Antracen	10	1,00E+00	4,08E-01	2,8	0,7100	0,8400	0,6600	1,0000	0,5400	0,0347	0,0477	0,0270	0,1860	0,1860	0,1860	0,1860	0,1860	0,1860
Fluoranten	10	8,10E+00	3,62E+00	2,5	6,5000	7,4000	6,0000	8,1000	4,7000	0,4467	0,5600	0,3200	1,7600	1,7600	1,7600	1,7600	1,7600	1,7600
Pyren	10	6,70E+00	2,94E+00	2,5	5,3000	5,6000	4,9000	6,7000	3,9000	0,3933	0,4733	0,2700	1,4800	1,4800	1,4800	1,4800	1,4800	1,4800
Benzo(a)antracen	10	7,50E+00	2,71E+00	4,0	5,6000	7,5000	3,4000	5,9000	2,6000	0,2467	0,3233	0,2300	1,1120	1,1120	1,1120	1,1120	1,1120	1,1120
Krysen	10	1,70E+01	4,27E+00	7,3	8,7000	17,0000	5,0000	6,0000	3,3000	0,3400	0,3933	0,2500	1,3720	1,3720	1,3720	1,3720	1,3720	1,3720
Benzo(b)fluoranten	10	2,00E+01	5,82E+00	5,3	11,0000	20,0000	7,4000	10,0000	5,4000	0,6233	0,7100	0,4400	2,1000	2,1000	2,1000	2,1000	2,1000	2,1000
Benzo(k)fluoranten	10	6,00E+00	1,85E+00	4,3	3,4000	6,0000	2,3000	3,2000	1,8000	0,2233	0,2567	0,1500	0,9940	0,9940	0,9940	0,9940	0,9940	0,9940
Benzo(a)pyren	10	7,20E+00	3,17E+00	2,7	5,8000	7,2000	4,8000	7,2000	3,8000	0,4067	0,4467	0,2000	1,4400	1,4400	1,4400	1,4400	1,4400	1,4400
Indeno(1,2,3-cd)pyren	10	7,70E+00	2,82E+00	3,5	5,5000	7,7000	4,0000	5,1000	2,9000	0,4033	0,4400	0,3000	1,4400	1,4400	1,4400	1,4400	1,4400	1,4400
Dibenzo(a,h)antracen	10	2,40E+00	7,56E-01	4,5	1,5000	2,4000	0,9600	1,3000	0,7100	0,0843	0,0970	0,0760	0,3500	0,3500	0,3500	0,3500	0,3500	0,3500
Benzo(ghi)perylen	10	8,90E+00	3,10E+00	3,8	5,9000	8,9000	4,3000	5,5000	3,2000	0,4667	0,4733	0,3200	1,5400	1,5400	1,5400	1,5400	1,5400	1,5400
PCB 28	4	2,40E-03	7,27E-04	9,6		0,0003	0,0024		0,0003	0,000009								
PCB 52	4	2,00E-03	1,73E-03	1,0		0,0020	0,0020		0,0010	0,0019								
PCB 101	4	1,70E-03	6,13E-04	6,8		0,0017	0,0003		0,0003	0,00025								
PCB 118	4	1,20E-03	4,88E-04	4,8		0,0012	0,0003		0,0003	0,00025								
PCB 138	3	2,00E-03	8,33E-04	8,0		0,0020	0,0003		0,0003	0,00025								
PCB 153	4	1,50E-03	1,06E-03	1,2		0,0003	0,0010		0,0015	0,0015								
PCB 180	4	5,50E-04	3,25E-04	2,2		0,0006	0,0003		0,0003	0,00025								
Tributyltinn (TBT-ion)	3	2,80E-02	1,07E-02	14,0			0,0280		0,0020	0,0020								
Heksaklorbenzen	4	3,00E-03	1,15E-03	4,5		0,003	0,0006767		0,00066	0,00025								

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no