

Risikovurdering av propelloppvirvling av sedimenter ved Rafnes industriområde



Hovedkontor

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

Sørlandsavdelingen

Jon Lilletuns vei 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

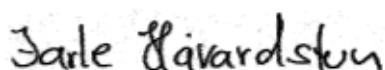
Pirsenteret, Havnegata 9
Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Risikovurdering av propelloppvirvling av sedimenter ved Rafnes industriområde.	Løpenr. (for bestilling) 5924-2010	Dato 15/06/12
	Prosjektnr. Udemnr. O-29369	Sider Pris 34
Forfatter(e) Jarle Håvardstun, Torgeir Bakke, Kristoffer Næs	Fagområde Marine miljøgifter	Distribusjon Fri
	Geografisk område Telemark	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) INEOS Norge	Oppdragsreferanse Harald Meløy Erlend Malvik
---------------------------------	--

Sammendrag
Ved bruk av Klifs risikoveileder (SFT TA-2230/2007), og vedlegg A.3 til (SFT TA- 2231) er det gjennomført en risikovurdering av propellgenerert oppvirvling av sjøsediment utenfor INEOS Norge sine tre kaier ved Rafnes. Samlet mengde oppvirvlet sediment fra alle kaiene i løpet av ett år ble beregnet til ca. 4400 tonn ved å bruke vedlegg A-3, og til ca. 1000 tonn ved å bruke risikoveilederens sjablongverdier for industrihavn. Konsentrasjonene av tungmetaller var generelt lavt i sedimentene. Oppvirvling fra skipspropeller hadde størst betydning for spredning av metaller, men var også viktig for spredning av tyngre PAH-forbindelser og flere av PCB-forbindelsene. Beregningene viser at skipstrafikken totalt kan virvle opp ca 1,6 gTE/år av dioksiner. Modellberegninger viser at hvis denne tilførselen til fjordsystemet fjernes, vil det gi maksimalt ca. 1 års framskynding av tiden det tar før torskelerver er i klasse II (rundt år 2034-2038).

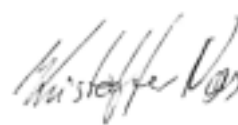
Fire norske emneord 1. Sedimentoppvirvling 2. Risikovurdering 3. Skipstrafikk 4. Havneforurensning	Fire engelske emneord 1. Sediment resuspension 2. Risk assessment 3. Ship traffic 4. Polluted harbours
--	--



Jarle Håvardstun
Prosjektleder



Morten Thorne Schaanning
Forskningsleder
ISBN 978-82-577-5659-8



Kristoffer Næs
Forskningsdirektør

Risikovurdering av propelloppvirvling av sedimenter ved Rafnes industriområde

Forord

NIVA har gjennomført en risikovurdering av propelloppvirvling av sedimenter utenfor kaiene ved Rafnes. Oppdragsgiver har vært INEOS Norge ved Harald Meløy og Erlend Malvik. Jarle Håvardstun har vært prosjektleder og har sammen med Torgeir Bakke og Kristoffer Næs gjennomført risikovurderingen og skrevet rapporten.

Grimstad, 15. juni 2012

Jarle Håvardstun

Innhold

Sammendrag	5
Summary	6
1. Bakgrunn	7
2. Metoder og gjennomføring	8
2.1 Risikovurdering av forurenset sediment	8
2.2 Prøvetaking og bakgrunnsdata	8
2.3 Analyser	10
2.4 Kaianleggene	10
3. Resultater	11
3.1 Prinsippet for risikovurderingen	11
3.2 Beregnet mengde oppvirvlet sediment	13
3.3 Beregnet spredning av miljøgifter i risikoveilederen	16
3.4 Beregnet spredning av dioksiner fra skipstrafikken	19
3.4.1 Beregnet årlig oppvirvling og spredning av dioksiner fra propeller	19
3.4.2 Tid for å tømme lageret av dioksiner med denne oppvirvlingen	20
3.5 Risikovurdering	20
3.5.1 Stoffer som dekkes av risikoveilederen	20
3.5.2 Risikovurdering av dioksinoppvirvlingen	23
3.5.3 Hva betyr beregnet dioksinoppvirvling for dioksinutviklingen i Grenlandsfjordene?	23
3.6 Oppsummering	23
4. Referanser	25
Vedlegg A. Analyseresultater	26
Vedlegg B. Regneark	33
Vedlegg C. Skipsanløp	33

Sammendrag

Klima- og forurensningsdirektoratet, (Klif) har gitt INEOS Norge varsel om pålegg om å gjennomføre risiko- og tiltaksvurdering av propellgenerert oppvirvling av forurenset sjøsediment utenfor INEOS Norges kaiområder på Rafnes. 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 i risikovurdering av forurenset sediment (SFT TA-2230/2007), og ved en nærmere beregning av oppvirvlet masse som utgjør et Trinn 3 i vurderingen (gjort i følge vedlegg A.3 til SFT TA-2231/2007). Vurderingen omfatter 3 kaiområder: kai 1, kai 2 og kai 3. Vurderingen er gjort på grunnlag av sedimentprøvetaking utført i 2009 samt opplysninger om skipstrafikkmønster for hver av kaiene.

Beregningene viste at samlet ble ca. 4400 tonn sediment oppvirvlet fra alle kaiområdene i løpet av ett år. Dette er betydelig høyere enn beregningene gjort etter risikoveilederens Trinn 2 som ga en total oppvirvling på ca 1000 tonn/år. Dette skyldes i hovedsak dybdeforholdene utenfor kaianleggene ved Rafnes. Det er betydelig større arealer med dybder grunnere enn 20 m i traseene for skipsanløp utenfor disse kaiene enn det som sjablongverdiene i risikoveilederens Trinn 2 er basert på.

Innholdet av enkelte miljøgifter i sedimentene er høyt og de mobiliseres i ulik grad ved propelloppvirvling. Propellerrosjon gir det største prosentvise bidraget til total transport av metaller ut av sedimentene, og er også viktig for spredning av tyngre PAH-forbindelser og enkelte PCB-forbindelser.

Klifs risikoveileder gir ikke akseptkriterier for spredning alene, og heller ikke grunnlag for å vurdere økologisk og human risiko av dioksiner, som er hovedfokus for tiltaksvurderingene i Grenlandsfjordene. Det ble beregnet at propelloppvirvlingen fra anløp ved kaianleggene til Rafnes gir en tilførsel av sum PCDD/F til vannmassene på 1,6gTE/år hvorav antakeligvis ca 0,3 gTE/år spres videre rundt i fjordsystemet.

Ved å eliminere spredning av miljøgifter forårsaket av propelloppvirvling viser beregninger at den resterende miljøgiftspredning fra diffusjon og opptak av organismer likevel vil føre til overskridelser i forhold til spredningen fra et sediment med "akseptabel" miljørisiko, dvs overgangen mellom Klifs tilstandsklasse II og III.

Beregninger ved bruk av den numeriske modellen SF-tools viser at eliminering av dioksintilførselen fra propelloppvirvling vil kunne framskynde tidspunktet der dioksiner i torskelever er i tilstandsklasse II med 1 år eller mindre, rundt år 2034-2038.

Summary

Title: Risk assessment of propeller generated erosion of sediments outside Rafnes Industrial park.

Year: 2010

Author: Jarle Håvardstun, Torgeir Bakke and Kristoffer Næs

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-5659-8

The Norwegian Climate and Pollution Agency (Klif) has announced a requested that INEOS Norge performs a risk and remediation assessment of propeller generated sediment resuspension outside their harbour area at Rafnes. 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 covers three pier areas: Pier 1, 2, and 3. The assessment is based on analysis of contaminants in the sediments made in spring 2009 and on information received regarding ship traffic pattern at each pier.

The calculations show that a total of about 4400 tons of sediment per year is resuspended from the three areas. This is considerably more than corresponding calculations made according to Tier 2 of the risk guidelines giving a total annual resuspension of about 1000 tons. This is caused by the water depths outside the piers. The areas with depths less than 20 m in the ship lanes are considerably larger than those on which the standard values in Tier 2 are based.

The sediment levels of several contaminants are high, and the effects of propeller resuspension varies with compound. Propeller erosion gives the largest contribution to the total transport of metals from the sediments. This pathway is also important for mobilization of the heavier PAHs and some PCB congeners.

The Klif risk assessment guidelines do not provide acceptance criteria for mobilization alone. Furthermore, they do not cover means to assess the risk of dioxins to the environment or to human health, which is the most important aspect of environmental management of the Grenland fjords. The assessment estimated that the ship traffic at INEOS generates a total transport of sum PCDD/DF dioxins out of the sediments of 1,6 gTE/year, of which about 0,3 gTE/year will be dispersed more widely in the fjord system

If one eliminates the propeller generated resuspension, the mobilisation via diffusion and through the food chain will still for several compounds exceed the mobilisation from a sediment representing "acceptable" ecological risk (i.e. being in Class I or II in the Norwegian classification system).

Estimates by use of the numerical model SF-tools suggest that elimination of the propeller mobilised dioxins from sediments will reduce the time until dioxins in cod liver in the fjord system is within Class II by less than 1 year sometimes around 2034 – 2038.

1. Bakgrunn

Klima- og forurensningsdirektoratet (Klif) har gitt INEOS Norge varsel om pålegg om å ”gjennomføre undersøkelser, risiko- og tiltaksvurdering av forurensningsbidraget til sjø og sjøbunn fra Rafnes industriområdes 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 slik oppvirvling selv fra store båter, skjer i områder grunnere enn ca. 20m, følgelig også for den skipsstørrelsen som anløper INEOS kaianlegg.

2. Metoder og gjennomføring

2.1 Risikovurdering av forurenset sediment

Klif har utarbeidet en veileder for risikovurdering av forurenset sediment (TA-2230/2007, Bakke m. fl. 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.

2.2 Prøvetaking og bakgrunnsdata

Det er gjort en egen bunnprøvetaking utenfor kaianleggene ved Rafnes i forbindelse med denne undersøkelsen. Prøvetakingen ble gjennomført 12/10/09. Prøvene ble innsamlet med en liten håndgrabb av van Veen type. Grabben har luker på oversiden for uttak av overflatesediment. Grabben har et åpningsareal på 0,025 m². Under feltarbeidet ble det samlet prøver fra til sammen 11 stasjoner. Fra hver av stasjonene ble det tatt 4 parallelle grabber. Det ble tatt ut en delprøve fra overflatelaget på ca 0-5 cm fra hver av grabbene, slik at materialet fra hver stasjon består av en representativ blandprøve. Tabell med koordinater, vanndyp og en visuell beskrivelse av sedimentet er vist i **Tabell 1**. Stasjonskart med prøvetakingspunktene avmerket er gitt i **Figur 1**.

Tabell 1. Stasjonsnavn, posisjon, vanndyp og visuell beskrivelse av sedimentprøvene fra Rafnes.

	Lengde	Bredde	Vanndyp	Beskrivelse
St I	59,09718	9,59750	13m	2-3cm olivenbrunt topplag. Mørkere finkornet sediment under. Noen små stein.
St II	59,09738	9,59817	15,5m	2-3cm olivenbrunt topplag. Mørkere finkornet sediment under.
St III	59,09673	9,59948	18m	2-3cm olivenbrunt topplag. Grått finkornet sediment under.
St IV	59,10493	9,58272	12,5m	Sandig brunt sediment iblandet noe grus.
St V	59,10485	9,58368	15,5m	2-3cm olivenbrunt topplag. Finkornet mørk grått sediment under.
St VI	59,10428	9,58720	18,5m	Brunt finkornet sediment.
St VII	59,10527	9,58190	15,5m	0,5 cm brunt finkornet topplag. Grått finkornet sediment under.
St VIII	59,10563	9,58107	18,5m	0,5 cm brunt finkornet topplag. Grått finkornet sediment under.
St IX	59,10030	9,59375	12m	0,5 cm brunt svart finkornet sediment under. Litt grus i en av grabbene.
St X	59,09992	9,59403	15,5m	0,5 cm brunt sandig topplag, mørk grått sediment under.
St XI	59,10272	9,59277	19m	0,5 cm brunt sandig topplag, mørk grått sediment under.

Stasjonskart med prøvetakingspunktene avmerket er vist i **Figur 1**.



Figur 1. Kart som viser stasjonsplassering og stasjonsnummer for sedimentprøvetakingen ved Rafnes industriområde. Alle stasjoner ble analysert for metaller og organiske miljøgifter. Stasjonene markert med hvit sirkel ble i tillegg analysert for dioksiner.

Veilederen oppgir sjablongverdier for oppvirvling av mengde sediment pr. skipsanløp for tre ulike standard kategorier av havner. På grunnlag av opplysninger om dybdeforhold, skipsstørrelser og antall skipsanløp ved de ulike kaiene pr. år gitt av INEOS ved Harald Meløy (Vedlegg B), er disse sjablongverdiene byttet ut med beregnet mengde oppvirvlet sediment som gjenspeiler de lokale

forholdene bedre. Beregningene er gjort i følge Vedlegg A.3 i bakgrunnsdokumentet til risikoveilederen (TA-2231/2007; Bakke m. fl. 2007b).

Risikoveilederen dekker metaller, PAH, PCB, TBT og en rekke andre miljøgifter, men ikke dioksiner som er den sentrale problemstillingen i Grenlandsområdet. Den omfatter bare en økotokstest som reflekterer stoffer med dioksinliknende virkning. Veilederen inneholder følgelig heller ikke akseptgrenser for dioksiner m.h.t. skade på helse og miljø. Hovedproblemstillingen med hensyn til dioksiner er om de utgjør en helseisiko forbundet med konsum av dioksinforurenset sjømat. Vi har derfor på grunnlag av de målte konsentrasjonene i sedimentene beregnet utlekkingen av dioksiner forårsaket av propellerrosjon og vurdert betydningen av dette bidraget for dioksinnivåene i sjømat i Grenlandsfjordene. Beregning av utlekking er gjort etter samme prosedyre som for stoffene som dekkes av risikoveilederen. .

2.3 Analyser

NIVAs laboratorium utførte analysene av PAH, PCB, innhold av finstoff (dvs. vektprosent partikler med kornstørrelse $<63\mu\text{m}$), organisk karbon (TOC), og metaller i sedimenter. Analyser av dioksiner (polyklorerte dibenzofuraner/-dioksiner (PCDF/D)) inklusive non-orto og mono-orto PCB ble gjennomført av Norsk institutt for luftforskning (NILU) ved Martin Schlabach.

2.4 Kaianleggene

Det er oppgitt bakgrunnsdata for skipsanløp for 3 kaianlegg: kai 1, kai 2 og kai 3. Beliggenheten av kaiene med seilingsleder inntegnet er vist på kart i **Figur 2**. Det er gjennomført beregninger av oppvirvling av sediment fra skip som anløper hver av disse kaiene, og for alle kaiene samlet.



Figur 2. Kart med inntegnet innseilings- og utseilingsled til de ulike kaiene ved Rafnes industriområde.

3. Resultater

3.1 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 (TA-2230/2007) 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. 2007c)). 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 de 11 sedimentstasjonene fra kaiene ved Rafnes er lagt inn i Klifs regneverktøy. Fra denne 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 lokal forankring av beregningene i Trinn 2. Klifs pålegg til INEOS innebærer i praksis en Trinn 3 vurdering av risikoen forbundet med propelloppvirvlet sediment.

Tabell 3. Målt sedimentkonsentrasjon for alle stasjoner med maks ($C_{sed, max}$) og gjennomsnittsverdier ($C_{sed, middel}$) sammenlignet med Trinn 1 grenseverdier (hentet fra regnearket). Positive prosentverdier betyr overskridelse. I kolonnen "Tilstandsklasse" tilsvarer romertallene I-V tilstandsklasse ihht Klifs veileder (TA-2229/2007) verdiene er tatt fra kolonnen $C_{sed, middel}$, økende tallverdi angir en forventet økende grad av skade på organismesamfunn i sedimentene.

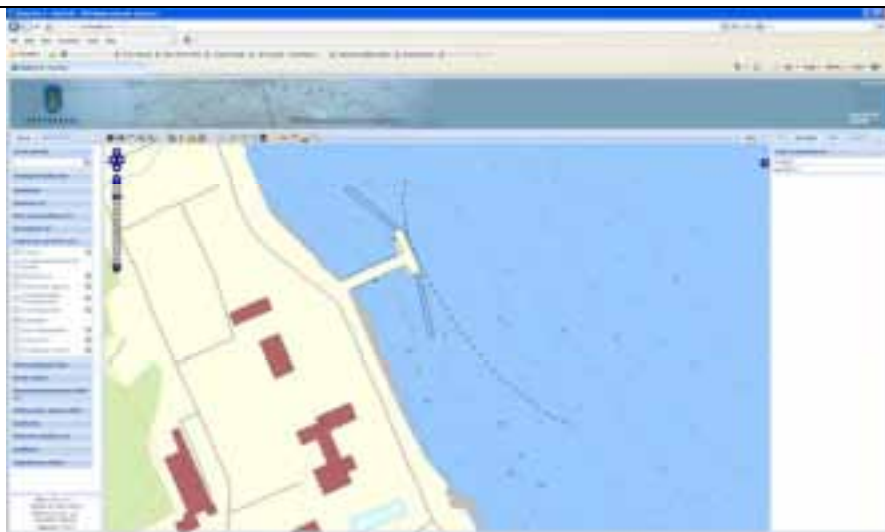
Stoff	Målt sedimentkonsentrasjon			Trinn 1 grenseverdi (mg/kg)	Tilstandsklasse	sedimentkonsentrasjon overskrider trinn 1 grenseverdi med:	
	Antall prøver	$C_{sed, max}$ (mg/kg)	$C_{sed, middel}$ (mg/kg)			Maks	Middel
Arsen	11	15	11,57	52	I	-71 %	-78 %
Bly	11	183	84,2	83	III	120 %	1 %
Kadmium	11	2,2	0,71	2,6	II	-15 %	-73 %
Kobber	11	80,6	40,98	51	II	58 %	-20 %
Krom totalt (III + VI)	11	43,6	22,35	560	I	-92 %	-96 %
Kvikksølv	11	3,73	0,99	0,63	IV	492 %	57 %
Nikkel	11	21,8	17,25	46	I	-53 %	-63 %
Sink	11	335	179,73	360	II	-7 %	-50 %
Naftalen	11	0,18	0,11	0,29	II	-38 %	-63 %
Acenaftylen	11	0,15	0,06	0,033	III	355 %	67 %
Acenaften	11	0,077	0,02	0,16	II	-52 %	-87 %
Fluoren	11	0,056	0,03	0,26	II	-78 %	-87 %
Fenantren	11	0,33	0,23	0,5	II	-34 %	-55 %
Antracen	11	0,12	0,09	0,031	III	287 %	205 %
Fluoranten	11	0,39	0,31	0,17	III	129 %	81 %
Pyren	11	0,49	0,33	0,28	III	75 %	17 %
Benzo(a)antracen	11	0,39	0,31	0,06	IV	550 %	409 %
Krysen	11	0,33	0,28	0,28	II/ III/IV	18 %	-1 %
Benzo(b)fluoranten	11	1	0,74	0,24	IV	317 %	210 %
Benzo(k)fluoranten	11	0,34	0,26	0,21	III	62 %	23 %
Benzo(a)pyren	11	0,61	0,48	0,42	III	45 %	15 %
Indeno(1,2,3-cd)pyren	11	0,57	0,43	0,047	IV	1113 %	811 %
Dibenzo(a,h)antracen	11	0,17	0,12	0,59	II	-71 %	-80 %
Benzo(ghi)perylene	11	0,62	0,45	0,021	V	2852 %	2034 %
SUM PAH ₁₆	11		5,82	2	III		191 %
PCB 28	11	0,0023	0,00077				
PCB 52	11	0,00262	0,00135				
PCB 101	11	0,0086	0,00293				
PCB 118	11	0,0065	0,00201				
PCB 138	11	0,012	0,00382				
PCB 153	11	0,0072	0,00276				
PCB 180	11	0,0057	0,00192				
Sum PCB7	11	4,49E-02	0,01556	0,017	II	164 %	-8 %
Tributyltinn (TBT-ion)	11	4,2	0,70464	0,035	V	11900 %	1913 %
Lindan	11	0,0096	0,00113	0,0011	III	773 %	2 %
Heksaklorbenzen	11	0,17	0,07773	0,0169	IV	906 %	360 %
Pentaklorbenzen	11	0,059	0,02436	0,4	II	-85 %	-94 %

Tabell 3 viser med hvor mange prosent grenseverdien overskrides for både gjennomsnittsnivået av hvert stoff og maksimumsnivået. Negative prosentverdier viser at grenseverdien ikke overskrides. Bly, kvikksølv, enkelte PAH-forbindelser, tributyltinn (TBT) og heksaklorbenzen (HCB) viser overskridelse av betyding.

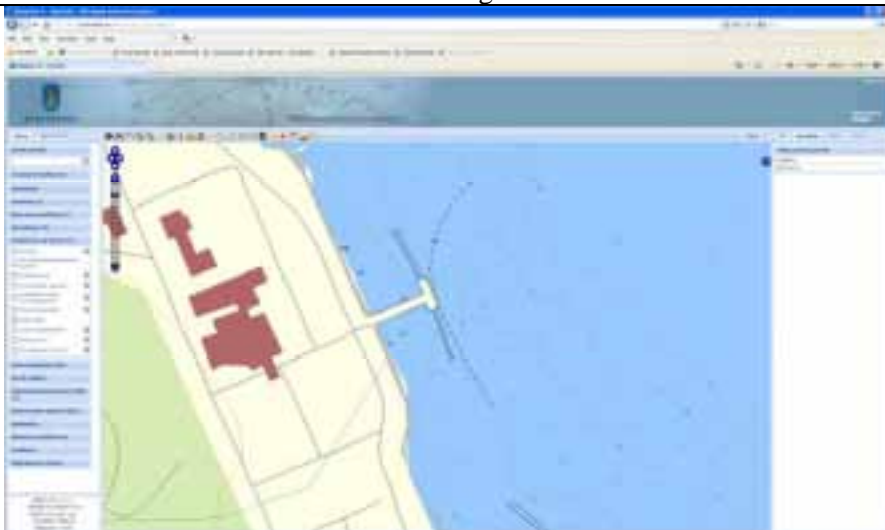
Innholdet av dioksiner i sedimenter inngår ikke i beregningsverktøyet, og blir derfor diskutert separat.

3.2 Beregnet mengde oppvirvlet sediment

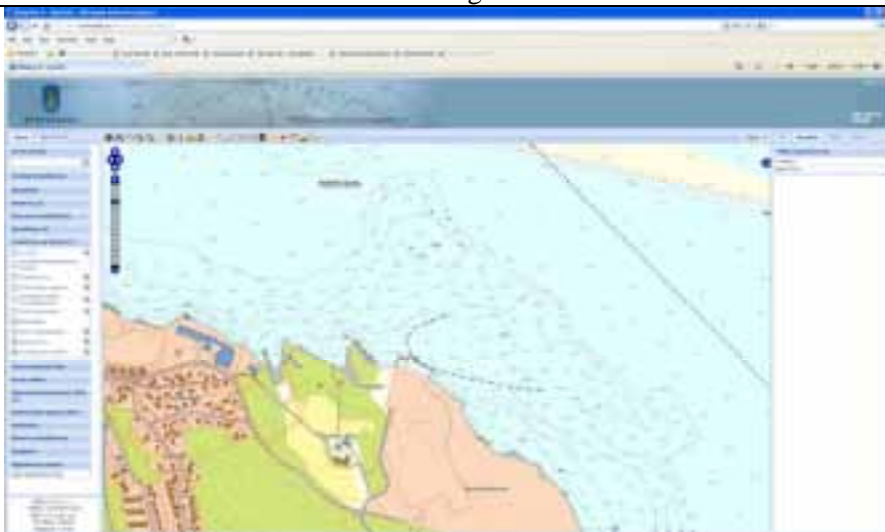
For å vurdere nærmere hvilken effekt propelloppvirvling av sedimenter fra skipsanløp til kaianleggene ved Rafnes bidrar med har vi benyttet framgangsmåten beskrevet i vedlegg A3-4 i bakgrunnsdokumentet (TA-2231/2007) til risikoveilederen. For større båter kan propelloppvirvling virke på arealer ned til ca 20m dyp. Innenfor dette dybdeintervallet beregnes oppvirvlet mengde sediment på basis av traselengde, dypprofil, avstand mellom propell og bunn, skipsbredde, og kornstørrelse av sedimentet. Beregnet trasélengde i de ulike dybdeintervallene er gjort ut fra kartverktøyet til kystverket som er tilgjengelig på "kystverket.no". I **Figur 3** er traseene for dybder under 20m i seilingsledene ved de ulike kaiene vist. Ved en del av anløpene blir fartøyene fulgt av taubåter. Fartøyene går imidlertid for egen maskin, og taubåtene fungerer mest som beredskapsfartøy i tilfelle behov for assistanse. Eventuelle bidrag fra propelloppvirvling fra taubåter som gir assistanse er ikke med i beregningene. Beregnet mengde oppvirvlet sediment for de ulike kaiene er vist i **Tabell 4**.



Kai 1 Samlet traselengde <20m = 450m



Kai 2 Samlet traselengde <20m = 270m



Kai 3. samlet traselengde <20m = 500m

Figur 3. Kart som viser traseene inn og ut fra de ulike kaiene for dybder under 20m (stiplet linje). Traselengden er skrevet inn under hvert kart. Kartgrunnlag: kystverket.no.

Tabell 4. Beregning av oppvirvlet mengde sediment (kg tørrvekt) pr. skipsanløp ($m_{\text{sed pr. anløp}}$) og total mengde oppvirvlet sediment pr. år ved skipsanløp ($m_{\text{sed pr. år}}$) for de ulike kaiene ved Rafnes industriområde. Traselengde (T_{ri}) er oppgitt som sum traselengde ved ankomst og avgang fra ett kaianlegg. Total mengde oppvirvlet sediment ved anløp og avgang er oppgitt i tonn (tørrvekt pr./år).

Lokalitet	D_i	Pd	Br	f_{si}	T_{ri}	$m_{\text{sed pr anløp}}$	ant. skipsanløp pr/år	$m_{\text{sed pr. år}}$
Kai 1	7,5				0		0	0
Kai 1	12,5	4,5	12,5	0,59	200	2774	103	285693
Kai 1	12,5	6,5	17,5	0,59	200	5548	77	427174
Kai 1	12,5	8,5	30,0	0,59	200	15724	19	298747
Kai 1	17,5	4,5	12,5	0,78	250	2510	103	258579
Kai 1	17,5	6,5	17,5	0,78	250	4324	77	332918
Kai 1	17,5	8,5	30,0	0,78	250	9506	19	180613
Sum								1783724
Kai 2	7,5				0		0	0
Kai 2	12,5	4,5	12,5	0,58	200	2727		0
Kai 2	12,5	6,5	17,5	0,58	200	5454	55	299952
Kai 2	12,5	8,5	20,0	0,58	200	10305	53	546149
Kai 2	17,5	4,5	12,5	0,82	70	739		0
Kai 2	17,5	6,5	17,5	0,82	70	1273	55	69998
Kai 2	17,5	8,5	20,0	0,82	70	1865	53	98869
Sum								1014968
Kai 3	7,5				0		0	0
Kai 3	12,5	4,5	12,5	0,5	100	1175	33	38785
Kai 3	12,5	6,5	17,5	0,5	100	2351	101	237423
Kai 3	12,5	8,5	21,0	0,5	100	4664	43	200542
Kai 3	17,5	4,5	12,5	0,69	400	3553	33	117259
Kai 3	17,5	6,5	17,5	0,69	400	6120	101	618077
Kai 3	17,5	8,5	21,0	0,69	400	9418	43	404984
Sum								1617069
Sum kg/år								4415762
Totalsum mengde oppvirvlet sediment ved avgang og anløp (Tonn/år)								4416

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

Tabell 4 viser at skipsanløp til kai 1 gir det største bidraget til den totale mengde oppvirvlede sedimenter. Dette skyldes både at denne kaia har flest skipsanløp, og at farleden inn til denne kaia har lengst strekk med dybder mindre enn 15m. Dette medfører at det er større arealer som blir påvirket av oppvirvling ved anløp og avganger til denne kaia. Estimert total mengde oppvirvlet sediment blir 4416 tonn/år. Til sammenlikning er mengden oppvirvlet sediment estimert til 968 tonn/år ved å benytte risikoveilederens sjablongverdi for industrihavn (**Tabell 5**), dvs ca en fjerdedel av den lokalt bedre forankrede verdien i **Tabell 4**. Dersom en bruker sjablongverdiene for stor havn blir beregnet mengde oppvirvlet sediment 1936 tonn/år.

Trinn 3 beregningene vist i **Tabell 4** gir altså betydelig høyere oppvirvlet mengde enn beregningene i Trinn 2. En av årsakene til dette er at Trinn 2 baserer seg på en traselengde på 40 m i hver av de tre dybdekategoriene, mens den utenfor Rafnes er betydelig lengre (T_{ri} i **Tabell 4**).

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

Lokalitet	ant. skipsanløp pr/år	Sjablongverdi industrihavn	Totalsum (tonn)
Kai 1	199	1000kgx2	398
Kai 2	108	1000kgx2	216
Kai 3	177	1000kgx2	354
Total mengde oppvirvlet sediment ved skipsanløp og avgang (Tonn t.v./år)			968

3.3 Beregnet spredning av miljøgifter i risikoveilederen

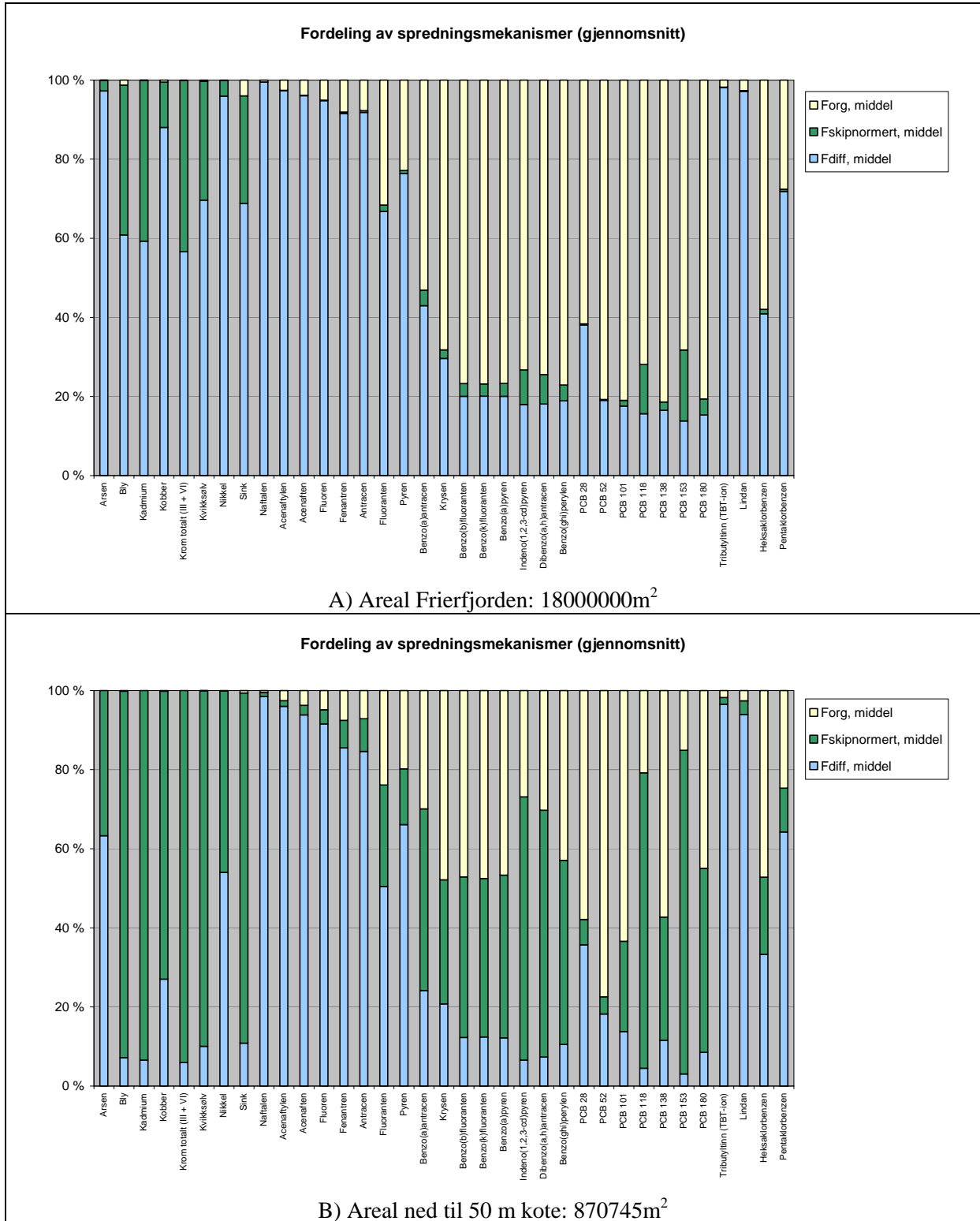
Ut fra et gjennomsnitt på ca 4000 kg sediment pr.anløp tatt fra Trinn 3 beregningen ovenfor har vi beregnet den totale propellgenererte spredningen. Dette gir et mer nøyaktig estimat av betydningen av propelloppvirvling i forhold til spredning fra de andre spredningsveiene (diffusjon og via opptak i organismer), enn om man baserer seg på de 1000 eller 2000 kg pr anløp som ble beregnet i Trinn 2. De andre 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}	Anvendt verdi	Begrunnelse
Antall skipsanløp per år, N_{skip}	484	Oppgitt av INEOS
Mengde oppvirvlet sediment per anløp, m_{sed} [kg]	4000	Verdi fra beregnet spredning i vedlegg A3-4
Sedimentareal påvirket av oppvirvling, A_{skip} [m ²]	338760	Areal < 20m utenfor kaianleggene
Fraksjon suspendert $f_{\text{susp}} = \text{sedimentfraksjon} < 2\mu\text{m}$	0,13	20% av andel < 63 μm er benyttet

Det er gjort to beregninger, en som viser betydningen av propelloppvirvling ved Rafnes i forhold til miljøgiftspredningen fra et areal som tilsvarer hele Frierfjorden, og en i forhold til miljøgiftspredningen fra arealet ned til 50m dyp utenfor kaianleggene. Disse arealene er først og fremst valgt som illustrasjon siden det ikke er naturlig avgrensede risikoområder utenfor kaiene ved Rafnes. Siden traseene for ankomst og avgang for kai 1 og kai 2 overlapper delvis er det valgt å gjøre de videre spredningsberegningene ut fra de samlede skipsanløp ved de tre kaianleggene. Resultatet av beregningene er vist i **Figur 4**. F_{org} er spredning gjennom opptak i organismer som lever i sedimentene, mens F_{diff} er spredning av miljøgifter forårsaket av diffusjon ut fra sedimentene.

Resultatene i **Figur 4** viser at propelloppvirvling har størst relativ betydning for spredning av metaller, enkelte PCB forbindelser og PAH forbindelsene benzo(a)antracen, indeno(123-cd)pyren, dibenzo(a,h)antracen og benzo(ghi)perylene. For de resterende organiske miljøgiftene har spredning ved diffusjon og gjennom næringskjeden størst betydning.



Figur 4. Relativ betydning av de ulike spredningsveiene for ulike miljøgifter fra kaiene ved Rafnes industriområde. Bidraget fra propelloppvirvling ($F_{\text{skipnormert}}^1$) er vist i forhold til de andre spredningsmekanismene. Beregningene er utført mot to influensområder A) Frierfjorden og B) areal ned til 50m dybde utenfor kaianleggene.

¹ Normert til samme areal som påvirkes av de øvrige spredningsmekanismene.

I **Tabell 7** er total mengde av forbindelser som spres fra propelloppvirvling beregnet som kg/år. Største beregnede tilførsel er for sink med 35 kg/år (av totalt 117,5 kg/år) og bly med 16,5 kg/år (av totalt 52,5 kg/år). Propellgenerert spredning er under 1 kg/år for de ulike organiske miljøgiftene og for TBT.

Tabell 7. Beregnet total mengde av de ulike forbindelsene som spres fra sedimentene utenfor Rafnes totalt og pga propelloppvirvling. Verdiene er basert på gjennomsnittlige sedimentkonsentrasjoner og er hentet fra regnearket i veilederen.

	Ftot, middel [mg/m ² /år]	Fskipnormert, middel [mg/m ² /år]	sum skipsnormert oppvirvlet kg/år
Arsen	18,44	6,77	2,3
Bly	52,56	48,70	16,5
Kadmium	0,44	0,41	0,1
Kobber	32,64	23,77	8,1
Krom totalt (III + VI)	13,74	12,93	4,4
Kvikksølv	0,64	0,57	0,2
Nikkel	21,95	10,08	3,4
Sink	117,49	104,01	35,23
Naftalen	19,445	0,197	0,07
Acenaftylen	4,569	0,066	0,02
Acenaften	0,712	0,017	0,01
Fluoren	0,689	0,025	0,01
Fenantren	2,116	0,147	0,05
Antracen	0,725	0,060	0,02
Fluoranten	0,707	0,182	0,06
Pyren	1,405	0,198	0,07
Benzo(a)antracen	0,387	0,178	0,06
Krysen	0,513	0,161	0,05
Benzo(b)fluoranten	1,063	0,431	0,15
Benzo(k)fluoranten	0,373	0,149	0,05
Benzo(a)pyren	0,678	0,279	0,09
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,372	0,248	0,08
Dibenzo(a,h)antracen	0,111	0,069	0,02
Benzo(ghi)perylene	0,558	0,260	0,09
PCB 28	0,00745	0,00048	0,00016
PCB 52	0,01901	0,00082	0,00028
PCB 101	0,00747	0,00171	0,00058
PCB 118	0,00156	0,00116	0,00039
PCB 138	0,00712	0,00222	0,00075
PCB 153	0,00195	0,00160	0,00054
PCB 180	0,00239	0,00111	0,00038
Tributyltinn (TBT-ion)	85,95	1,45	0,49016
Lindan	0,02842	0,00099	0,00033
Heksaklorbenzen	0,23553	0,04590	0,01555
Pentaklorbenzen	0,13632	0,01507	0,00511

3.4 Beregnet spredning av dioksiner fra skipstrafikken

Det ble også analysert for dioksiner på seks sedimentstasjoner fra Rafnes, se **Figur 1**. Dioksininnholdet (PCDD/F TEQ) i hver av de 6 prøvene og gjennomsnittlig dioksininnhold for sedimentene er gitt i **Tabell 8**.

Tabell 8. Innhold av dioksiner i sedimentprøvene fra Rafnes. Enhetene er gitt som Toksisitetsekvivalenter (TEQ,WHO 2005) og både som pg/g og µg/kg.

	PCDD/DF (TE WHO 2005)	PCDD/DF (TE WHO 2005)
kai 1 II	1848 pg/g	1,848µg/kg
Kai 1III	3346 pg/g	3,3346µg/kg
kai 2 X	1228 pg/g	1,228µg/kg
kai 2 XI	2060 pg/g	2,060µg/kg
kai 3 V	9366pg/g	9,366µg/kg
kai 3 VI	1235pg/g	1,235µg/kg
sum	19083 pg/g	19,083µg/kg
gj.snitt	3180,5pg/g	3,181µg/kg
gj. snitt	3180500 pg/kg	3,1805µg/kg

I følge Klifs veileder TA-2229/2007 blir konsentrasjonen av PCDD/F klassifisert til tilstandsklasse V (Svært dårlig). Nedre grense for tilstandsklasse V er 0,5 µg/kg. Sedimentene utenfor Rafnes overstiger denne verdien med en faktor fra 2,5 til 18,7. Det bør understrekes at klassifiseringen av dioksiner ikke er endret siden forrige klassifiseringsveileder (SFT TA-1467/1997), og er følgelig ikke basert på toksisitet av stoffene.

3.4.1 Beregnet årlig oppvirvling og spredning av dioksiner fra propeller

I utgangspunktet er det ikke mulig å bruke risikoveilederen til å regne ut dioksinoppvirvlingen fra skipspropeller siden det ikke er oppgitt Kd for dioksiner. I forrige utgave av veilederen (SFT TA-2085/2005) er det oppgitt en Kd på 4059 l/kg for en av forbindelsene, 2378 TCDD, slik at oppvirvlingen av denne kan beregnes. Gjennomsnittlig konsentrasjon av 2378 TCDD i de seks sedimentprøvene i **Tabell 8** er 82,03 pgTE/g (gjennomsnittlig totalkonsentrasjon av dioksiner er 3180,5 pgTE/g). Andelen av 2378 TCDD varierte lite mellom prøvene og var i gjennomsnitt 2,3 % (st.dev ±0,4 %) av sum PCDD/F.

Når et gjennomsnitt på 4000 kg sediment oppvirvlet pr skipsanløp fra Vedlegg A3 legges til grunn, kan vi beregne mengde oppvirvlet 2378 TCDD etter formelen i risikoveilederens Faktaboks 6:

$$(2 \times 484 \times 4000 \times 82,03 \times (0,002+0,13))/(1000 \times 338760) = 0,12 \mu\text{gTE}/\text{m}^2/\text{år}. \quad (1)$$

Dette gir en total oppvirvling av 2378 TCDD fra hele arealet som påvirkes av skipstrafikken på 0,042 gTE/år. Hvis vi videre regner at andelen 2378 TCDD av sum PCDD/DF er 2,3 %, betyr dette at det tilsvarende virvles opp 1,82 gTE/år av sum PCDD/F.

I formel (1) benyttes Kd bare til å beregne fraksjon vannløst dioksin (0,002). I forhold til fraksjon suspendert (0,13) er dette ubetydelig. Selv ved bruk av lokalt målte Kd-verdier for alle dioksinforbindelsene (Cornelissen et al 2010), utgjør fraksjon løst bare ca 2-5 % av fraksjon suspendert. Med de usikkerhetene som ligger i beregningene generelt bør man derfor kunne utelukke fraksjonen løst dioksin uten at resultatet blir nevneverdig påvirket. Da blir beregningen uavhengig av Kd og kan gjøres på samme måte direkte for sum PCDD/DF (3180,5 pgTE/g):

$$(2 \times 484 \times 4000 \times 3180,5 \times 0,13)/(1000 \times 338760) = 4,72 \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{år} \quad (2)$$

eller 1,6 g/år for hele det skipspåvirkede arealet. De to beregningsmåtene gir altså sammenfallende resultat.

3.4.2 Tid for å tømme lageret av dioksiner med denne oppvirvlingen

En kontroll på sannsynligheten av beregnet oppvirvling er å se hvor fort lageret av dioksiner som er i sedimentet vil tømmes. Ved å bruke samme framgangsmåte som i Risikoveilederens Faktaboks 11 kan en beregne tiden det teoretisk tar å tømme sedimentene, dersom nye tilførsler stoppes. Lageret av sum PCDD/F i de øvre 10 cm utenfor Rafnes er på 2035 $\mu\text{gTE}/\text{m}^2$ beregnet ut fra gjennomsnittskonsentrasjonen av sum PCDD/F i sedimentet på 3,18 $\mu\text{gTE}/\text{kg}$ tv, antatt vanninnhold på 60 % og en tetthet på vått sediment på 1,6 kg/l. Med en envegs oppvirvling som beregnet ovenfor på 4,72 $\mu\text{gTE}/\text{m}^2/\text{år}$ vil det ta 431 år å tømme lageret. Dette er så lang tid at den beregnede oppvirvlingen er realistisk. Dersom tiden det tar å tømme lageret hadde vist seg å ta veldig kort tid ville det betydd at utlekkingen var overestimert.

3.5 Risikovurdering

3.5.1 Stoffer som dekkes av risikoveilederen

Risikoveilederen angir ikke noen allmenne akseptgrenser for spredning alene, og det finnes heller ikke lokale akseptkriterier for spredning. Veilederen foreslår imidlertid 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 er vist i **Tabell 9** for de ulike stoffene bortsett fra dioksiner. Det må understrekes at overskridelsene i seg selv ikke sier noe om risikoen for effekter på helse og miljø. Tabellen viser at det blant metallene bare er kvikksølv som overskrider "tillatt spredning" i en grad av betydning. Det er også overskridelser for 5 PAH-forbindelser, tributyltinn (TBT) og heksaklorbenzen. **Tabell 9** viser overskridelser mht total spredning ut fra sedimentene, ikke bare spredning som skyldes propelloppvirvling. Ved å se på verdiene i kolonnen $F_{\text{skipsnormert, middel}}$ i **Tabell 10** finner en den prosentvise betydningen av propelloppvirvling for spredning av de ulike forbindelsene. For kvikksølv skyldes ca 90 % av overskridelsen spredning ved propelloppvirvling.

Fem av PAH forbindelsene viser overskridelse, mest for benzo(ghi)perylene. Her bidrar propelloppvirvling med 46,5 %. Overskridelsen er også høy for benzo(a)antracen og indeno(123-cd)pyren, hvor propellerasjon bidrar med hhv 46 og 67 % (**Tabell 10**).

Propelloppvirvling har liten betydning for spredningen av tributyltinn og utgjør ca 2 % av total spredning. For heksaklorbenzen utgjør propelloppvirvling ca 20 % av den totale spredningen.

Ved å beregne tilsvarende overskridelser når spredningen fra skipstrafikken er trukket fra, vil man få inntrykk av virkningen det å forhindre propelloppvirvling har for risikobildet. Det er vist i **Tabell 11** for stoffene som viste overskridelse i **Tabell 9**. Beregningene viser at det for tre av PAH-forbindelsene, TBT og HCB fortsatt er overskridelse i forhold til et sediment som tilfredsstillende Trinn 1. Med andre ord vil ikke det å eliminere propelloppvirvlingen utenfor kaiene være nok til å redusere spredningsrisikoen til såkalt "akseptabel".

Tabell 9. Beregnet total spredning av miljøgifter fra sedimentet samt overskridelse av spredning fra et tenkt sediment som akkurat tilfredsstillers risikoveilederens Trinn 1. Positive prosentverdier betyr overskridelse.

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	2,39E+01	1,84E+01	8,29E+01	-71 %	-78 %
Bly	1,14E+02	5,26E+01	5,18E+01	120 %	1 %
Kadmium	1,36E+00	4,42E-01	1,61E+00	-15 %	-73 %
Kobber	6,42E+01	3,26E+01	4,06E+01	58 %	-20 %
Krom totalt (III + VI)	2,68E+01	1,37E+01	3,44E+02	-92 %	-96 %
Kvikksølv	2,40E+00	6,37E-01	4,05E-01	492 %	57 %
Nikkel	2,77E+01	2,19E+01	5,85E+01	-53 %	-63 %
Sink	2,19E+02	1,17E+02	2,35E+02	-7 %	-50 %
Naftalen	3,25E+01	1,94E+01	1,43E+02	-77 %	-86 %
Acenaftalen	1,24E+01	4,57E+00	7,45E+00	67 %	-39 %
Acenaften	2,69E+00	7,12E-01	1,51E+01	-82 %	-95 %
Fluoren	1,15E+00	6,89E-01	1,44E+01	-92 %	-95 %
Fenantren	3,08E+00	2,12E+00	1,23E+01	-75 %	-83 %
Antracen	9,21E-01	7,25E-01	6,21E-01	48 %	17 %
Fluoranten	8,95E-01	7,07E-01	8,97E-01	0 %	-21 %
Pyren	2,10E+00	1,41E+00	3,01E+00	-30 %	-53 %
Benzo(a)antracen	4,94E-01	3,87E-01	1,48E-01	234 %	162 %
Krysen	6,12E-01	5,13E-01	1,14E+00	-46 %	-55 %
Benzo(b)fluoranten	1,43E+00	1,06E+00	6,99E-01	105 %	52 %
Benzo(k)fluoranten	4,93E-01	3,73E-01	6,23E-01	-21 %	-40 %
Benzo(a)pyren	8,60E-01	6,78E-01	1,20E+00	-28 %	-44 %
Indeno(1,2,3-cd)pyren	4,96E-01	3,72E-01	6,47E-02	666 %	475 %
Dibenzo(a,h)antracen	1,58E-01	1,11E-01	9,07E-01	-83 %	-88 %
Benzo(ghi)perylene	7,72E-01	5,58E-01	5,06E-02	1428 %	1004 %
PCB 28	2,23E-02	7,45E-03			
PCB 52	3,70E-02	1,90E-02			
PCB 101	2,19E-02	7,47E-03			
PCB 118	5,04E-03	1,56E-03			
PCB 138	2,24E-02	7,12E-03			
PCB 153	5,09E-03	1,95E-03			
PCB 180	7,10E-03	2,39E-03			
Sum PCB7	1,21E-01	4,70E-02			
Tributyltinn (TBT-ion)	5,12E+02	8,60E+01	1,17E+01	4293 %	637 %
Lindan	2,42E-01	2,84E-02			
Heksaklorbenzen	5,15E-01	2,36E-01	1,23E-01	318 %	91 %
Pentaklorbenzen	3,30E-01	1,36E-01	5,73E+00	-94 %	-98 %

Tabell 10. Prosentvis fordeling av betydningen av de ulike spredningsveiene for miljøgifter fra sedimenter. Diffusjon $F_{diff,middel}$, propelloppvirvling $F_{skipnormert,middel}$ og spredning vha organismer $F_{org,middel}$. Tabellen er hentet fra risikoveilederens regneark.

Stoff	Prosentvis fordeling, middel		
	$F_{diff,middel}$	$F_{skipnormert,middel}$	$F_{org,middel}$
Arsen	63,3	36,7	0,0
Bly	7,2	92,6	0,2
Kadmium	6,6	93,4	0,0
Kobber	27,0	72,8	0,2
Krom totalt (III + VI)	5,9	94,1	0,0
Kvikksølv	10,1	89,9	0,0
Nikkel	54,0	45,9	0,1
Sink	10,8	88,5	0,6
Naftalen	98,5	1,0	0,5
Acenaftalen	96,0	1,5	2,5
Acenaften	93,8	2,4	3,8
Fluoren	91,5	3,6	4,9
Fenantren	85,5	6,9	7,6
Antracen	84,6	8,3	7,1
Fluoranten	50,4	25,7	23,9
Pyren	66,1	14,1	19,8
Benzo(a)antracen	24,2	45,9	29,9
Krysen	20,8	31,4	47,9
Benzo(b)fluoranten	12,3	40,6	47,1
Benzo(k)fluoranten	12,4	40,0	47,6
Benzo(a)pyren	12,2	41,1	46,7
Indeno(1,2,3-cd)pyren	6,6	66,6	26,9
Dibenzo(a,h)antracen	7,4	62,4	30,3
Benzo(ghi)perylene	10,5	46,5	42,9
PCB 28	35,7	6,4	57,9
PCB 52	18,2	4,3	77,4
PCB 101	13,8	22,9	63,4
PCB 118	4,5	74,6	20,8
PCB 138	11,6	31,2	57,2
PCB 153	3,1	81,8	15,1
PCB 180	8,5	46,5	44,9
Tributyltinn (TBT-ion)	96,5	1,7	1,8
Lindan	93,9	3,5	2,6
Heksaklorbenzen	33,3	19,5	47,2
Pentaklorbenzen	64,3	11,1	24,7

Tabell 11. Beregnet spredning fra sedimentet utenfor Rafnes uten propelloppvirvling, og overskridelse i forhold til totalspredningen fra et sediment som akkurat tilfredsstillir Trinn 1.

Stoff	$F_{tot,middel}$	% bidrag fra skip	$F_{skip,middel}$	$F_{diff+org}$	Aksept-grense	Overskridelse uten $F_{skip,middel}$
Pb	5,26E+01	92,6	4,87E+01	3,89E+00	5,18E+01	-92 %
Hg	6,37E-01	89,9	5,73E-01	6,43E-02	4,05E-01	-84 %
Antracen	7,25E-01	8,3	6,02E-02	6,65E-01	6,21E-01	7 %
Benzo(a)antracen	3,87E-01	45,9	1,78E-01	2,09E-01	1,48E-01	41 %
Benzo(b)fluoranten	1,06E+00	40,6	4,30E-01	6,30E-01	6,99E-01	-10 %
Indeno(1,2,3-cd)pyren	3,72E-01	66,6	2,48E-01	1,24E-01	6,47E-02	92 %
Benzo(ghi)perylene	5,58E-01	46,5	2,59E-01	2,99E-01	5,06E-02	490 %
TBT	8,60E+01	1,7	1,46E+00	8,45E+01	1,17E+01	623 %
HCB	2,36E-01	19,5	4,60E-02	1,90E-01	1,23E-01	54 %

3.5.2 Risikovurdering av dioksinoppvirvlingen

Spredningen i forhold til spredningen fra et sediment i Trinn 1 kan ikke gjøres for dioksiner, og bekymringen mht dioksiner er heller ikke om de gir økologiske effekter, men om de utgjør en helseisiko forbundet med konsum av dioksinforurenset sjømat. Vi har derfor gjort en risikovurdering av propelloppvirvlede dioksiner fra denne synsvinkelen. Dette innebærer en vurdering av spredningsmønster etter oppvirvling og konsekvenser av dette.

Vi kan forvente at den resuspenderte finfraksjonen fra skipspropeller i stor grad vil havne i brakkvannslaget og øvre del av mellomlaget, dvs 0-10 m dyp. Det er ulik erfaring med hvor høyt opp partiklene spres, men transport helt til overflata er observert i mange tilfeller (bl.a. Jotun, Kristiansand havn). Brakkvannslaget sirkulerer i Frierfjorden i retning mot klokka, drevet av Skienselva, samtidig som det tappes ut over Brevikterskelen. Tidligere strømmålinger (Molvær et al. 1976, Bakke et al 2010) indikerer typiske strømhastigheter på opp til 5 cm/s i brakkvannslaget utenfor Rafnes, med hovedretning mot SØ. Oppholdstiden av brakkvannet i Frierfjorden er typisk 2-3 døgn, men bare 6-10 timer i den direkte utgående brakkvannsstrømmen. Oppholdstiden i mellomlaget er anslått til 2-4 uker. Skjønsmessig bør vi kunne regne at vannet som mottar det suspenderte sedimentet har en oppholdstid i Frierfjorden på et par døgn. I denne tiden vil noe av partiklene kunne synke ut og forbli i Frierfjorden. Synkehastigheten på leirfraksjonen er teoretisk under 1 m/døgn etter Stokes lov, men flokkulering og aggregering av leirpartikler kan gi betydelig høyere synkehastighet (faktor 10-100). Sedimentet som virvles opp vil i stor grad være aggregererte partikler, så det er sannsynlig at synkehastigheten er større enn den teoretiske. Målinger ved manøvrering av de store fergene i Oslo havn (Magnusson 1995) viste en ca 85-90 % reduksjon i turbiditeten i løpet av de første 3 timene etter en hendelse. Det vites ikke hvor mye av dette som skyldtes utsynking og hvor mye som skyldtes spredning, men vi kan forvente at mye av det som virvles opp vil sedimentere lokalt, en del også i Frierfjorden for øvrig. Vi har anslått at ca 20 % (0,3 gTE/år) transporteres ut over Brevikterskelen, men det understrekes at grunnlaget for anslaget er meget svakt.

3.5.3 Hva betyr beregnet dioksinoppvirvling for dioksinutviklingen i Grenlandsfjordene?

NIVA har tidligere ved bruk av den numeriske modellen SF-tools modellert hva en ny tilførsel av dioksiner til Frierfjorden på 0,1; 0,3 og 1 gTE/år kan bety for utviklingen av dioksinnivå i fisk og skalldyr. Disse beregningene kan også brukes til å illustrere mulig gevinst ved å fjerne tilførsel, m.a.o. om vi eliminerer propelloppvirvlingen ved Rafnes. Modelleringen viste at med dagens tilførsel av dioksiner vil torskelever fra Frierfjorden tilfredsstille Klif klasse II (moderat forurenset) en gang mellom år 2028 og 2044 (median år 2034) og lever fra ytre fjord en gang mellom 2024 og 2045 (median år 2032). Vi har ovenfor vurdert det som realistisk at 0,3 gTE/år av dioksiner går i omløp i fjordsystemet fra oppvirvling ved Rafnes. Dersom denne oppvirvlingen fjernes, viser modellberegningene at mediantidspunktet der Klifs klasse II blir tilfredsstilt framskyndes med ca 1 år i Frierfjorden og med under 1 år i ytre område, en gang rundt år 2032-2034.

3.6 Oppsummering

Ved å benytte Klifs risikoveileder for forurenset sediment sammen med tilleggsopplysninger fra INEOS angående skipsstørrelse, antall anløp og dybdeforhold i traseene for skipsanløp (Trinn 3-vurdering), har det blitt beregnet hvor mye sediment som virvles opp ved et skips anløp og avgang til hver enkelt kai og samlet for alle kaiene (**Tabell 4**). Beregningene viser at mengde oppvirvlet sediment fra kaianleggene ved Rafnes i løpet av ett år er på ca. 4416 tonn. Beregninger basert på risikoveilederens sjablongverdier for en typisk industrihavn gir tilsvarende 968 tonn/år. Trinn 3 gir altså et betydelig høyere estimat av mengde sediment oppvirvlet fra propeller. Dette skyldes først og fremst lengre traseer i inn- og utseilingsledene til de ulike kaiene med dybdeforhold grunnere enn 20m.

Konsentrasjonene av de fleste tungmetaller i sedimentene ved kaianleggene ved Rafnes var lave (tilstandsklasse I og II). Bly og kvikksølv lå i klasse III og overskred grenseverdiene for risikoveilederens Trinn 1 med hhv 1% og 57%. Generelt hadde oppvirvling fra skipspropeller størst betydning for spredningen av metallene, men var også viktig for spredningen av de tyngre PAH-forbindelsene og flere av PCB-forbindelsene (**Figur 4, Tabell 10**).

Det er ikke etablert grenseverdier for akseptabel/uakseptabel spredning av miljøgifter fra sediment, bare for spredningens videre påvirkning på helse og miljø. Veilederen foreslår imidlertid en sammenlikning med spredningen fra et tenkt sediment med akseptabel forurensningsgrad, dvs med konsentrasjoner tilsvarende grenseverdien mellom Klifs tilstandsklasse II og III. Vi har brukt spredningen fra et slikt tenkt sediment som grenseverdi for akseptabel/uakseptabel spredning. Selv om man eliminerer spredningen forårsaket av propeller ville den resterende miljøgiftspredningen fra sedimentene via diffusjon og opptak i organismer overskride disse grenseverdiene for fire av PAH-forbindelsene, TBT og HCB (**Tabell 11**).

Veilederen dekker ikke risikoen knyttet til spredning av dioksiner eller dioksinlignende forbindelser. Beregningene viser at det totalt virvles opp ca 1,6 gTE/år dioksiner fra skipstrafikken og at sannsynligvis ca 0,3gTE/år spres til fjordsystemet som helhet. Risikoen av tilførselen knyttes til akkumulering i sjømat. Fjerner man det som er den mest realistiske dioksintilførselen fra propelloppvirvlingen er gevinsten i form av at sjømat blir raskere ren, beregnet til omtrent 1 år eller mindre en gang rundt år 2032-2034.

4. Referanser

- 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.
- Bakke, T., Molvær, J., Saloranta, T., Tønnesen, D., Sandbakken, M., Brooks, S. 2010. Konsekvensutredning for produksjonsanlegg for silika og magnesium på Herøya, Porsgrunn. NIVA-Rapport l.nr. 5873-2009. 108 s.
- Cornelissen, G., Broman, D., Næs, K. 2010. Freely dissolved PCDD/F concentrations in the Frierfjord, Norway: comparing equilibrium passive sampling with “active” water sampling. *J Soils Sediment*, 10, 162-171.
- Magnusson, J. 1995. Vurdering av effect av propellstrøm fra fartøypå sedimenter I Oslo havn. NIVA-Rapport l.nr.: 3218-1995.
- Molvær, J., Green, N. og Kjellberg, F., 1976. Resipientundersøkelse av nedre Skienselva, Frierfjorden og tilliggende fjordområder. Rapport 4. Framdriftsrapport fra undersøkelser av vannutskiftningen i fjordområdene mars 1974-desember 1975. NIVA-rapport 792-1976. 99 sider.
- Næs, K. Saloranta, T., Nilsson, H.C., Cornelissen, G., og Broman, D. 2009. Undersøkelser for å styrke modeller knyttet til beslutningsstøtte for tiltak mot forurensete sedimenter i Grenlandsfjordene. NIVA-Rapport l.nr.: 5737-2009. 122s.

Vedlegg A. Analyseresultater

Results of PCDD/PCDF and nonortho-PCB Analysis



Encl. to measuring report: O-6546
 NILU sample number: 09/3070
 Customer: NIVA v/Jarle Håvardstun
 Customers sample ID: Kai 1 II
 : O-29369
 Sample type: Sediment
 Sample amount: 0,51 g
 Concentration units: pg/g
 Data files: VB741_30-11-09_diox

Total sample amount:

Compound	Concentration pg/g	Recovery %	TE(nordic) pg/g	TE (1998) pg/g	TE (2005) pg/g		
Dioxins							
2378-TCDD	40,2	68	40,2	40,2	40,2		
12378-PeCDD	190	70	95,0	190	190	2378-TCDD	40,2
123478-HxCDD	169	78	16,9	16,9	16,9	12378-PeCDD	190
123678-HxCDD	302	75	30,2	30,2	30,2	123478-HxCDD	169
123789-HxCDD	270		27,0	27,0	27,0	123678-HxCDD	302
1234678-HpCDD	1 826	72	18,3	18,3	18,3	123789-HxCDD	270
OCDD	4 704	68	4,70	0,47	1,41	1234678-HpCDD	1 826
SUM PCDD			232	323	324	OCDD	4 704
Furanes							
2378-TCDF	1 097	66	110	110	110	2378-TCDF	1 097
12378/12348-PeCDF	1 766	*	17,7	88,3	53,0	12378/12348-PeCDF	1 766
23478-PeCDF	668	70	334	334	200	23478-PeCDF	668
123478/123479-HxCDF	4 600	74	460	460	460	123478/123479-HxCDF	4 600
123678-HxCDF	2 826	69	283	283	283	123678-HxCDF	2 826
123789-HxCDF	1 463	*	146	146	146	123789-HxCDF	1 463
234678-HxCDF	625	79	62,5	62,5	62,5	234678-HxCDF	625
1234678-HpCDF	13 164	68	132	132	132	1234678-HpCDF	13 164
1234789-HpCDF	6 019	*	60,2	60,2	60,2	1234789-HpCDF	6 019
OCDF	58 223	78	58,2	5,82	17,5	OCDF	58 223
SUM PCDF			1 663	1 681	1 524	TE(WHO) PCDD	324
SUM PCDD/PCDF			1 895	2 004	1 848	TE(WHO) PCDF	1 524
nonortho - PCB							
33'44'-TeCB (PCB-77)	96,8	72		0,01	0,01	TE(WHO) PCB	5,28
344'5'-TeCB (PCB-81)	16,4			0,00	0,00	PCB-77	96,8
33'44'5'-PeCB (PCB-126)	44,3	72		4,43	4,43	PCB-81	16,4
33'44'55'-HxCB (PCB-169)	27,6	73		0,28	0,83	PCB-126	44,3
SUM TE-PCB				4,72	5,28	PCB-169	27,6

TE(nordic) : 2378-TCDD toxicity equivalents according to the nordic model (Ahlborg et al., 1988)
 TE (1998) : 2378-TCDD toxicity equivalents according to the WHO model (M. Van den Berg et al., 1998)
 TE (2005) : 2378-TCDD toxicity equivalents according to the WHO model (M. Van den Berg et al., 2005)
 < : Lower than detection limit at signal-to-noise 3 to 1
 i : Isotope ratio deviates more than 20 % from theoretical value.
 This may be due to instrumental noise or/and chemical interference
 b : Lower than 10 times method blank
 g : Recovery is not according to NILUs quality criteria
 * : Samplingstandard NS-EN 1948

Results of PCDD/PCDF and nonortho-PCB Analysis



Encl. to measuring report: O-6546
 NILU sample number: 09/3071
 Customer: NIVA v/Jarle Håvardstun
 Customers sample ID: Kai 1 III
 : O-29369
 Sample type: Sediment
 Sample amount: 0,51 g
 Concentration units: pg/g
 Data files: VB741_30-11-09_diox

Total sample amount:

Compound	Concentration		Recovery	TE(nordic)	TE (1998)	TE (2005)		
	pg/g							
Dioxins								
2378-TCDD	88,2	61		88,2	88,2	88,2	2378-TCDD	88,2
12378-PeCDD	401	63		200	401	401	12378-PeCDD	401
123478-HxCDD	300	70		30,0	30,0	30,0	123478-HxCDD	300
123678-HxCDD	588	64		58,8	58,8	58,8	123678-HxCDD	588
123789-HxCDD	472			47,2	47,2	47,2	123789-HxCDD	472
1234678-HpCDD	2 420	60		24,2	24,2	24,2	1234678-HpCDD	2 420
OCDD	3 234	57		3,23	0,32	0,97	OCDD	3 234
SUM PCDD				452	650	650	SUM PCDD	
Furanes								
2378-TCDF	2 448	58		245	245	245	2378-TCDF	2 448
12378/12348-PeCDF	3 528	*		35,3	176	106	12378/12348-PeCDF	3 528
23478-PeCDF	1 395	65		698	698	419	23478-PeCDF	1 395
123478/123479-HxCDF	8 221	71		822	822	822	123478/123479-HxCDF	8 221
123678-HxCDF	4 732	68		473	473	473	123678-HxCDF	4 732
123789-HxCDF	2 394	*		239	239	239	123789-HxCDF	2 394
234678-HxCDF	946	72		94,6	94,6	94,6	234678-HxCDF	946
1234678-HpCDF	18 069	56		181	181	181	1234678-HpCDF	18 069
1234789-HpCDF	9 740	*		97,4	97,4	97,4	1234789-HpCDF	9 740
OCDF	63 232	66		63,2	6,32	19,0	OCDF	63 232
SUM PCDF				2 948	3 032	2 695	SUM PCDF	
SUM PCDD/PCDF				3 400	3 682	3 346	SUM PCDD/PCDF	
nonortho - PCB								
33'44'-TeCB (PCB-77)	194	g			0,02	0,02	PCB-77	194
344'5'-TeCB (PCB-81)	< 25,1				0,00	0,01	PCB-81	25,1
33'44'5'-PeCB (PCB-126)	84,6 i	g			8,46	8,46	PCB-126	84,6
33'44'55'-HxCB (PCB-169)	68,6	g			0,69	2,06	PCB-169	68,6
SUM TE-PCB					9,17	10,5	SUM TE-PCB	

TE(nordic) : 2378-TCDD toxicity equivalents according to the nordic model (Ahlborg et al., 1988)
 TE (1998) : 2378-TCDD toxicity equivalents according to the WHO model (M. Van den Berg et al., 1998)
 TE (2005) : 2378-TCDD toxicity equivalents according to the WHO model (M. Van den Berg et al., 2005)
 < : Lower than detection limit at signal-to-noise 3 to 1
 i : Isotope ratio deviates more than 20 % from theoretical value.
 This may be due to instrumental noise or/and chemical interference
 b : Lower than 10 times method blank
 g : Recovery is not according to NILUs quality criteria
 * : Samplingstandard NS-EN 1948

8. versjon 15.06.2009 GSK_pg

Results of PCDD/PCDF and nonortho-PCB Analysis



Encl. to measuring report: O-6546
 NILU sample number: 09/3072
 Customer: NIVA v/Jarle Håvardstun
 Customers sample ID: Kai 2 X
 : O-29369
 Sample type: Sediment
 Sample amount: 0,57 g
 Concentration units: pg/g
 Data files: VB741_30-11-09_diox

Total sample amount:

Compound	Concentration	Recovery	TE(nordic)	TE (1998)	TE (2005)		
	pg/g	%	pg/g	pg/g	pg/g		
Dioxins							
2378-TCDD	27,2	65	27,2	27,2	27,2	2378-TCDD	27,2
12378-PeCDD	130	68	64,9	130	130	12378-PeCDD	130
123478-HxCDD	115	69	11,5	11,5	11,5	123478-HxCDD	115
123678-HxCDD	205	65	20,5	20,5	20,5	123678-HxCDD	205
123789-HxCDD	196		19,6	19,6	19,6	123789-HxCDD	196
1234678-HpCDD	1 124	64	11,2	11,2	11,2	1234678-HpCDD	1 124
OCDD	2 219	55	2,22	0,22	0,67	OCDD	2 219
SUM PCDD			157	220	220	SUM PCDD	
Furanes							
2378-TCDF	800	64	80,0	80,0	80,0	2378-TCDF	800
12378/12348-PeCDF	1 223	*	12,2	61,1	36,7	12378/12348-PeCDF	1 223
23478-PeCDF	457	69	228	228	137	23478-PeCDF	457
123478/123479-HxCDF	3 087	71	309	309	309	123478/123479-HxCDF	3 087
123678-HxCDF	1 839	69	184	184	184	123678-HxCDF	1 839
123789-HxCDF	1 018	*	102	102	102	123789-HxCDF	1 018
234678-HxCDF	367	68	36,7	36,7	36,7	234678-HxCDF	367
1234678-HpCDF	7 944	62	79,4	79,4	79,4	1234678-HpCDF	7 944
1234789-HpCDF	3 339	*	33,4	33,4	33,4	1234789-HpCDF	3 339
OCDF	32 123	62	32,1	3,21	9,64	OCDF	32 123
SUM PCDF			1 097	1 117	1 007	SUM PCDF	
SUM PCDD/PCDF			1 254	1 337	1 228	SUM PCDD/PCDF	
nonortho - PCB							
33'44'-TeCB (PCB-77)	79,2	66		0,01	0,01	33'44'-TeCB (PCB-77)	79,2
344'5'-TeCB (PCB-81)	17,0			0,00	0,01	344'5'-TeCB (PCB-81)	17,0
33'44'5'-PeCB (PCB-126)	38,0	69		3,80	3,80	33'44'5'-PeCB (PCB-126)	38,0
33'44'55'-HxCB (PCB-169)	19,1	69		0,19	0,57	33'44'55'-HxCB (PCB-169)	19,1
SUM TE-PCB				4,00	4,38	SUM TE-PCB	

TE(nordic) : 2378-TCDD toxicity equivalents according to the nordic model (Ahlborg et al., 1988)
 TE (1998) : 2378-TCDD toxicity equivalents according to the WHO model (M. Van den Berg et al., 1998)
 TE (2005) : 2378-TCDD toxicity equivalents according to the WHO model (M. Van den Berg et al., 2005)
 < : Lower than detection limit at signal-to-noise 3 to 1
 i : Isotope ratio deviates more than 20 % from theoretical value.
 This may be due to instrumental noise or/and chemical interference
 b : Lower than 10 times method blank
 g : Recovery is not according to NILUs quality criteria
 * : Samplingstandard NS-EN 1948

8. versjon 15.06.2009 GSK_pg

Results of PCDD/PCDF and nonortho-PCB Analysis



Encl. to measuring report: O-6546
 NILU sample number: 09/3073
 Customer: NIVA v/Jarle Håvardstun
 Customers sample ID: Kai 2 XI
 : O-29369
 Sample type: Sediment
 Sample amount: 0,54 g
 Concentration units: pg/g
 Data files: VB741_30-11-09_diox

Total sample amount:

Compound	Concentration	Recovery	TE(nordic)	TE (1998)	TE (2005)		
	pg/g	%	pg/g	pg/g	pg/g		
Dioxins							
2378-TCDD	40,5	71	40,5	40,5	40,5		
12378-PeCDD	216	71	108	216	216		
123478-HxCDD	196	73	19,6	19,6	19,6	2378-TCDD	40,5
123678-HxCDD	346	69	34,6	34,6	34,6	12378-PeCDD	216
123789-HxCDD	325		32,5	32,5	32,5	123478-HxCDD	196
1234678-HpCDD	2 075	68	20,7	20,7	20,7	123678-HxCDD	346
OCDD	4 992	66	4,99	0,50	1,50	123789-HxCDD	325
SUM PCDD			261	365	366	1234678-HpCDD	2 075
Furanes							
2378-TCDF	1 202	68	120	120	120	OCDD	4 992
12378/12348-PeCDF	1 884	*	18,8	94,2	56,5	2378-TCDF	1 202
23478-PeCDF	755	73	377	377	226	12378/12348-PeCDF	1 884
123478/123479-HxCDF	5 228	78	523	523	523	23478-PeCDF	755
123678-HxCDF	3 032	77	303	303	303	123478/123479-HxCDF	5 228
123789-HxCDF	1 766	*	177	177	177	123678-HxCDF	3 032
234678-HxCDF	625	72	62,5	62,5	62,5	123789-HxCDF	1 766
1234678-HpCDF	14 263	68	143	143	143	234678-HxCDF	625
1234789-HpCDF	6 391	*	63,9	63,9	63,9	1234678-HpCDF	14 263
OCDF	64 083	83	64,1	6,41	19,2	1234789-HpCDF	6 391
SUM PCDF			1 852	1 870	1 694	OCDF	64 083
SUM PCDD/PCDF			2 113	2 235	2 060	TE(WHO) PCDD	366
nonortho - PCB							
33'44'-TeCB (PCB-77)	139	73		0,01	0,01	TE(WHO) PCDF	1 694
344'5'-TeCB (PCB-81)	19,7			0,00	0,01	TE(WHO) PCB	6,64
33'44'5'-PeCB (PCB-126)	57,0	71		5,70	5,70	PCB-77	139
33'44'55'-HxCB (PCB-169)	30,7	73		0,31	0,92	PCB-81	19,7
SUM TE-PCB				6,02	6,64	PCB-126	57,0
						PCB-169	30,7

TE(nordic) : 2378-TCDD toxicity equivalents according to the nordic model (Ahlborg et al., 1988)
 TE (1998) : 2378-TCDD toxicity equivalents according to the WHO model (M. Van den Berg et al., 1998)
 TE (2005) : 2378-TCDD toxicity equivalents according to the WHO model (M. Van den Berg et al., 2005)
 < : Lower than detection limit at signal-to-noise 3 to 1
 i : Isotope ratio deviates more than 20 % from theoretical value.
 This may be due to instrumental noise or/and chemical interference
 b : Lower than 10 times method blank
 g : Recovery is not according to NILUs quality criteria
 * : Samplingstandard NS-EN 1948

8. versjon 15.06.2009 GSK_pg

Results of PCDD/PCDF and nonortho-PCB Analysis



Encl. to measuring report: O-6546
 NILU sample number: 09/3074
 Customer: NIVA v/Jarle Håvardstun
 Customers sample ID: Kai 3 V
 : O-29369
 Sample type: Sediment
 Sample amount: 0,54 g
 Concentration units: pg/g
 Data files: VB741_30-11-09_diox

Total sample amount:

Compound	Concentration	Recovery	TE(nordic)	TE (1998)	TE (2005)		
	pg/g	%	pg/g	pg/g	pg/g		
Dioxins							
2378-TCDD	271	77	271	271	271		
12378-PeCDD	1 155	75	577	1 155	1 155		
123478-HxCDD	865	77	86,5	86,5	86,5	2378-TCDD	271
123678-HxCDD	1 625	75	162	162	162	12378-PeCDD	1 155
123789-HxCDD	1 450		145	145	145	123478-HxCDD	865
1234678-HpCDD	6 325	69	63,3	63,3	63,3	123678-HxCDD	1 625
OCDD	7 539	61	7,54	0,75	2,26	123789-HxCDD	1 450
SUM PCDD			1 313	1 883	1 885	1234678-HpCDD	6 325
Furanes							
2378-TCDF	552	111	55,2	55,2	55,2	OCDD	7 539
12378/12348-PeCDF	11 370	*	114	568	341	2378-TCDF	552
23478-PeCDF	4 032	80	2 016	2 016	1 209	12378/12348-PeCDF	11 370
123478/123479-HxCDF	23 861	84	2 386	2 386	2 386	23478-PeCDF	4 032
123678-HxCDF	14 992	77	1 499	1 499	1 499	123478/123479-HxCDF	23 861
123789-HxCDF	8 683	*	868	868	868	123678-HxCDF	14 992
234678-HxCDF	2 795	76	279	279	279	123789-HxCDF	8 683
1234678-HpCDF	51 926	67	519	519	519	234678-HxCDF	2 795
1234789-HpCDF	27 814	*	278	278	278	1234678-HpCDF	51 926
OCDF	149 440	81	149	14,9	44,8	1234789-HpCDF	27 814
SUM PCDF			8 165	8 485	7 481	OCDF	149 440
SUM PCDD/PCDF			9 478	10 368	9 366	TE(WHO) PCDD	1 885
nonortho - PCB							
33'44'-TeCB (PCB-77)	530	80		0,05	0,05	TE(WHO) PCDF	7 481
344'5'-TeCB (PCB-81)	107			0,01	0,03	TE(WHO) PCB	28,9
33'44'5'-PeCB (PCB-126)	240	79		24,0	24,0	PCB-77	530
33'44'55'-HxCB (PCB-169)	163	78		1,63	4,90	PCB-81	107
SUM TE-PCB				25,7	28,9	PCB-126	240
						PCB-169	163

TE(nordic) : 2378-TCDD toxicity equivalents according to the nordic model (Ahlborg et al., 1988)
 TE (1998) : 2378-TCDD toxicity equivalents according to the WHO model (M. Van den Berg et al., 1998)
 TE (2005) : 2378-TCDD toxicity equivalents according to the WHO model (M. Van den Berg et al., 2005)
 < : Lower than detection limit at signal-to-noise 3 to 1
 i : Isotope ratio deviates more than 20 % from theoretical value.
 This may be due to instrumental noise or/and chemical interference
 b : Lower than 10 times method blank
 g : Recovery is not according to NILUs quality criteria
 * : Samplingstandard NS-EN 1948

8. versjon 15.06.2009 GSK_pg

Results of PCDD/PCDF and nonortho-PCB Analysis



Encl. to measuring report: O-6546
 NILU sample number: 09/3075
 Customer: NIVA v/Jarle Håvardstun
 Customers sample ID: Kai 3 VI
 : O-29369
 Sample type: Sediment
 Sample amount: 0,59 g
 Concentration units: pg/g
 Data files: VB741_30-11-09_diox

Total sample amount:

Compound	Concentration	Recovery	TE(nordic)	TE (1998)	TE (2005)		
	pg/g	%	pg/g	pg/g	pg/g		
Dioxins							
2378-TCDD	25,1	69	25,1	25,1	25,1		
12378-PeCDD	129	74	64,5	129	129		
123478-HxCDD	114	76	11,4	11,4	11,4	2378-TCDD	25,1
123678-HxCDD	201	74	20,1	20,1	20,1	12378-PeCDD	129
123789-HxCDD	191		19,1	19,1	19,1	123478-HxCDD	114
1234678-HpCDD	1 193	68	11,9	11,9	11,9	123678-HxCDD	201
OCDD	2 280	70	2,28	0,23	0,68	123789-HxCDD	191
SUM PCDD			155	217	217	1234678-HpCDD	1 193
Furanes							
2378-TCDF	762	72	76,2	76,2	76,2	OCDD	2 280
12378/12348-PeCDF	1 213	*	12,1	60,6	36,4	2378-TCDF	762
23478-PeCDF	488	75	244	244	146	12378/12348-PeCDF	1 213
123478/123479-HxCDF	3 180	82	318	318	318	23478-PeCDF	488
123678-HxCDF	1 737	79	174	174	174	123478/123479-HxCDF	3 180
123789-HxCDF	1 046	*	105	105	105	123678-HxCDF	1 737
234678-HxCDF	383	77	38,3	38,3	38,3	123789-HxCDF	1 046
1234678-HpCDF	8 145	70	81,4	81,4	81,4	234678-HxCDF	383
1234789-HpCDF	3 258	*	32,6	32,6	32,6	1234678-HpCDF	8 145
OCDF	33 475	78	33,5	3,35	10,0	1234789-HpCDF	3 258
SUM PCDF			1 114	1 133	1 018	OCDF	33 475
SUM PCDD/PCDF			1 269	1 350	1 235	TE(WHO) PCDD	217
nonortho - PCB							
33'44'-TeCB (PCB-77)	82,7	74		0,01	0,01	TE(WHO) PCDF	1 018
344'5'-TeCB (PCB-81)	11,8			0,00	0,00	TE(WHO) PCB	3,98
33'44'5'-PeCB (PCB-126)	33,4	74		3,34	3,34	PCB-77	82,7
33'44'55'-HxCB (PCB-169)	21,1	75		0,21	0,63	PCB-81	11,8
SUM TE-PCB				3,56	3,98	PCB-126	33,4
						PCB-169	21,1

TE(nordic) : 2378-TCDD toxicity equivalents according to the nordic model (Ahlborg et al., 1988)
 TE (1998) : 2378-TCDD toxicity equivalents according to the WHO model (M. Van den Berg et al., 1998)
 TE (2005) : 2378-TCDD toxicity equivalents according to the WHO model (M. Van den Berg et al., 2005)
 < : Lower than detection limit at signal-to-noise 3 to 1
 i : Isotope ratio deviates more than 20 % from theoretical value.
 This may be due to instrumental noise or/and chemical interference
 b : Lower than 10 times method blank
 g : Recovery is not according to NILUs quality criteria
 * : Samplingstandard NS-EN 1948

8. versjon 15.06.2009 GSK_pg

Merket	TTS/%	KORN<63µm	TOC/F	As/ICP-Sm	Cd/ICP-Sm	Cr/ICP-Sm	Cu/ICP-Sm	Hg-Sm	Ni/ICP-Sm	Pb/ICP-Sm	Zn/ICP-Sm
	%	% t.v.	µg C/mg TS	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g
	B 3	Intern*	G 6	E 9-5	E 9-5	E 9-5	E 9-5	E 4-3	E 9-5	E 9-5	E 9-5
Kai 1 I	64,3	59	11,5	10	0,78	19,7	80,6	0,34	21,2	76	233
Kai 1 II	53,3	72	23,3	10	0,8	17,8	28,3	0,69	12,5	134	163
Kai 1 III	54,3	84	20,6	9,7	0,5	19	25,5	0,82	12,9	62,8	131
Kai 2 IX	68,2	58	16,9	9,1	0,68	15,9	39,3	0,74	15,5	51,7	118
Kai 2 X	58,4	81	22,8	8,5	0,4	18,7	27,1	0,6	12,6	57,2	137
Kai 2 XI	44,1	82	34,2	13	0,62	19,9	30,4	0,62	16,8	62,1	153
Kai 3 IV	54,7	50	39,2	12	0,83	26,8	58,6	1,25	15,7	122	335
Kai 3 V	46,6	69	46,1	15	2,2	43,6	55,3	3,73	21,8	183	224
Kai 3 VI	51	74	24,4	14	0,2	17,4	26,9	0,36	20,4	44,7	118
Kai 3 VII	54,1	54	29,7	12	0,2	23,2	41,4	0,85	21,5	58,9	193
Kai 3 VIII	45,8	78	32,8	14	0,64	23,8	37,4	0,88	18,8	73,8	172

Merket	CB28-Sm	CB52-Sm	CB101-Sm	CB118-Sm	CB105-Sm	CB153-Sm	CB138-Sm	CB156-Sm	CB180-Sm	CB209-Sm	Sum PCB	Seven Dutch
	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.
	H 3-3	H 3-3	H 3-3	H 3-3	H 3-3	H 3-3	H 3-3	H 3-3	H 3-3	H 3-3	Beregnet*	Beregnet*
Kai 1 I	0,76	2,6	1,3	0,83	<0,5	1,4	1,7	<0,5	0,87	61	70,46	9,46
Kai 1 II	<0,5	2	0,97	0,83	<0,5	1,1	1,6	<0,5	1	71	78,5	7,5
Kai 1 III	0,55	1,1	3,9	3	0,75	3	4,8	i	1,4	160	178,5	17,75
Kai 2 IX	2,3	2,5	7,6	1,5	<0,5	5	4,4	<0,5	5,7	73	102	29
Kai 2 X	<0,5	1,3	<0,5	0,78	<0,5	1,6	2	<0,5	0,96	68	74,64	6,64
Kai 2 XI	<0,5	<0,5	1,4	0,94	<0,5	1,8	2,1	<0,5	<0,5	120	126,24	6,24
Kai 3 IV	0,91	<0,5	2,7	2,6	<0,5	2,2	4	i	1,6	83	97,01	14,01
Kai 3 V	1,8	1,7	8,6	6,5	0,72	7,2	12	i	5,4	210	253,92	43,2
Kai 3 VI	<0,5	1,8	1,1	0,76	<0,5	1,6	2,1	<0,5	<0,5	58	65,36	7,36
Kai 3 VII	0,55	0,99	2,8	3	0,79	3	4,2	i	1,3	97	113,63	15,84
Kai 3 VIII	0,59	<0,5	1,6	1,4	<0,5	2,5	3,1	i	2,4	130	141,59	11,59

Merket	QCB-Sm	HCHA-Sm	HCB-Sm	HCHG-Sm	OCS-Sm	DDEPP-Sm	TDEPP-Sm	NAP-Sm	ACNLE-Sm	ACNE-Sm	FLE-Sm	DBTHI-Sm
	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.
	H 3-3	H 3-3	H 3-3	H 3-3	H 3-3	H 3-3	H 3-3	H 2-3	H 2-3	H 2-3	H 2-3	H 2-3
Kai 1 I	11	<0,5	32	<0,5	5,5	1,2	<1	110	150	47	46	18
Kai 1 II	17	<0,5	56	<0,5	8	<0,5	s1,2	130	110	s9,4	48	14
Kai 1 III	32	<0,5	110	<0,5	13	0,76	s3,2	77	62	10	24	23
Kai 2 IX	17	<1	46	9,6	67	<0,5	s2,0	140	21	77	56	23
Kai 2 X	16	<0,5	48	0,55	8,3	<0,5	<1	48	35	12	19	15
Kai 2 XI	26	<0,5	90	<0,5	14	<0,5	s2,1	68	42	7,3	21	23
Kai 3 IV	21	<0,5	59	<0,5	19	0,82	s2,7	170	21	13	37	30
Kai 3 V	59	<1	170	<0,5	36	2,1	s9,7	140	33	14	40	41
Kai 3 VI	21	<0,5	75	<0,5	11	<0,5	<1	50	49	7,9	23	14
Kai 3 VII	21	<0,5	74	<0,5	12	<0,5	s1,6	71	19	13	24	24
Kai 3 VIII	27	<0,5	95	<0,5	14	0,52	s1,9	180	65	14	30	37

Merket	PA-Sm	ANT-Sm	FLU-Sm	PYR-Sm	BAA-Sm	CHR-Sm	BBJF-Sm	BKF-Sm	BEP-Sm	BAP-Sm	PER-Sm	ICDP-Sm	BA3A-Sm	3GHIP-Sm	Sum PAH	um PAH16	um KPAH	Sum NPD
	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	Beregnet*	Beregnet*	Beregnet*	Beregnet*
	H 2-3	H 2-3	H 2-3	H 2-3	H 2-3	H 2-3	H 2-3	H 2-3	H 2-3	H 2-3	H 2-3	H 2-3	H 2-3	H 2-3	H 2-3	H 2-3	H 2-3	H 2-3
Kai 1 I	270	81	380	370	310	330	600	240	420	440	93	350	95	330	4680	4149	2475	398
Kai 1 II	180	73	170	200	190	170	570	200	430	370	76	340	97	370	s3747,4	s3227,4	2067	324
Kai 1 III	220	100	280	290	330	320	920	300	670	590	130	530	150	560	5586	4763	3217	320
Kai 2 IX	180	85	320	360	320	280	630	220	430	410	96	320	89	340	4397	3848	2409	343
Kai 2 X	130	71	240	240	260	230	590	210	440	390	95	360	100	370	3855	3305	2188	193
Kai 2 XI	200	120	340	330	390	330	1000	320	720	600	150	570	170	620	6021,3	5128,3	3448	291
Kai 3 IV	250	96	340	420	280	240	630	230	430	430	91	350	92	350	4500	3949	2422	450
Kai 3 V	310	120	370	490	370	300	950	320	660	610	110	490	130	510	6008	5197	3310	491
Kai 3 VI	160	73	240	220	250	250	600	210	460	380	98	390	110	420	4004,9	3432,9	2240	224
Kai 3 VII	260	110	320	290	300	260	710	240	510	460	110	440	120	450	4731	4087	2601	355
Kai 3 VIII	330	110	390	390	360	330	980	340	710	610	140	570	160	610	6356	5469	3530	547

Vedlegg B. Regneark

Stoff	Målt sedimentkonsentrasjon			Kontroll av homogenitet (Verdi større enn 2 kan tyde på inhomogenitet/hotspot)	INPUT: Målt sedimentkonsentrasjon, C _{sed} (mg/kg)												
	Antall prøver	C _{sed, max} (mg/kg)	C _{sed, gj.snitt} (mg/kg)		C _{sed, max} / C _{sed, gj.snitt}	Kai 1 I	Kai 1 II	Kai 1 III	Kai 2 IX	Kai 2 X	Kai 2 XI	Kai 3 IV	Kai 3 V	Kai 3 VI	Kai 3 VII	Kai 3 VIII	
Arsen	11	15,00	11,57	1,3	10,00	10,00	9,70	9,10	8,50	13,00	12,00	15,00	14,00	12,00	14,00		
Bly	11	183,00	84,20	2,9	76,00	134,00	62,80	51,70	57,20	62,10	122,00	183,00	44,70	58,90	73,80		
Kadmium	11	2,20	0,71	3,4	0,78	0,80	0,50	0,68	0,40	0,62	0,83	2,20	0,20	0,20	0,64		
Kobber	11	80,60	40,98	2,2	80,60	28,30	25,50	39,30	27,10	30,40	58,60	55,30	26,90	41,40	37,40		
Krom totalt (III + VI)	11	43,60	22,35	2,2	19,70	17,80	19,00	15,90	18,70	19,90	26,80	43,60	17,40	23,20	23,80		
Kvikksølv	11	3,73	0,99	5,0	0,34	0,69	0,82	0,74	0,60	0,62	1,25	3,73	0,36	0,85	0,88		
Nikkel	11	21,80	17,25	1,3	21,20	12,50	12,90	15,50	12,60	16,80	15,70	21,80	20,40	21,50	18,80		
Sink	11	335,00	179,73	2,1	233,00	163,00	131,00	118,00	137,00	153,00	335,00	224,00	118,00	193,00	172,00		
Naftalen	11	0,18	0,11	1,6	0,11	0,13	0,08	0,14	0,05	0,07	0,17	0,14	0,05	0,07	0,18		
Acenafylen	11	0,15	0,06	3,6	0,15	0,11	0,06	0,02	0,04	0,02	0,02	0,03	0,05	0,02	0,07		
Acenafthen	11	0,08	0,02	5,9	0,05	0,01	0,01	0,08	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01		
Fluoren	11	0,06	0,03	1,9	0,05	0,05	0,02	0,06	0,01	0,04	0,04	0,04	0,02	0,02	0,03		
Fenantren	11	0,33	0,23	1,5	0,27	0,18	0,22	0,18	0,13	0,20	0,25	0,31	0,16	0,26	0,33		
Antracen	11	0,12	0,09	1,3	0,08	0,07	0,10	0,09	0,07	0,12	0,10	0,12	0,07	0,11	0,11		
Fluoranten	11	0,39	0,31	1,2	0,38	0,17	0,28	0,32	0,24	0,34	0,34	0,37	0,24	0,32	0,39		
Pyren	11	0,49	0,33	1,5	0,37	0,20	0,29	0,36	0,24	0,33	0,42	0,49	0,22	0,29	0,39		
Benzo(a)antracen	11	0,39	0,31	1,3	0,31	0,19	0,33	0,32	0,26	0,39	0,28	0,37	0,25	0,30	0,36		
Krysen	11	0,33	0,28	1,2	0,33	0,17	0,32	0,28	0,23	0,33	0,24	0,30	0,25	0,26	0,33		
Benzo(b)fluoranten	11	1,00	0,74	1,6	0,60	0,57	0,92	0,63	0,59	1,00	0,63	0,95	0,60	0,71	0,98		
Benzo(k)fluoranten	11	0,34	0,26	1,4	0,24	0,20	0,30	0,22	0,21	0,32	0,23	0,32	0,21	0,24	0,34		
Benzo(a)pyren	11	0,61	0,48	1,4	0,44	0,37	0,59	0,41	0,39	0,60	0,43	0,61	0,38	0,46	0,61		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	11	0,57	0,43	1,5	0,35	0,34	0,53	0,32	0,36	0,57	0,35	0,49	0,39	0,44	0,57		
Dibenzo(a,h)antracen	11	0,17	0,12	1,5	0,10	0,10	0,15	0,09	0,10	0,17	0,09	0,13	0,11	0,12	0,16		
Benzo(ghi)perylen	11	0,62	0,45	1,5	0,33	0,37	0,56	0,34	0,37	0,62	0,35	0,51	0,42	0,45	0,61		
PCB 28	11	0,0023	0,0008	4,2	0,00076	0,00025	0,00055	0,00230	0,00025	0,00025	0,00091	0,00180	0,00025	0,00055	0,00059		
PCB 52	11	0,0026	0,0013	2,0	0,00262	0,00199	0,00110	0,00250	0,00134	0,00025	0,00025	0,00170	0,00183	0,00099	0,00025		
PCB 101	11	0,0086	0,0029	5,4	0,00130	0,00097	0,00390	0,00760	0,00025	0,00140	0,00270	0,00860	0,00110	0,00280	0,00160		
PCB 118	11	0,0065	0,0020	4,6	0,00083	0,00083	0,00300	0,00150	0,00078	0,00094	0,00260	0,00650	0,00076	0,00300	0,00140		
PCB 138	11	0,0120	0,0038	3,9	0,00170	0,00160	0,00480	0,00440	0,00200	0,00210	0,00400	0,01200	0,00210	0,00420	0,00310		
PCB 153	11	0,0072	0,0028	3,3	0,00140	0,00110	0,00300	0,00500	0,00160	0,00180	0,00220	0,00720	0,00160	0,00300	0,00250		
PCB 180	11	0,0057	0,0019	4,4	0,00087	0,00100	0,00140	0,00570	0,00096	0,00025	0,00160	0,00540	0,00025	0,00130	0,00240		
Tributyltinn (TBT-ion)	11	4,20	0,70	42,0	0,77	0,19	0,05	4,20	1,70	0,02	0,10	0,01	0,03	0,64	0,04		
Lindan	11	0,0096	0,0011	38,4	0,0003	0,0003	0,0003	0,0096	0,0006	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003		
Heksaklorbenzen	11	0,17	0,08	2,3	0,03	0,06	0,11	0,05	0,05	0,09	0,06	0,17	0,08	0,07	0,10		
Pentaklorbenzen	11	0,06	0,02	2,8	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,06	0,02	0,02	0,03		

Vedlegg C. Skipsanløp

SKIPNINGER TIL OG FRA NORETYL I 2009.

Kai 1:

Antall skip	Skroglengde	Skrogbredde	Propelldyp
103	50-100	10 - 15	4,5
77	100-150	15 - 20	6,5
19	>150	25 -35	8,5

Kai 2:

Antall skip	Skroglengde	Skrogbredde	Propelldyp
55	50-100	15 - 20	4,5
53	100-150	20	6,5
0	>150		

Skipsanløp Lut 2008

LOA, BEAM og DRAFT er oppgitt i meter

Skipsnavn:	Antall Anløp	LOA	BEAM	DRAFT
Copernicus	15	73,85	11,5	4,38
Trans Holm	24	96	17,5	6,5
Trans Sund	28	96,25	15,37	6,2
Trans Fjell	18	88	13,35	6,5
Trans Arctic	1	116,8	20,2	7,5
Tans Vik	1	96,35	15,37	6,2
Cappadocian	1	108	16	5,7
Listraum	11	101	18,3	7
Havstraum	3	115	18	7
Granato	6	119	16	6,2
Solstraum	6	101	18,3	7
Fjellstraum	2	100	16,7	6,8
Fjordstraum	1	100	16,7	6,8
Bergstraum	4	124	19,2	7,2
Cesteni	1	132	19	7,9
Eships Dugon	2	127	20,4	8,6
Jo Cedar	1	182,4	32	10,7
Oriental Marguerite	1	133	18	9,1
Fairchem Bronco	1	144	24	9,61
Bow Harmony	1	170	26,6	11,5
Nordport	1	127	20	8
Bow Oceanic	1	145,5	23,7	9,7
Crystal Topaz	1	126	19	8,35
Crystal Diamond	2	126	19	8,35
Crystal Amethyst	1	112	18,2	7,5

Totalt antall anløp for Lut 134**Skipsanløp Salt 2008**

Trones	17	129,6	20,5	8,6
Tinnes	24	117,9	20,5	8,5
Telnes	2	117,9	20,5	8,46

Totalt antall anløp for Salt 43

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