

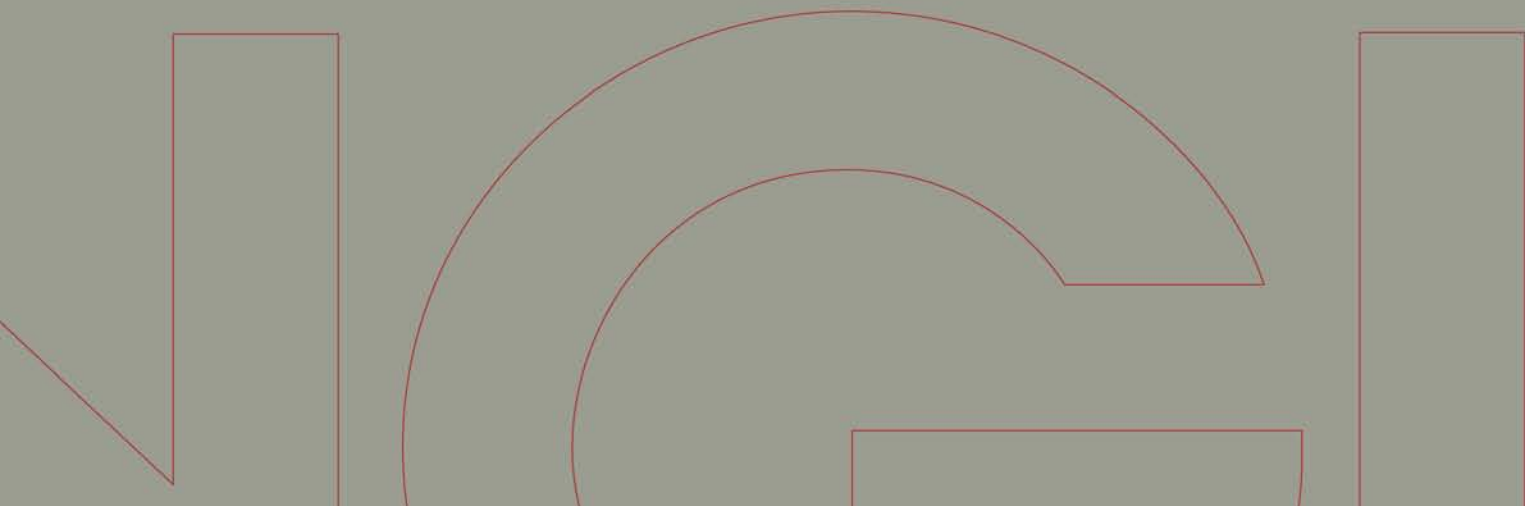


# Rapport / Report

## Overvåking av forurensning ved mudring og deponering

Miljøregnskap for nedføring i  
dypvannsdeponiet i perioden januar  
til oktober 2008

20051785-55  
12. februar 2009



Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere dette før bruk av dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemand uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this before using this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGI.



## Prosjekt

Prosjekt: Overvåking av forurensning ved mudring og deponering  
Rapportnummer: 20051785-55  
Rapporttittel: Miljøregnskap for nedføring i dypvannsdeponiet i perioden januar til oktober 2008  
Dato: 12. februar 2009

Hovedkontor:  
Pb. 3930 Ullevål Stadion  
0806 Oslo

Avd Trondheim:  
Pb. 1230 Pirsenteret  
7462 Trondheim

T 22 02 30 00  
F 22 23 04 48

Kontonr 5096 05 01281  
Org. nr 958 254 318 MVA

[ngi@ngi.no](mailto:ngi@ngi.no)  
[www.ngi.no](http://www.ngi.no)

## Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: Oslo Havn KF  
Oppdragsgivers  
kontaktperson: Torild Jørgensen  
Kontraktreferanse: 40HAV05

## For NGI

Prosjektleder: Audun Hauge  
Rapport utarbeidet av: Gijs D. Breedveld og Amy M.P. Oen

## Sammendrag

Med bakgrunn i overvåkningsdata er det utarbeidet et miljøregnskap som estimerer spredningen av metaller og organiske forbindelser som har funnet sted som resultat av nedføring av mudrede masser i dypvannsdeponiet ved Malmøykalven. Regnskapet som presenteres i denne rapporten omfatter perioden fra januar til og med oktober 2008, og er den siste rapporteringsperioden under nedføring av mudrede masser.

Resultatene viser at forbruket av budsjettet fra prosjektets oppstart til nedføringslutt (2008-10-31) er på 54 % for kvikksølv, 3 % for kadmium, 72 % for bly, 56 % for PAH16 og 23 % for PCB7. En samlet vurdering viser at den totale spredningen under nedføring av mudrede masser til dypvannsdeponiet har vært innenfor budsjettet som er lagt til grunn for tillatelsen.

BS EN ISO 9001  
Sertifisert av BSI  
Reg. No. FS 32989

# Innhold



Rapport nr.: 20051785-55  
Dato: 2009-02-12  
Rev. dato:  
Side: 2 / Rev.:

<b>1</b>	<b>Innledning</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Miljøregnskap for 2008</b>	<b>3</b>
	2.1 Aktuelle spredningsmekanismer	3
	2.2 Modell og inngangsdata for beregning av spredning	4
	2.3 Spredning i perioder med akseptabel turbiditet	7
	2.4 Spredning i perioder med forhøyet turbiditet	9
	2.5 Spredning som følge av dypvannsutskiftning	11
<b>3</b>	<b>Miljøregnskapet for 2008 sammenlignet med miljøbudsjettet</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Referanser</b>	<b>12</b>

**Kontroll- og referanseside**

## 1 Innledning

Det gjennomføres en omfattende opprydding av forurenset sjøbunn i Oslo havneområde. Tiltaksløsningen inkluderer nedføring av de mudrede massene i et dypvannsdeponi etablert ved Malmøykalven. For å estimere effektiviteten til tiltaket er det utarbeidet et miljøbudsjett som ligger til grunn for tillatelsen (HAV, 2005). Miljøbudsjettet estimerer hvor mye tungmetaller og organiske forbindelser som blir spredd før, under og etter tiltaket. For at tiltaket skal ha en netto positiv miljøeffekt må spredningen under utførelse ikke overstige et gitt nivå. Dette sees i sammenheng med spredningen før tiltaket ble iverksatt, og oppnådd reduksjon i spredning etter utført tiltak.

Det er tidligere utarbeidet regnskap som omfatter;

- prosjektets oppstart i februar 2006 og ut august 2006 (NGI, 2006a)
- fra september 2006 til og med desember 2006 (NGI, 2006b)
- fra januar 2007 til og med juni 2007 (NGI, 2007a)
- fra juli 2007 til og med desember 2007 (NGI, 2008b).

Regnskapet som presenteres i denne rapporten omfatter perioden fra januar 2008 til og med oktober 2008. Denne rapporteringsperioden omfatter slutføringen av nedføring av mudrede masser. Miljøregnskapet for spredning under tiltaket slutføres dermed, og det gis et samlet miljøregnskap for hele nedføringsperioden fra oppstart februar 2006 til og med oktober 2008.

## 2 Miljøregnskap for 2008

### 2.1 Aktuelle spredningsmekanismer

Miljøbudsjettet viser hvilke spredningsmekanismer som er mest aktuelle (NGI/NIVA, 2003 og HAV, 2005), og som følgelig har blitt overvåket og dokumentert. For nedføringen av mudrede masser i dypvannsdeponiet, gjelder dette følgende mekanismer:

- oppvirvling under nedføring av mudrede masser
- utpressing av porevann fra mudrede masser
- diffusjon fra utildekkede sedimenter i deponiområdet

Beregningene som brukes i miljøbudsjettet baserer seg på at det ikke ønskes spredning utenfor deponiområdet til tilstøtende fjordområder, spesielt til overflatevannet i indre Oslofjord. Nærmere bestemt innebærer dette at tungmetaller og organiske forbindelser ikke skal spres til vannmassene som ligger over 43 m dyp i deponiområdet, hvilket tilsvarer terskeldypet til Bekkelagsbassenget.

Partikkelspredning under nedføring av mudrende masser kan forårsake spredning av partikler utenfor dypvannsdeponiet (NGI/NIVA, 2003; HAV, 2005). Siden den naturlige avgrensingen nord for dypvannsdeponiet er på kote -66 m kan det spres partikler til den dypere liggende delen i Bekkelagsbassen-

get. Eventuell spredning til dette området vil legge seg oppå eksisterende sediment som er forurenset fra før. Det er vurdert at en mindre tilførsel av partikler til dette området ikke vil forringe sedimentkvaliteten i særlig grad (NGI/NIVA, 2003). Denne spredningen er derfor ikke inkludert i miljøbudsjettet. Spredningsmekanismen er imidlertid overvåket med sedimentfeller slik at tiltak (tildekking) kan iverksettes dersom det viser seg at nedføringen har påvirket sedimentkvaliteten i den dypere delen av Bekkelagsbassenget negativt.

Transport av løste og partikkelbundne tungmetaller og organiske forbindelser ved dypvannsutsiftning er ikke inkludert i miljøbudsjettet (NGI/NIVA, 2003), men er inkludert i miljøregnskapet for arbeidene.

## 2.2 Modell og inngangsdata for beregning av spredning

### 2.2.1 Spredningsmodell

Spredning defineres i dette regnskapet altså som transport av løste eller partikkelbundne stoffer fra dype vannmasser til vannmasser over terskeldybde på 43 m. Prinsippene brukt ved utarbeidelse av miljøregnskapet er tidligere beskrevet av NGI (2006a), og omfatter at eventuell spredning hovedsakelig vil skje ved:

- turbulent diffusjon fra dypere vannmasser til vannmasser over
  - dekker spredning via oppvirvling under nedføring, porevanns-utpressing samt diffusjon fra sediment i deponiområdet
- transport ut av deponiområdet med vannmasser som skiftes ut i dypvannsutsiftninger
  - bokført i miljøregnskapet da nedføring av mudrede masser har pågått i samme tidsrom som dypvannsutsifting har funnet sted

Spredningen ved slik turbulent diffusjon estimeres som tidligere beskrevet (NGI, 2006a):

- (i) sedimentarealet ( $A$ )
- (ii) diffusjonskoeffisient ( $D_t$ ),
- (iii) konsentrasjons forskjell mellom vannmasser ( $C_{\text{dypvannet}} - C_{\text{vannet over 43m}}$ )
- (iv) avstanden stoffene transporteres over ( $\Delta z$ )

$$F_{\text{turbulent-diffusjon}} = A \times D_t \frac{(C_{\text{dypvannet}} - C_{\text{vannet over 43m}})}{\Delta z} \quad (\text{likning 1})$$

I miljøregnskapet er spredningen, dvs. den turbulente diffusjonen, beregnet både for perioder da turbiditeten har vært under grenseverdien satt av SFT (akseptabel turbiditet) og for perioder da turbiditeten har vært over grenseverdien satt av SFT (forhøyet turbiditet). Summen av disse gir den totale spredningen som har foregått under nedføring av forurensete sedimenter i 2008.

## 2.2.2 Kjemiske analysedata

Miljøregnskapet er basert på kjemiske analyseresultater av vannprøver tatt regelmessig innenfor og utenfor deponiområdet, samt vannprøver tatt i forbindelse med episoder med forhøyet turbiditet. Samtlige vannprøver inkluderer både løste og partikkelbundne stoffer. Dersom et stoff ikke er påvist i de kjemiske analysene, hvilket betyr at konsentrasjonen er lavere enn kvantifiseringsgrensen, er halvparten av kvantifiseringsgrensen benyttet som inngangsdata i miljøregnskapet. Kvantifiseringsgrensen tar hensyn til usikkerheten ved analyseresultater nær deteksjonsgrensen, og er derfor 3 - 10 ganger høyere enn deteksjonsgrensen. Alle analyseresultatene er fortløpende presentert i månedsrapportene som er tilgjengelige på Ren Oslofjords nettsider. Originale analyse-rapporter er tidligere gjengitt i sin helhet (NGI, 2007b, NGI, 2008c og NGI 2009) for å sikre komplett dokumentasjon og sporbarhet.

## 2.2.3 Perioder med akseptabel og forhøyet turbiditet

I SFTs systemrevisjon ved Oslo Havn i oktober 2007, ble det påpekt at metoden for å beregne varigheten av forhøyet turbiditet kunne forbedres, og hver enkelt loggført overskridelse regnes derfor som 10 minutter med overskridelse av grenseverdien for turbiditet (SFT, 2007). Tabell 1 viser at fra 1. januar 2008 til og med 31. oktober 2008 (304 dager) er det registrert 408 enkeltepisoder med forhøyet turbiditet ved målestasjon MP3 (63 m og 65 m) eller MP4 (5 m over bunn og 43 m) som kan relateres til nedføringen. Enkelverdier forårsaket av støy er ikke inkludert. Hver enkeltepisode er gitt en varighet lik 10 minutter, hvilket gir til sammen 2,8 dager med forhøyet turbiditet for miljøregnskapets periode i 2008.

*Tabell 1 Antall enkeltmålinger med forhøyet turbiditet som kan relateres til nedføringen i perioden 1. januar til og med 31. oktober 2008 ved MP3 eller MP4. Detaljene er tidligere beskrevet i de respektive månedsrapportene.*

Måned	Antall enkeltmålinger*	Estimert antall timer overskridelse
Januar	$44^{1)} + 1^{3)} + 2^{4)} = 47$	7,5
Februar	$18^{2)} + 7^{3)} = 25$	4,2
Mars	$1^{1)} + 1^{2)} + 1^{3)} + 1^{4)} = 4$	0,5
April	$7^{1)} + 6^{2)} + 19^{3)} + 3^{4)} = 35$	5,3
Mai	$5^{1)} + 1^{3)} + 1^{4)} = 7$	1
Juni	$2^{1)} + 1^{2)} + 1^{3)} = 4$	0,7
Juli	$1^{1)} + 2^{2)} + 1^{3)} = 4$	0,7
August	$80^{1)} + 6^{3)} = 86$	14,3
September	$160/2^{1,5)} + 11^{2)} + 3^{3)} + 23^{4)} = 117$	19,5
Oktober	$39^{1)} + 11^{2)} + 2^{3)} + 27^{4)} = 79$	13,2
<b>SUM</b>	<b>408</b>	<b>68**</b>

\* hver enkeltmåling er konservativt antatt å representere 10 minutter med forhøyet turbiditet.\*\* tilsvarer 2,8 dager.

<sup>1)</sup>Turbiditet ved målepunkt MP3\_63. <sup>2)</sup>Turbiditet ved målepunkt MP3\_65. <sup>3)</sup>Turbiditet ved målepunkt MP4, 5 m over bunn. <sup>4)</sup>Turbiditet ved målepunkt MP4\_43. <sup>5)</sup>Støy i målingene, se månedsrapport for september 20051785-57.

I perioder har målestasjon MP3 og MP4 vært ute av slik at måledata har gått tapt og eventuelle overskridelser av turbiditet ikke har blitt registrert (Tabell 2). Dette tilsvarer 52,3 dager hvor turbiditeten teoretisk sett kan ha vært forhøyet. For å være konservativ er både antallet dager med registrerte overskridelser og antallet dager da MP3 eller MP4 har vært ute av drift, summert og ganget med 2, slik at beregnet spredning pga. forhøyet turbiditet er satt til  $((2,8 + 52,3) \times 2) = 110,2$  dager.

*Tabell 2 Episoder da målestasjon MP3 og MP4 har vært ute av drift i perioden 1. januar til og med 31. oktober 2008, slik at eventuelle overskridelser av turbiditet ikke har blitt registrert. Detaljene er tidligere beskrevet i de respektive månedsrapportene.*

Måned	Episode*	Estimert antall timer ut av drift
Januar	1/1-08 kl.0000 – 8/1 kl.1723 <sup>1)</sup>	185,4
	1/1 kl.0000 – 1/1 kl.2146 <sup>3)</sup>	21,8
	12/1-08 kl.2053 – 13/1-08 kl.1013 <sup>1,2)</sup>	13,3
	14/1 kl.2133-2333 <sup>1,2)</sup>	2
	20/1 kl.2203 – 21/1 kl.0123 <sup>1,2)</sup>	2,3
Februar	4/1-08 kl.1626 – 21/1-08 kl.1206 <sup>3)</sup>	..**
	7/2-08 kl.1403 – 7/2-08 kl.2323 <sup>1,2)</sup>	9,2
	10/2-08 kl.0443 – 10/2-08 kl.0703 <sup>1,2)</sup>	3,1
	12/2-08 kl.1953 – 13/2 kl.0953 <sup>1,2)</sup>	14
	21/2-08 kl.1205 – 27/2-08 kl.1034 <sup>1,2)</sup>	142,5
	28/2-08 kl.1415-3/3 kl.1014 <sup>2)</sup>	92
Mars	3/3-08 kl.1014 – 7/3-08 kl.1354 <sup>1,2)</sup>	99,7
April	20/4 kl.0414-1104 <sup>1,2)</sup>	6,8
	20/4-08 kl.2124 – 21/4-08 kl.0939 <sup>1,2)</sup>	12,3
	9/4-08 kl.1500 – 10/4-08 kl.0730 <sup>3)</sup>	16,5
	12/4-08 kl.2320 – 15/4-08 kl.1302 <sup>3)</sup>	61,7
	27/4 kl.1259-2359 <sup>1,2,3)</sup>	11
Mai	12/5-08 kl.0740 – 15/5-08 kl.1301 <sup>3)</sup>	77,4
	29/5-08 kl.1729 – 30/5-08 kl.0759 <sup>1,2,3)</sup>	14,5
Juni	2/6 kl.0750-1449 <sup>3)</sup>	7
	11/6-08 kl.2135 – 12/6-08 kl.1518 <sup>1,2)</sup>	17,7
	15/6 kl.1008 – 20/6 kl.1142 <sup>1,2)</sup>	121,6
	25/6 kl.1752 – 27/6 kl.0942 <sup>1,2)</sup>	39,8
Juli	11/7-08 kl.0550 – 14/7-08 kl.1258 <sup>1,2)</sup>	79,2
August	26/8-08 kl.2304 – 28/8-08 kl.0956 <sup>3)</sup>	35
September	1/9-08 kl.1910 – 4/9-08 kl.0933 <sup>1,2)</sup>	62,4
	20/9-08 kl.2309 – 21/9-08 kl.0119 <sup>1,2)</sup>	2,2
	26/9-08 kl.2340 – 27/9-08 kl.0630 <sup>1,2,3)</sup>	6,8
Oktober	1/10-08 kl.0642-0952, 1351-1601, 2111-2322 <sup>3)</sup>	7,6
	6/10-08 kl.0309-0859 <sup>1,2)</sup>	5,8
	7/10-08 kl.1233 – 9/10-08 kl.1103 <sup>3)</sup> 7/10-08 kl.2229 – 8/10-08 kl.0039 <sup>1,2)</sup>	46,5
	16/10-08 kl.0419-0848 <sup>1,2,3)</sup>	4,5
	27/10-08 kl.0039 – 28/10-08 kl.1015 <sup>1,2)</sup>	33,6
<b>SUM</b>		<b>1255,2***</b>

<sup>1)</sup>Målepunkt MP3\_63. <sup>2)</sup>Målepunkt MP3\_65. <sup>3)</sup>Målepunkt MP4. \* Nedetid der data er lastet ned i etterkant er ikke inkludert.\*\*Vurdert som ikke relevant, lite sannsynlighet for potensielle overskridelser av turbiditet basert på målingene før og etter episode, samt posisjon av nedføringsenhet i perioden. Se månedsrapport for detaljer. \*\*\* Tilsvarer 52,3 dager.



Miljøregnskapet for 2008 er altså konservativt basert på 193,8 dager med akseptabel turbiditet og 110,2 dager med forhøyet turbiditet for perioden 1. januar til og med 31. oktober 2008 (i alt 304 dager).

### 2.3 Spredning i perioder med akseptabel turbiditet

Når turbiditeten har vært på et akseptabelt nivå, dvs. ingen overskridelse av turbiditet ved overvåkingsstasjonene, gjelder følgende forutsetninger for spredning i miljøregnskapet:

- (i) Sedimentarealet i dypvannsdeponiet er satt lik  $350\,000\text{ m}^2$ , dvs. arealet av ferdig oppfylt deponiområde ved 63 m vanndybde (NGI, 2001). Dette er også arealet som er brukt i utarbeidelse av miljøbudsjettet (HAV, 2005).
- (ii) Diffusjonskoeffisienten for turbulent diffusjon er antatt lik  $0,1\text{ cm}^2/\text{s}$  (NGI/NIVA, 2000), dvs.  $0,864\text{ m}^2/\text{d}$ .
- (iii) Konsentrasjonsforskjellen er forskjellen mellom konsentrasjonen i dypvannet i deponiområdet og konsentrasjonen i vannmasser over 43 m vanndybde. For å karakterisere dypvannet er det brukt gjennomsnittskonsentrasjonen fra vannprøver tatt 5 m over sjøbunnen ved nedføringsenheten (H2). For å karakterisere vannmasser over 43 m er gjennomsnittskonsentrasjonen fra vannprøver tatt ved 40 m vanndybde fra TRef, MP3 og MP4 benyttet for metallene. For PAH og PCB er resultatene fra passive prøvetakere ved rundt 40 m vanndybde ved MP3 benyttet. Analyseresultatene brukt i regnskapet er presentert i Tabell 3 - Tabell 5.
- (iv) Transportveien er den vertikale avstanden mellom nedføringens utløp (65 m) og den laveste terskelen (ved 43 m), altså 22 m.

Analyseresultatene som er benyttet for å karakterisere dypvannet og vannmassene over 43 m terskeldyp i perioden med akseptable turbiditet, er vist i Tabell 3 og Tabell 4. De tradisjonelle analysemetodene har sjelden gitt konsentrasjoner av PAH eller PCB over kvantifiseringsgrense for analysene av vannprøver ved lavt partikkelinnhold. Ved bruk av passive prøvetakere av typen polyoxy methylene (POM), kan man måle langt lavere konsentrasjoner av PAH og PCB i vann. Passive prøvetakere fanger imidlertid kun opp løste forbindelser. Ettersom turbiditeten i vannprøvene tatt over 43 m er lave (dvs.  $\leq 1\text{ NTU}$ ), vil imidlertid POM-resultatene for PAH og PCB gi en bedre karakterisering av konsentrasjonen i denne vannmassen, se Tabell 5. Gjennomsnittskonsentrasjonene fra de tre tabellene er benyttet videre i regnskapet.

**Tabell 3** *Analyseresultater brukt for å karakterisere dypvannet i deponiområdet når turbiditeten har vært på akseptabelt nivå i perioden 1. januar til og med 31. oktober 2008, dvs. vannprøver tatt 5 m over sjøbunnen ved nedføringsenheten (H2). Konsentrasjonene er oppgitt som µg/l, og analyseresultater under kvantifiseringsgrense er vist i kursiv.*

Stoff	Prøvetakingsdato for vannprøver				Gjennomsnitt C <sub>dypvannet aksept.turb.</sub>
	17/01-08	03/04-08	26/06-08	23/10-08	
Hg	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Cd	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
Pb	0,904	0,436	0,856	0,441	0,6593
PAH <sub>16</sub>	0,0184*	0,0193*	0,1986*	0,0171*	0,0634
PCB <sub>7</sub>	0,0007	0,0007	0,00601*	0,0007	0,00203

\* Analyseresultatet er summen av de påviste enkeltforbindelsene samt halvparten av kvantifiseringsgrensen for enkeltforbindelser som ikke er påvist.

**Tabell 4** *Analyseresultater brukt for å karakterisere vannmasser over 43 m vanndybde i perioden 1. januar til og med 31. oktober 2008, dvs. vannprøver tatt ved 40 m vanndybde ved målestasjonene TRef, MP3 og MP4. Konsentrasjonene er oppgitt som µg/l, og analyseresultater under kvantifiseringsgrensen er vist i kursiv.*

Stoff	Prøvetakingsdato for vannprøver												Gjennomsnitt C <sub>vannet over 43m</sub>
	17/01-08			03/04-08			26/06-08			23/10-08			
	TRef	MP3	MP4	TRef	MP3	MP4	TRef	MP3	MP4	TRef	MP3	MP4	
Hg	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Cd	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,0534	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
Pb	0,879	0,15	0,15	1,07	0,478	0,15	0,901	0,427	0,15	1,09	0,344	0,639	0,5357
PAH <sub>16</sub>	0,0725	0,0725	0,175*	0,177	0,177	0,177	0,185	0,185	0,185	0,185	0,185	0,185	i.b.
PCB <sub>7</sub>	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.b.

\* Analyseresultatet er summen av de påviste enkeltforbindelsene samt halvparten av kvantifiseringsgrensen for enkeltforbindelser som ikke er påvist.

i.a. = ikke analysert. i.b. = ikke brukt i miljøregnskap, se tabell 3.

**Tabell 5** *Analyseresultater fra overvåking ved bruk av passive prøvetakere (POM) for å karakterisere PAH og PCB i vannmasser over 43 m vanndybde i perioden 1. januar til og med 31. oktober 2008. Resultatene fra MP3 ca. 40 m vanndybde er brukt i regnskapet. Konsentrasjonene er oppgitt som µg/l.*

Stoff	POM aug 2008 t.o.m. sept 2008**		POM okt 2008 t.o.m. nov 2008**		Gjennomsnitt C <sub>vannet over 43m</sub>
	33 m	43 m	33 m	43 m	
PAH*	0,041	0,059	0,015	0,019	0,0335
PCB <sub>7</sub>	0,000301	0,000415	0,000252	0,000571	0,000385

\* For POM-analysen er 2 av 16 standard PAH-forbindelser ikke inkludert (acenaftalen og acenaften).

\*\* Representerer 4-6 uker av måleperioden.

Ved å benytte dataene fra Tabell 3- Tabell 6, likning 1 vist i kap. 2.2.1 og forutsetningene listet opp på side 7, er spredningen av metaller og organiske forbindelser ved turbulent diffusjon når turbiditeten har vært på akseptabelt nivå, beregnet og vist i Tabell 6.

*Tabell 6 Resultatene for spredning av metaller og organiske forbindelser ved turbulent diffusjon når turbiditeten har vært akseptabel i perioden 1. januar til og med 31. oktober 2008.*

Stoff	$C_{\text{dypvannet aksept.turb.}}$	$C_{\text{vannet over 43m}}$	$C_{\text{dypvannet aksept.turb.}} - C_{\text{vannet over 43m}}$	$F_{\text{turbulent diffusjon aksept.turb.}}^*$
	(µg/l)			(g)
Hg	0,001	0,001	0	0
Cd	0,025	0,0274	0	0
Pb	0,6593	0,5357	0,1236	329
PAH <sub>16</sub>	0,0634	0,0335	0,0299	80
PCB <sub>7</sub>	0,00203	0,000385	0,00164	4,4

\*  $F_{\text{turbulent diffusjon aksept. turb.}} = [350.000 \text{ m}^2 * 0,864 \text{ m}^2/\text{d} * (C_{\text{dypvannet forhøy.turb.}} - C_{\text{vannet over 43m}}) \mu\text{g/l} \div 22 \text{ m}] * 193,8 \text{ d} * 10^3 \text{ l/m}^3 \div 10^6 \text{ g}/\mu\text{g}.$

## 2.4 Spredning i perioder med forhøyet turbiditet

Som beskrevet i kap. 2.2.3 tas det utgangspunkt i at turbiditeten har vært forhøyet i 110,2 av 304 dager. Følgende forutsetningene er i tillegg lagt til grunn for beregning av spredning under forhøyet turbiditet:

- (i) Arealet er satt lik 558 000 m<sup>2</sup>, dvs. arealet av Bekkelagsbassenget ved 66 m vanndybde (som er større en dypvannsdeponiarealet).
- (ii) Diffusjonskoeffisienten for turbulent diffusjon er antatt lik 0,1 cm<sup>2</sup>/s (NGI/NIVA, 2000), dvs. 0,864 m<sup>2</sup>/d.
- (iii) Konsentrasjonsforskjellen er forskjellen mellom konsentrasjonen i dypvannet i Bekkelagsbassenget under forhøyet turbiditet og konsentrasjonen i vannmasser over 43 m vanndybde. For å karakterisere dypvannet er det brukt gjennomsnittskonsentrasjonen fra vannprøver tatt ved målestasjonene ved forhøyet turbiditet (Tabell 7). For å karakterisere vannmasser over 43 m er det brukt gjennomsnittskonsentrasjonen fra vannprøver tatt ved 40 m vanndybde fra TRef, MP3 og MP4 for metallene og POM-resultatene for PAH og PCB (se Tabell 4 - Tabell 5).
- (iv) Transportveien er den vertikale avstanden mellom nedføringenens utløp (65 m) og den laveste terskelen (ved 43 m), altså 22 m.

Analyseresultatene som er benyttet for å karakterisere dypvannet i perioden med forhøyet turbiditet, er vist i Tabell 7. Tidligere ble konsentrasjonen av PCB estimert basert på korrelasjoner mellom konsentrasjon av PCB og innhold av suspendert stoff gjort i forbindelse med utredning av nedføringen (NGI, 2007a og NGI, 2008b). Dette ble gjort da kvantifiseringsgrensen for analysen var høy, og tilnærmingen basert på kvantifiseringsgrensen i tilfeller der det

ikke ble påvist PCB, gav et for konservativt og urealistisk høyt nivå av PCB i vannmassen. Siden januar 2008 har imidlertid analyselaboratoriet forbedret kvantifiseringsgrensen for PCB, slik at måledataene kan benyttes direkte. Det er fremdeles ikke påvist PCB ved forhøyet turbiditet.

For vannmassene over 43 m terskeldyp er resultatene i Tabell 4 og Tabell 5 benyttet. Gjennomsnittskonsentrasjonene fra Tabell 4, Tabell 5 og Tabell 7 er benyttet videre i regnskapet.

*Tabell 7 Analyseresultater brukt for å karakterisere dypvannet i Bekkelagsbassenget under forhøyet turbiditet i perioden 1. januar til og med 31. oktober 2008, dvs. vannprøver tatt ved målestasjonene som har målt forhøyet turbiditet, som i denne perioden er MP4 og MP3. Konsentrasjonene er oppgitt som µg/l, og analyseresultater under kvantifiseringsgrense er vist i kursiv.*

Stoff	Prøvetakingsdato for vannprøver*				Gjennomsnitt <i>C<sub>dypvannet høy turb.</sub></i>
	02/04-08 <sup>1)</sup>	29/08-08 <sup>2)</sup>	25/09-08 <sup>2)</sup>	02/10-08 <sup>2)</sup>	
Hg	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Cd	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
Pb	0,482	0,627	0,692	0,678	0,6198
PAH <sub>16</sub>	0,177	0,187*	0,185	0,290	0,2098
PCB <sub>7</sub>	0,0037	0,0037	0,0037	0,0073	0,0046

\* Vannprøver ble tatt på 4 av de tilfellene med forhøyet turbiditet der episodene hadde forekommet i løpet av arbeidsdagen. \*\* Analyseresultatet er summen av påviste enkeltforbindelser samt halvparten av kvantifiseringsgrensen for enkeltforbindelsene som ikke er påvist. <sup>1)</sup>Målepunkt MP4. <sup>2)</sup>Målepunkt MP3.

Ved å benytte dataene fra Tabell 4, Tabell 5 og Tabell 7, likning 1 vist i kap. 2.2.1 og forutsetningene listet opp på side 9, er spredningen av metaller og organiske forbindelser ved turbulent diffusjon når turbiditeten har vært forhøyet, beregnet og vist i Tabell 8. Resultatene for spredning av metaller og organiske forbindelser ved turbulent diffusjon under forhøyet turbiditet i perioden 1. januar til og med 31. oktober 2008.

*Tabell 8 Resultatene for spredning av metaller og organiske forbindelser ved turbulent diffusjon under forhøyet turbiditet i perioden 1. januar til og med 31. oktober 2008.*

Stoff	<i>C<sub>dypvannet høy.turb.</sub></i>	<i>C<sub>vannet over 43m</sub></i>	<i>C<sub>dypvannet høy.turb.</sub> - C<sub>vannet over 43m</sub></i>	<i>F<sub>turbulent diffusjon høy.turb.</sub>*</i>
	(µg/l)			
Hg	0,001	0,001	0	0
Cd	0,025	0,0274	0	0
Pb	0,6198	0,5357	0,0841	203
PAH <sub>16</sub>	0,2098	0,0335	0,1763	426
PCB <sub>7</sub>	0,0046	0,000385	0,00422	10,2

\* $F_{\text{turbulent diffusjon forhøy. turb}} = [558.000 \text{ m}^2 * 0,864 \text{ m}^2/\text{d} * (C_{\text{dypvannet forhøy.turb.}} - C_{\text{vannet over 43m}}) \mu\text{g/l} \div 22 \text{ m}] * 110,2 \text{ d} * 10^3 \text{ l/m}^3 \div 10^6 \text{ g}/\mu\text{g}$ .

## 2.5 Spredning som følge av dypvannsutskiftning

I perioden fra desember 2007 til april 2008 ble det registrert en beskjeden dypvannsutskiftning der nytt, oksygenrikt vann strømmet inn og ned til ca. 50 m vanddyb i Bunnefjorden (NIVA, 2008). Denne dypvannsutskiftningen er allerede inkludert i miljøregnskapet for perioden juli til og med desember 2007 (NGI, 2008b). Hendelsen er derfor ikke inkludert i regnskapet for 2008. Det gjøres oppmerksom på at det i regnskapet for juli 2007 ut desember 2007, ble antatt at hele vannmassen (17 071 000 m<sup>3</sup>) hadde blitt fullstendig skiftet ut. Dette var meget konservativt da den inntrufne dypvannsutskiftningen kun omfattet et vannvolum på ca. 4 200 000 m<sup>3</sup>.

## 3 Miljøregnskapet for 2008 sammenlignet med miljøbudsjettet

I Tabell 9 er summen av spredning i perioder med og uten forhøyet turbiditet i 2008 vist som  $F_{\text{total jan-okt 2008}}$ . Til sammenligning er total spredning per 31. desember 2007 ( $F_{\text{total per 31.12.2007}}$ ), total spredning for tiltaksperioden ( $F_{\text{total per 31.10.2008}}$ ) og budsjettet vist (HAV, 2005).

*Tabell 9 Miljøregnskap per 31. oktober 2008 i forhold til miljøbudsjettet, et estimat av hvor mye spredning av metaller og organiske forbindelser som har funnet sted som resultat av nedføring av mudrede masser i dypvannsdeponiet ved Malmøykalven. Spredningen er oppgitt i gram (g).*

Stoff	$F_{\text{total per 31.12.2007}}$ *	Spredning i perioden 01.01.2008 – 31.10.2008				$F_{\text{total per 31.10.2008}}$	Budsjett**	Forbruk av budsjett**
		$F_{\text{turbulent diffusjon aksept.turb.}}$	$F_{\text{turbulent diffusjon høy.turb}}$	$F_{\text{dypvannsutskiftning}}$	$F_{\text{total jan-okt 2008}}$			
<b>Hg</b>	125	0	0	- <sup>1)</sup>	0	125	232	54
<b>Cd</b>	184	0	0	- <sup>1)</sup>	0	184	6 961	3
<b>Pb</b>	31 257	329	203	- <sup>1)</sup>	532	31 788	44 288	72
<b>PAH<sub>16</sub></b>	1 806	80	426	- <sup>1)</sup>	505	2 311	4 159	56
<b>PCB<sub>7</sub></b>	23	4,4	10,2	- <sup>1)</sup>	14,6	37	160	23

\* NGI, 2006b. \*\* HAV, 2005. <sup>1)</sup>Hendelsen allerede inkludert i rapporteringsperioden juli til og med desember 2007 (NGI, 2008b).

## 4 Konklusjon

Miljøregnskapet estimerer hvor mye spredning av metaller og organiske forbindelser som har funnet sted som resultat av nedføring av mudrede masser i dypvannsdeponiet ved Malmøykalven. Miljøregnskapet baserer seg på målinger av løste og partikkelbundne metaller og organiske forbindelser i vannprøver tatt regelmessig innenfor og utenfor deponiområdet, samt i perioder med forhøyet turbiditet. Regnskapet er nå oppdatert for å inkludere perioden

fra januar 2008 til og med oktober 2008. Bidraget fra 2008 inkluderer turbulent diffusjon under både akseptabel og forhøyet turbiditet. Spredning under dypvannsutsiftningen er ikke inkludert i denne rapporteringsperioden da det allerede er tatt med i regnskapet for juli til og med desember 2007.

I forhold til miljøbudsjettet som er utarbeidet for prosjektet, er forbruket av budsjettet fra prosjektets oppstart til slutføring av nedføringen på;

- 54 % for Hg
- 3 % for Cd
- 72 % for Pb
- 56 % for PAH16
- 23 % for PCB7.

NIVA har i tillegg gjort et estimat av hvor mye som kan ha spredd seg i de øvre vannmassene som følge av ulovlig dumping i overflaten (NIVA, 2007b). NIVAs vurderinger er basert på Det Norske Veritas sin utredning (DNV, 2007). Når disse estimatene legges til spredningen for hele tiltaksperioden (februar 2006 til og med oktober 2008), kan spredningen av kvikksølv ha kommet opp mot 97 %, PAH opp til 73 % og PCB fortsatt ikke er mer enn 27 % i forhold til miljøbudsjettet. Den reelle, observerte kvikksølvspreddingen har imidlertid vært meget lavt siden september 2006.

En samlet vurdering viser at spredningen under nedføring av mudrede masser til dypvannsdeponiet fra oppstarten i februar 2006 frem til ferdigstillelse i oktober 2008 ligger innenfor budsjettet som er lagt til grunn for tillatelsen til SFT (HAV, 2005).

## 5 Referanser

DNV (2007)

Uavhengig revisjon av Secora AS og Oslo HAV prosjektet. Rapport nr. 2007-1626, datert 17. desember 2007.

HAV (2005)

Søknad om etablering av dypvannsdeponi ved Malmøykalven i Oslo og Nesodden kommuner og deponering av forurensede sedimenter. Søknad til SFT, datert 30. juni 2005.

NGI (2001)

Opprydding av forurensede sedimenter. Tekniske løsninger for mudring, transport og deponering. NGI rapport 994104-2, datert 12. oktober 2001.

NGI (2006a)

Overvåking av forurensning ved mudring og deponering. Miljøregnskap per august 2006. NGI rapport 20051785-14, revisjon 2, datert 29. juni 2006.

## NGI (2006b)

Overvåking av forurensning ved mudring og deponering. Miljøregnskap for perioden september ut desember 2006. NGI rapport 20051785-22, revisjon 2, datert 29. juni 2006.

## NGI (2007a)

Overvåking av forurensning ved mudring og deponering. Miljøregnskap for nedføring i dypvannsdeponiet i perioden januar til juni 2007. NGI rapport 20051785-31, datert 11. oktober 2007.

## NGI (2007b)

Overvåking av forurensning ved mudring og deponering. Analyserapporter fra kjemisk analyse 2006. NGI rapport 20051785-26, datert 1. juni 2007.

## NGI (2008a)

Overvåking av forurensning ved mudring og deponering. Resultater fra sedimentfelleundersøkelser 2. halvår 2007. NGI rapport 20051785-40, datert 21. februar 2008.

## NGI (2008b)

Overvåking av forurensning ved mudring og deponering. Miljøregnskap for nedføring i dypvannsdeponiet i perioden juli til desember 2007. NGI rapport 20051785-39, datert 14. mars 2008.

## NGI (2008c)

Overvåking av forurensning ved mudring og deponering. Analyserapporter fra kjemisk analyse 2007. NGI rapport 20051785-41, datert 4. februar 2008.

## NGI (2009)

Overvåking av forurensning ved mudring og deponering. Analyserapporter fra kjemisk analyse 2008. NGI rapport 20051785-60, datert 16. januar 2009.

## NGI/NIVA (2000)

Oslo Havn - Deponering av sediment. Risiko for spredning av miljøgifter under etablering av dypvannsdeponi. Laboratorietester og simuleringsforsøk NGI-rapport 994104-1.

## NGI/NIVA (2003)

Dypvannsdeponi ved Malmøykalven. Tilleggsutredning til konsekvensutredning. Miljøbudsjett, kostnader og in situ tildekking. NGI rapport 20011067-1, datert 2. januar 2003.

## NIVA (2006)

Dypvannsdeponi Malmøykalven. Undersøkelser av partikkel- og miljøspredning under prøvedumping. NIVA-rapport 5221-2006.



Rapport nr.: 20051785-55  
Dato: 2009-02-12  
Rev. dato:  
Side: 14 / Rev.:

NIVA (2007)

Miljøkonsekvensvurdering. Utslipp av forurensete sedimenter til overflatelaget i deponiområdet ved Malmøykalven. NIVA-rapport 5513-2007.

NIVA (2008)

Fagrådets overvåkningsprogram. Fagrådet for vann og avløpsteknisk samarbeid i indre Oslofjord. Toktrapport fra 2008-05-13.

SFT (2007)

Revisjonsrapport ved Oslo Havn KF. Rapport nr. 2007.007.R.SFT.



# Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



Dokumentinformasjon/Document information									
Dokumenttittel/Document title Overvåking av forurensning ved mudring og deponering. Miljøregnskap for nedføring i dypvannsdeponiet i perioden januar til oktober 2008.						Dokument nr/Document No. 20051785-55			
Dokumenttype/Type of document		Distribusjon/Distribution				Dato/Date			
<input checked="" type="checkbox"/> Rapport/Report		<input type="checkbox"/> Fri/Unlimited				12. februar 2009			
<input type="checkbox"/> Teknisk notat/Technical Note		<input checked="" type="checkbox"/> Begrenset/Limited				Rev.nr./Rev.No.			
		<input type="checkbox"/> Ingen/None							
Oppdragsgiver/Client Oslo Havn KF									
Emneord/Keywords environmental geotechnology, field measurements, harbour, pollution, sea bed, sea water									
Stedfesting/Geographical information									
Land, fylke/Country, County Oslo						Havområde/Offshore area			
Kommune/Municipality Oslo						Feltnavn/Field name			
Sted/Location Oslo Havn						Sted/Location			
Kartblad/Map 1914 IV						Felt, blokknr./Field, Block No.			
UTM-koordinater/UTM-coordinates 321VNM375970									
Dokumentkontroll/Document control									
Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001									
Rev./Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision	Egenkontroll/ Self review av/by:	Sidemanns- kontroll/ Colleague review av/by:	Uavhengig kontroll/ Independent review av/by:	Tverrfaglig kontroll/ Inter- disciplinary review av/by:				
0	Originaldokument	GBr	AP	AKi					
Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release			Dato/Date			Sign. Prosjektleder/Project Manager			
						Audun Hauge			

NGI er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen geofagene. Vi utvikler optimale løsninger for samfunnet, og tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg.

NGI arbeider i følgende markeder: olje og gass, bygg og anlegg, samferdsel, naturskade og miljøteknologi.

NGI er en privat stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskap i Houston, Texas, USA.

NGI ble utnevnt til "Senter for fremragende forskning" (SFF) i 2002, og leder "International Centre for Geohazards" (ICG).

[www.ngi.no](http://www.ngi.no)

NGI is a leading international centre for research and consulting in the geosciences.

NGI develops optimum solutions for society, and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the environment, installations and structures.

NGI works within the oil and gas, building and construction, transportation, natural hazards and environment sectors.

NGI is a private foundation with office and laboratory in Oslo, branch office in Trondheim and daughter company in Houston, Texas, USA. NGI was awarded Centre of Excellence status in 2002, and leads the International Centre for Geohazards (ICG).

[www.ngi.no](http://www.ngi.no)



Hovedkontor/Main office:  
PO Box 3930 Ullevål Stadion,  
NO-0806 Oslo  
Norway

Besøksadresse/Street address:  
Sognsvelen 72, NO-0855 Oslo

Avd Trondheim/Tromsø office:  
PO Box 1230 Pilsenerferet  
NO-7462 Trondheim  
Norway

Besøksadresse/Street address:  
Pilsenerferet, Havnegata 9, NO-7010 Trondheim

T: (+47) 22 02 30 00  
F: (+47) 22 23 04 48

[ngi@ngi.no](mailto:ngi@ngi.no)  
[www.ngi.no](http://www.ngi.no)

Kontonr 5096 05 01281 / IBAN NO26 5096 0501 281  
Org. nr./Company No.: 958 254 318 MVA

BSI EN ISO 9001  
Sertifisert av/Certified by BSI, Reg. No. FS 32989

