

# Overvåking av forurensning ved mudring og deponering

## Miljøregnskap for perioden september til desember 2006

20051785-22

27. mars 2007

Rev. 1

10. mai 2007

**Rev. 2**

**29. juni 2007**

Ved elektronisk overføring kan det ikke garanteres for konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet må ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemann 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 risk and take full responsibility for use of this document.*

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



# Overvåking av forurensning ved mudring og deponering

Miljøregnskap for perioden september til  
desember 2006

20051785-22	27. mars 2007
Rev. 1	10. mai 2007
Rev. 2	29. juni 2007

**Oppdragsgiver:** Oslo Havn KF

Kontaktperson: Charlotte Iversen  
Kontraktreferanse: 40HAV05

**For Norges Geotekniske Institutt**

Prosjektleder: Audun Hauge

Rapport utarbeidet av: Amy 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. Det er tidligere utarbeidet et regnskap for perioden fra prosjektets oppstart i februar 2006 og ut august 2006. Regnskapet som her presenteres omfatter perioden fra september 2006 til og med desember 2006.

Da det i siste kvartal av 2006 ikke har vært noen dypvannsutskiftning, har spredning kun skjedd ved turbulent diffusjon, dvs. diffusjon av løste og partikkelbundne vannmasser til vannmassene over. Denne diffusjonen finner sted både ved akseptabel og forhøyet turbiditet. Resultatene sees i sammenheng med miljøbudsjett, som tidligere er utarbeidet i konsekvensutredningen og søknaden for prosjektet. Forbruk av miljøbudsjett fram til 2006-12-31 viser 49 % forbruk i forhold til kvikksølv (Hg), 3 % for kadmium (Cd), 37 % for bly (Pb), 22 % for polyaromatiske hydrokarboner (PAH) og 11 % for polyklorerte bifenyler (PCB). Regnskapet viser at spredningen under nedføring av mudrede masser til dypvannsdeponiet i 2006 har vært på akseptabelt nivå, og ligger godt innenfor budsjettet som er lagt til grunn for tillatelsen.

Hvis en dypvannsutskiftning hadde funnet sted i siste kvartal av 2006, ville det ha hatt størst betydning for spredning av bly, som da ville ha nådd 67 % forbruk i forhold til miljøbudsjettet. Ettersom en ny dypvannsutskiftning er på gang i 2007, er det viktig å kontrollere nedføringsoperasjonen slik at spredning av de mudrede massene minimaliseres under dypvannsutskiftningen.



## Innhold

1	INNLEDNING .....	4
2	INNGANGSDATA TIL MODELL FOR SPREDNING.....	4
	2.1 Spredning som følge av turbulent diffusjon under akseptabel turbiditet .....	4
	2.2 Spredning som følge av turbulent diffusjon under forhøyd turbiditet7	
	2.3 Spredning som følge av dypvannsutskiftning.....	9
3	MILJØREGNSKAP OG SAMHOLD MED MILJØBUDSJETT .....	11
4	KONKLUSJON OG ANBEFALINGER .....	13
5	REFERANSER .....	14

## Kontroll- og referanseside

## 1 INNLEDNING

Med bakgrunn i overvåkningsdata er det utarbeidet miljøregnskap som estimerer spredningen av metaller og organiske forbindelser som har funnet sted som resultat av nedføring av mudrede masser i dypvannsdeponiet ved Malmøykalven. Spredning defineres som transport av løste eller partikkelbundne stoffer fra dype vannmasser til vannmasser over terskeldybde på 43 m. Prinsippene brukt i utarbeidelse av miljøregnskapet er tidligere beskrevet av NGI (2006a), og omfatter at eventuell spredning hovedsakelig vil skje ved:

- (i) turbulent diffusjon fra dypere vannmasser til vannmasser over
- (ii) transport ut av deponiområdet med vannmasser som skiftes ut i dypvannsutskiftninger

Det er tidligere utarbeidet et regnskap for perioden fra prosjektets oppstart i februar 2006 og ut august 2006 (NGI 2006a). Regnskapet som her presenteres omfatter perioden fra september 2006 til og med desember 2006.

## 2 INNGANGSDATA TIL MODELL FOR SPREDNING

Miljøregnskapet er basert på de kjemiske analyseresultatene av vannprøver som inkluderer både løste og partikkelbundne stoffer tatt i forbindelse med forhøyet turbiditet, samt regelmessige vannprøver tatt innenfor og utenfor deponiområdet. Alle analyseresultatene er fortløpende presentert i månedsrapportene som er tilgjengelige på Ren Oslofjords nettsider.

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 satt 3 til 10 ganger høyere enn deteksjonsgrensen. Da PCB ikke er påvist i noen vannprøver og har en relativt høy kvantifiseringsgrense i forhold til tidligere målte konsentrasjoner av PCB (NIVA, 2006), er det gjort et estimat av PCB-konsentrasjonen i vannprøvene ved å ekstrapolere fra suspendert stoff basert på korrelasjoner mellom konsentrasjon av PCB og innhold av suspendert stoff dokumentert av NIVA (2006) under prøvedumping i dypvannsdeponiet før prosjektets oppstart.

### 2.1 Spredning som følge av turbulent diffusjon under akseptabel turbiditet

Som tidligere beskrevet (NGI, 2006a) er spredning ved turbulent diffusjon basert på:

- (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 ( $\Delta z$ )

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

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

- (i) Sedimentarealet i dypvannsdeponiet er satt lik 350 000 m<sup>2</sup>, dvs. arealet av ferdig oppfylt deponiområde ved 63 m vanddybde (NGI, 2001). Dette er også arealet som er brukt i utarbeidelse av miljøbudsjett (HAV, 2005).
- (ii) Diffusjonskoeffisient for turbulent diffusjon er antatt 0,1 cm<sup>2</sup>/s (NGI/NIVA, 2000), som er lik 0,864 m<sup>2</sup>/d.
- (iii) Konsentrasjonsforskjellen er forskjellen mellom konsentrasjonen i dypvannet i deponiområdet og konsentrasjon i vannmasser over 43 m vanddybde. 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 vanddybde fra TRef, MP2, MP3 og MP4 for metallene og resultatene fra passive prøvetakere ved rundt 40 m vanddybde ved MP3 og MP4 for PAH og PCB, benyttet. Analyseresultatene brukt i regnskapet er presentert i tabell 1-4.
- (iv) Transportveien er avstand mellom utløp til nedføringsenheten (65 m) til nivå av den laveste terskelen ved 43 m, altså 22 m.

*Tabell 1 Analyseresultater brukt for å karakterisere dypvannet i deponiområdet når turbiditeten har vært på akseptabelt nivå i perioden 2006-09-01 – 2006-12-31, 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</sub> aksept.turb.
	24/8-06*	5/10-06	25/10-06	16/11-06	13/12-06	
Hg	0,0039	<i>0,001</i>	<i>0,001</i>	<i>0,001</i>	<i>0,001</i>	0,0016
Cd	<i>0,025</i>	<i>0,025</i>	<i>0,025</i>	0,0667	<i>0,025</i>	0,0333
Pb	2,62	<i>0,15</i>	1,49	4,82	<i>0,15</i>	2,0046
PAH <sub>16</sub>	0,16**	<i>0,075</i>	0,115**	<i>0,075</i>	<i>0,075</i>	0,100
PCB <sub>7</sub>	<i>0,035</i>	<i>0,035</i>	<i>0,035</i>	<i>0,035</i>	<i>0,035</i>	i.b.

\* Vannprøver tatt i august ble ikke inkludert i miljøregnskapet fra prosjektets oppstart i februar og ut august (NGI, 2006a), og er derfor inkludert for perioden september t.o.m. desember 2006.

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

i.b. = ikke brukt i miljøregnskap, se tabell 2.

**Tabell 2** *Konsentrasjoner av PCB brukt for å karakterisere PCB i dypvannet i deponiområdet når turbiditeten har vært på akseptabelt nivå i perioden 2006-09-01 – 2006-12-31..*

Stoff	Prøvetakingsdato for vannprøver					Gjennomsnitt C <sub>dypvannet</sub> aksept.turb.
	24/8-06*	5/10-06	25/10-06	16/11-06	13/12-06	
Suspendert stoff (mg/l)	10	2,7	5,8	9,2	22	-
PCB <sub>7</sub> ** (µg/l)	0,0024	0,0015	0,0018	0,0024	0,0031	0,0022

\* Vannprøver tatt i august ble ikke inkludert i miljøregnskapet fra prosjektets oppstart i februar og ut august (NGI, 2006a), og er derfor inkludert for perioden september t.o.m. desember 2006.

\*\* Ekstrapolert basert på innhold av suspendert stoff i vannprøver tatt ved prøvedumping (NIVA, 2006).

**Tabell 3** *Analyseresultater brukt for å karakterisere vannmasser over 43 m vanndybde i perioden 2006-09-01 – 2006-12-31. dvs. vannprøver tatt ved 40 m vanndybde ved målestasjonene TRef, MP2, 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>	
	24/8-06*			5/10-06			25/10-06			13/12-06				
	TRef	MP2	MP4	TRef	MP2	MP4	TRef	MP2	MP4	TRef	MP2	MP3		MP4
Hg	<i>0,001</i>	<i>0,001</i>	<i>0,001</i>	<i>0,001</i>	<i>0,001</i>	<i>0,001</i>	<i>0,001</i>	<i>0,001</i>	<i>0,001</i>	<i>0,001</i>	<i>0,001</i>	<i>0,001</i>	<i>0,001</i>	0,001
Cd	<i>0,025</i>	<i>0,025</i>	<i>0,025</i>	<i>0,025</i>	<i>0,025</i>	<i>0,025</i>	<i>0,025</i>	<i>0,025</i>	<i>0,025</i>	<i>0,025</i>	<i>0,025</i>	<i>0,025</i>	<i>0,025</i>	0,025
Pb	<i>0,15</i>	0,416	0,346	0,485	<i>0,15</i>	<i>0,15</i>	0,522	1,12	0,895	<i>0,15</i>	<i>0,15</i>	<i>0,15</i>	<i>0,15</i>	0,3718
PAH <sub>16</sub>	<i>0,075</i>	i.a.	i.a.	<i>0,075</i>	i.a.	i.a.	<i>0,075</i>	i.a.	i.a.	<i>0,075</i>	<i>0,075</i>	<i>0,075</i>	<i>0,082</i> **	i.b.
PCB <sub>7</sub>	<i>0,035</i>	i.a.	i.a.	<i>0,035</i>	i.a.	i.a.	<i>0,035</i>	i.a.	i.a.	<i>0,035</i>	<i>0,035</i>	<i>0,035</i>	<i>0,035</i>	i.b.

\*\* Vannprøver tatt i august ble ikke inkludert i miljøregnskapet fra prosjektets oppstart i februar og ut august (NGI, 2006a), og er derfor inkludert for perioden september t.o.m. desember 2006.

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

i.a. = ikke analysert. i.b. = ikke brukt i miljøregnskap, se tabell 4.

**Tabell 4** *Analyseresultater fra overvåking ved bruk av passive prøvetakere (polyoxy methylene, POM) for å karakterisere PAH og PCB i vannmasser over 43 m vanndybde i perioden 2006-09-01 – 2006-12-31. Resultatene fra ca. 40 m vanndybde er brukt i regnskapet. Konsentrasjonene er oppgitt som µg/l.*

Stoff	POM satt ut fra 22/9-06 t.o.m 6/11-06.				Gjennomsnitt C <sub>vannet over 43m</sub>
	MP3		MP4		
	33 m	43 m	27 m	39 m	
PAH*	0,008236	0,15627	0,008267	0,010106	0,0457
PCB <sub>7</sub>	0,000064	0,000064	0,000047	0,000029	0,000051

\* For POM-analysen er 3 av 16 standard PAH-forbindelser ikke inkludert (acenaftalen, acenaften og dibenzo[a,h]antracen), i tillegg til at benzo[e]perylene er inkludert. Detaljene er tidligere beskrevet i (NGI, 2006b).

Det presiseres at passive prøvetakere kun måler løste forbindelser. Men ettersom turbiditeten i vannprøvene tatt over 43 m er lave ( $\leq 1$  NTU), gir POM-resultatene en mer korrekt karakterisering av konsentrasjonen av PAH og PCB i vannmasser over 43 m vanddybde enn å bruke halvparten av kvantifiseringsgrensen.

Tabell 5 viser resultatene for spredning av metaller og organiske forbindelser ved turbulent diffusjon når turbiditeten har vært på akseptabelt nivå. Perioden 2006-09-01 – 2006-12-31 er 121 dager. I denne perioden er det registrert 3 tilfeller med forhøyet turbiditet som kan relateres til nedføringen. For å være konservativ er antallet overskridelser ganget med 2, slik at beregnet spredning pga. forhøyet turbiditet er satt til 6 dager. Antall dager når turbiditeten har vært akseptabel er da 115.

*Tabell 5 Resultatene for spredning av metaller og organiske forbindelser ved turbulent diffusjon når turbiditeten har vært akseptabel i perioden 2006-09-01 – 2006-12-31.*

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	0,0016	0,001	0,0006	0,9
Cd	0,0333	0,025	0,0083	13
Pb	2,0046	0,3718	1,6328	2 581
PAH <sub>16</sub>	0,100	0,0457	0,0543	86
PCB <sub>7</sub>	0,0022	0,000051	0,00219	3,5

\*  $F_{\text{turbulent diffusjon aksept. turb}} = [350.000 \text{ m}^2 * 0,864 \text{ m}^2/\text{d} * (C_{\text{dypvannet forhøy.turb.}} - C_{\text{vannet over 43m}}) \mu\text{g/l} \div 22 \text{ m}] * 115 \text{ d} * 10^3 \text{ l/m}^3 \div 10^6 \text{ g}/\mu\text{g}$ .

## 2.2 Spredning som følge av turbulent diffusjon under forhøyet turbiditet

Som beskrevet i kap. 2.1 er det registret 3 tilfeller med forhøyet turbiditet i perioden fra september til og med desember. For å være konservativ er antallet overskridelser ganget med 2, slik at beregnet spredning pga. forhøyet turbiditet er satt til 6 dager. Spredningen er beregnet ved hjelp av ligning (1), se kap. 2.1, med følgende forutsetningene:

- (i) Arealet er satt lik 558 000 m<sup>2</sup>, dvs. arealet av Bekkelagsbassenget ved 66 m vanddybde (som er større en dypvannsdeponiarealet).
- (ii) Diffusjonskoeffisient for turbulent diffusjon er antatt 0,1 cm<sup>2</sup>/s (NGI/NIVA, 2000) som er lik 0,864 m<sup>2</sup>/d.
- (iii) Konsentrasjonsforskjellen er forskjellen mellom konsentrasjonen i dypvannet i Bekkelagsbassenget under forhøyet turbiditet og konsentrasjon i vannmasser over 43 m vanddybde. For å karakterisere dypvannet er det brukt gjennomsnittskonsentrasjonen fra vannprøver tatt ved målestasjonene ved forhøyet turbiditet (se tabell 6 og 7). For å karakterisere vannmasser over 43 m er det brukt gjennomsnittskonsentrasjonen fra vannprøver tatt ved 40 m vanddybde fra TRef, MP2, MP3 og MP4 for metallene og POM-resultatene for PAH og PCB (se tabell 3 og 4).



- (iv) Transportveien er avstanden mellom utløpet og nedføringsenheten (65 m) til nivå av den laveste terskelen ved 43 m, altså 22 m.

**Tabell 6** *Analyseresultater brukt for å karakterisere dypvannet i Bekkelagsbassenget under forhøyet turbiditet i perioden 2006-09-01 – 2006-12-31, dvs. vannprøver tatt ved målestasjonen som har målt forhøyet turbiditet, som i denne perioden er MP3. Konsentrasjonene er oppgitt som µg/l, og analyseresultater under kvantifiseringsgrense er vist i kursiv.*

Stoff	Prøvetakingsdato for vannprøver*		Gjennomsnitt <i>C</i> <sub>dypvannet høy.turb.</sub>
	13/10-06	9/11-06	
Hg	0,0046	0,001	0,0028
Cd	0,0551	0,025	0,0401
Pb	6,22	0,701	3,4605
PAH <sub>16</sub>	0,111**	0,075	0,0930
PCB <sub>7</sub>	0,035	0,035	i.b.

\* Vannprøver ble tatt på kun to av de tre tilfellene med forhøyet turbiditet.

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

i.b. = ikke brukt i miljøregnskap, se tabell 7.

**Tabell 7** *Konsentrasjoner av PCB ekstrapolert basert på innhold av suspendert stoff som er brukt for å karakterisere PCB i dypvannet i Bekkelagsbassenget under forhøyet turbiditet i perioden 2006-09-01 – 2006-12-31.*

Stoff	Prøvetakingsdato for vannprøver		Gjennomsnitt <i>C</i> <sub>dypvannet høy.turb.</sub>
	13/10-06	9/11-06	
Suspendert stoff (mg/l)	17	7,3	-
PCB <sub>7</sub> (µg/l)*	0,0031	0,0024	0,0028

\* Ekstrapolert basert på innhold av suspendert stoff i vannprøver tatt ved prøvedumping (NIVA, 2006).

Tabell 8 viser resultatene for spredning av metaller og organiske forbindelser ved turbulent diffusjon under forhøyet turbiditet.

**Tabell 8** *Resultatene for spredning av metaller og organiske forbindelser ved turbulent diffusjon under forhøyet turbiditet i perioden 2006-09-01 – 2006-12-31.*

Stoff	<i>C</i> <sub>dypvannet høy.turb.</sub>	<i>C</i> <sub>vannet over 43m</sub>	<i>C</i> <sub>dypvannet høy.turb.</sub> – <i>C</i> <sub>vannet over 43m</sub>	<i>F</i> <sub>turbulent diffusjon høy.turb.</sub> *
	(µg/l)			(g)
Hg	0,0028	0,001	0,0018	0,1
Cd	0,0401	0,025	0,0151	1,1
Pb	3,4605	0,3718	3,0887	215
PAH <sub>16</sub>	0,0930	0,0457	0,0473	7,1
PCB <sub>7</sub>	0,0028	0,000051	0,0027	0,3

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

### 2.3 Spredning som følge av dypvannsutskiftning

I perioden fra september til og med desember 2006 er det ikke registrert dypvannsutskiftning i indre Oslofjord (NIVA, 2007). Da transport av vannmasser under dypvannsutskiftning er den viktigste mekanismen for spredningen under nedføringsarbeid (NGI, 2006a), er det beregnet hva dypvannsutskiftning ville bety for miljøregnskapet dersom den hadde funnet sted i perioden.

Som tidligere beskrevet (NGI, 2006a) er spredning under dypvannsutskiftning basert på:

- (i) volumet vann som er skiftet ut i løpet av perioden ( $V$ ) og
- (ii) konsentrasjonsforskjell mellom vann i deponiområdet og vannet utenfor i Bunnefjorden ( $C_{\text{dypvannet utskift.}} - C_{\text{utenfor deponi}}$ ):

$$F_{\text{dypvannsutskiftning}} = V \times (C_{\text{dypvannet-utskift.}} - C_{\text{utenfor-deponi}}) \quad (\text{likning 2})$$

For spredning som følge av dypvannsutskiftning gjelder følgende forutsetninger for miljøregnskapet:

- (i) Vannvolumet er satt lik 17 071 000 m<sup>3</sup>. Dette er basert på volum av deponiet opp til 66 m vanndybde, 391 000 m<sup>3</sup> (naturlig volum av bassenget i deponiområdet (NGI, 2001)), i tillegg til volum av en avkuttet kjegle med arealer på 558 000 m<sup>2</sup> (arealet ved 66 m vanndybde) og 906 500 m<sup>2</sup> (arealet ved 43 m vanndybde).
- (ii) Konsentrasjonsforskjellen er forskjellen i konsentrasjonen mellom dypvannet i Bekkelagsbassenget, inklusive deponiområdet, og konsentrasjonen i vannmasser utenfor deponiområdet i Bunnefjorden. For å karakterisere dypvannet i Bekkelagsbassenget er det brukt gjennomsnittskonsentrasjon fra vannprøver tatt ved målestasjonene ved forhøyet turbiditet i tillegg til vannprøver tatt 5 m over sjøbunnen ved nedføringsenheten (H2) og målestasjonene MP2, MP3 og MP4 (se tabell 9 og 10). For å karakterisere vannmassene utenfor deponiområdet er det brukt gjennomsnittskonsentrasjon av metaller, PAH og PCB fra vannprøver tatt 5 m over sjøbunnen i Bunnefjorden (se tabell 11 og 12).

**Tabell 9** *Analyseresultater brukt for å karakterisere dypvannet i Bekkelagsbassenget under en hypotetisk dypvannsutskiftning i perioden 2006-09-01 – 2006-12-31). Konsentrasjonene er oppgitt som µg/l, og analyseresultater under kvantifiseringsgrensen er vist i kursiv.*

Stoff	Prøvetakingsdato for vannprøver																Gjennomsnitt C <sub>dypvannet</sub> utskift.
	247/8-6*			5/10-6			13/10-06	25/10-06			9/11-06	16/11-06	13/12-06				
	H2	MP2	MP4	H2	MP2	MP4	MP3	H2	MP2	MP4	MP3	H2	H2	MP2	MP3	MP4	
Hg	0,004	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	0,001	0,001	0,0014
Cd	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,053	0,025	0,025	0,025	0,025	0,067	0,025	0,025	0,025	0,025	0,0295
Pb	2,62	0,45	0,419	0,15	0,443	0,15	8,77	1,49	0,15	1,41	0,15	4,82	0,943	0,15	0,321	0,344	1,2988
PAH <sub>16</sub>	0,16**	0,075	0,09**	0,075	0,075	0,075	0,075	0,115**	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,0859
PCB <sub>7</sub>	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	i. b.

\* Vannprøver tatt i august ble ikke inkludert i miljøregnskapet fra prosjektets oppstart i februar og ut august (NGI, 2006a), men er inkludert for perioden september t.o.m. desember 2006.

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

**Tabell 10** *Konsentrasjoner av PCB brukt for å karakterisere PCB i dypvannet i Bekkelagsbassenget under en hypotetisk dypvannsutskiftning i perioden 2006-09-01 – 2006-12-31.*

Stoff	Prøvetakingsdato for vannprøver																Gjennomsnitt C <sub>dypvannet</sub> utskift.
	247/8-6*			5/10-6			13/10-06	25/10-06			9/11-06	16/11-06	13/12-06				
	H2	MP2	MP4	H2	MP2	MP4	MP3	H2	MP2	MP4	MP3	H2	H2	MP2	MP3	MP4	
SS (mg/l)	10	2,5	8	2,7	4,1	3,8	17	5,8	6	5,4	7,3	9,2	22	8	4,9	5,4	-
PCB <sub>7</sub> ** (µg/l)	0,0024	0,0015	0,0024	0,0015	0,0018	0,0018	0,0031	0,0018	0,0018	0,0018	0,0024	0,0024	0,0031	0,0024	0,0018	0,0018	0,0021

\* Vannprøver tatt i august ble ikke inkludert i miljøregnskapet fra prosjektets oppstart i februar og ut august (NGI, 2006a), og er derfor inkludert for perioden september t.o.m. desember 2006.

\*\* Ekstrapolert basert på innhold av suspendert stoff i vannprøver tatt ved prøvedumping (NIVA, 2006). SS = suspendert stoff.

**Tabell 11** *Analyseresultater brukt for å karakterisere vannmasser utenfor deponiområdet under en hypotetisk dypvannsutskiftning i perioden 01.09.2006 - 31.12.2006. Vannprøver tatt 5 m over sjøbunnen i Bunnefjorden. Konsentrasjonene er oppgitt som µg/l, og analyse-resultater under kvantifiseringsgrensen er vist i kursiv.*

Stoff	Vannprøvetakingsdato for vannprøver				Gjennomsnitt C <sub>utenfor deponi</sub>
	24/8-06*	5/10-06	25/10-06	13/12-06	
Hg	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Cd	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
Pb	0,937	0,15	0,875	0,15	0,528
PAH <sub>16</sub>	i. a.	0,075	i. a.	0,075	0,075
PCB <sub>7</sub>	i. a.	0,035	i. a.	0,035	i. b.

\* Vannprøver tatt i august ble ikke inkludert i miljøregnskapet fra prosjektets oppstart i februar og ut august (NGI, 2006a), og er derfor inkludert for perioden september t.o.m. desember 2006.

i. a. = ikke analysert.

*Tabell 12 Konsentrasjoner av PCB ekstrapolert basert på innhold av suspendert stoff som er brukt for å karakterisere PCB i vannmasser utenfor deponiområdet under en hypotetisk dypvannsutskiftning i perioden 2006-09-01 – 2006-12-31.*

Stoff	Vannprøvetakingsdato for vannprøver				Gjennomsnitt C <sub>utenfor deponi</sub>
	24/8-06*	5/10-06	25/10-06	13/12-06	
Suspendert stoff (mg/l)	2,5	5,7	7,1	6,3	-
PCB <sub>7</sub> ** (µg/l)	0,0015	0,0018	0,0018	0,0018	0,0017

\* Vannprøver tatt i august ble ikke inkludert i miljøregnskapet fra prosjektets oppstart i februar og ut august (NGI, 2006a), og er derfor inkludert for perioden september t.o.m. desember 2006.

\*\* Ekstrapolert basert på innhold av suspendert stoff i vannprøver tatt ved prøvedumping (NIVA, 2006).

Tabell 13 viser resultatene for transport av metaller og organiske forbindelser under en hypotetisk dypvannsutskiftning. I beregningene er det antatt at hele vannmassen, dvs. 17 071 000 m<sup>3</sup>, har blitt skiftet ut én gang i løpet av perioden.

*Tabell 13 Resultatene for spredning av metaller og organiske forbindelser ved en hypotetisk dypvannsutskiftning i perioden 2006-09-01 – 2006-12-31.*

Stoff	C <sub>dypvannet utskift.</sub>	C <sub>utenfor deponi</sub>	C <sub>dypvannet utskift.</sub> – C <sub>utenfor deponi</sub>	F <sub>dypvannsutskiftning</sub> *
	(µg/l)			(g)
Hg	0,0014	0,001	0,0004	7
Cd	0,0295	0,025	0,0045	77
Pb	1,2988	0,528	0,7708	13 159
PAH <sub>16</sub>	0,0859	0,075	0,0109	187
PCB <sub>7</sub>	0,0021	0,0017	0,0004	6,6

\*  $F_{\text{dypvannsutskiftning}} = [17.071.000 \text{ m}^3 * (C_{\text{dypvannet utskift.}} - C_{\text{utenfor deponi}}) \mu\text{g/l}] * 10^3 \text{ l/m}^3 + 10^6 \text{ g/}\mu\text{g}.$

### 3 MILJØREGNSKAP OG SAMHOLD MED MILJØBUDSJETT

Total spredning er summen av alle aktuelle spredningsmekanismer, i dette tilfellet turbulent diffusjon fra dypere vannmasser til vannmasser over (både under akseptabel og forhøyet turbiditet), samt eventuell transport av metaller og organiske forbindelser ut av deponiområdet som følge av dypvannsutskiftning. Resultatene for total spredning i perioden fra september til og med desember 2006 presenteres i tabell 14. Disse resultatene sammen med miljøregnskapet fra februar til august 2006 kan da sammenlignes med den estimerte spredningen som er presentert i miljøbudsjettet (HAV, 2005).

*Tabell 14 Miljøregnskap per 2006-12-31 i forhold til miljøbudsjett, 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 <sub>total</sub> feb-aug 2006*	Spredning i perioden 01.09.2006 – 31.12.2006				F <sub>total</sub> per 31.12.2006	Budsjett ***	Forbruk av budsjett
		F <sub>turbulent</sub> diffusjon aksept.turb.	F <sub>turbulent</sub> diffusjon høy.turb.	F <sub>dypvanns</sub> utskiftning**	F <sub>total</sub> sep-des 2006			
Hg	113	0,9	0,1	0	1	114	232	49 %
Cd	164	13	1,1	0	14	178	6961	3 %
Pb	13 550	2 581	215	0	2 796	16 346	44288	37 %
PAH <sub>16</sub>	821	86	7,1	0	93	914	4159	22 %
PCB <sub>7</sub>	13****	3,5	0,3	0	3,8	17	160	11 %

\* NGI, 2006a, hvis ikke annet er spesifisert.

\*\* Ingen dypvannsutskiftning i perioden 2006-09-01 – 2006-12-31.

\*\*\* HAV, 2005.

\*\*\*\* Revidert basert på gjennomsnittskonsentrasjoner av PCB presentert i denne rapporten.

Tabell 14 viser at for Hg, Cd, Pb, PAH<sub>16</sub> og PCB<sub>7</sub> har det vært liten spredning i perioden 2006-09-01 – 2006-12-31 sammenlignet med perioden 2006-02-27 – 2006-08-31. Årsaken er sannsynligvis at det ikke har vært dypvannsutskiftning i perioden 2006-09-01 – 2006-12-31. En samlet vurdering viser at spredningen under nedføring av mudrede masser til dypvannsdeponiet i 2006 har vært akseptabel, og ligger godt innenfor budsjettet som er lagt til grunn for tillatelsen.

Dersom det hadde vært en dypvannsutskiftning i perioden ville man ha sett noe større forbruk av miljøbudsjettet. I tabell 15 er dette vist. Konsekvensen av en slike hypotetisk dypvannsutskiftning har størst konsekvens for Pb, som da ville ha forbrukt 67 % av sitt miljøbudsjett. Disse resultatene poengterer behovet for å kontrollere nedføringsoperasjonen slik at spredning av de mudrede massene minimaliseres, spesielt under en dypvannsutskiftning.

*Tabell 15 Miljøregnskap per 2006-12-31 med en **hypotetisk** dypvannsutskiftning i perioden fra september til og med desember 2006 i forhold til miljøbudsjett, en illustrasjon av hvor mye spredning av metaller og organiske forbindelser som **kunne** har funnet sted som resultat av nedføring av mudrede masser i dypvannsdeponi ved Malmøykalven. Spredningen er oppgitt i gram (g).*

Stoff	F <sub>total feb-aug 2006*</sub>	Spredning i perioden 01.09.2006 – 31.12.2006				F <sub>total per 31.12.2006</sub>	Budsjett***	Hypotetisk forbruk av budsjett
		F <sub>turbulent diffusjon aksept.turb.</sub>	F <sub>turbulent diffusjon høy.turb.</sub>	F <sub>dypvannsutskiftning**</sub>	F <sub>total sep-des 2006</sub>			
Hg	113	0,9	0,1	7	8	121	232	52%
Cd	164	13	1,1	77	91	255	6961	4%
Pb	13 550	2 581	215	13 159	15 955	29 505	44288	67%
PAH <sub>16</sub>	821	86	7,1	187	280	1 101	4159	26%
PCB <sub>7</sub>	13****	3,5	0,3	6,6	10,4	23	160	14%

\* NGI, 2006a, hvis ikke annet er spesifisert.

\*\* Hypotetisk transport ved dypvannsutskiftning.

\*\*\* HAV, 2005.

\*\*\*\* Revidert basert på gjennomsnittskonsentrasjoner av PCB presentert i denne rapporten.

#### 4 KONKLUSJON OG ANBEFALINGER

Miljøregnskapet som estimerer hvor mye spredning av metaller og organiske forbindelser som har funnet sted som resultat av nedføring av mudrede masser i dypvannsdeponiet ved Malmøykalven, er nå oppdatert for å inkludere perioden fra september 2006 til og med desember 2006. I denne perioden har det ikke vært en dypvannsutskiftning, slik at spredning har skjedd kun ved turbulent diffusjon under både akseptabel og forhøyet turbiditet. Resultatene sett i sammenheng med miljøbudsjettet som er utarbeidet for prosjektet viser et forbruk av budsjettet per 2006-12-31 på 49 % i forhold til Hg, 3 % for Cd, 37 % for Pb, 22 % for PAH<sub>16</sub> og 11 % for PCB<sub>7</sub>.

Dersom en dypvannsutskiftning hadde funnet sted, ville det ha hatt størst betydning for spredningen av bly, som da ville ha nådd 67 % forbruk i forhold til miljøbudsjettet. Ettersom en ny dypvannsutskiftning er på gang i 2007, er det viktig å kontrollere nedføringsoperasjonen slik at spredning av de mudrede massene minimaliseres under dypvannsutskiftningen.



## 5 REFERANSER

### 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, foreløpig utgave datert 2. november 2006.

### NGI (2006b)

Overvåking av forurensning ved mudring og deponering. Passive prøvetakere rundt dypvannsdeponiet ved Malmøykalven. NGI rapport 20051785-15, datert 1. desember 2006.

### NGI/NIVA (2000)

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

### NIVA (2006)

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

### NIVA (2007)

Fagrådets overvåkningsprogram. Fagrådet for vann og avløpsteknisk samarbeid i indre Oslofjord. Toktrapport fra 2007-02-07.

# Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



<b>Dokumentinformasjon/Document information</b>						
<b>Dokumenttittel/Document title</b> Overvåking av forurensning ved mudring og deponering. Miljøregnskap for perioden september til desember 2006.				<b>Dokument nr./Document No.</b> 20051785-22		
<b>Dokumenttype/Type of document</b>		<b>Distribusjon/Distribution</b>		<b>Dato/Date</b> 27. mars 2007		
<input checked="" type="checkbox"/> Rapport/Report		<input type="checkbox"/> Fri/Unlimited		<b>Rev.nr./Rev.No.</b> Rev. 1, 10. mai 2007		
<input type="checkbox"/> Teknisk notat/Technical Note		<input checked="" type="checkbox"/> Begrenset/Limited		Rev. 2, 29. juni 2007		
		<input type="checkbox"/> Ingen/None				
<b>Oppdragsgiver/Client</b> HAV						
<b>Emneord/Keywords</b> Environmental geotechnology, field measurements, harbour, sea bed, sea water						
<b>Stedfesting/Geographical information</b>						
<b>Land, fylke/Country, County</b> Oslo				<b>Havområde/Offshore area</b>		
<b>Kommune/Municipality</b> Oslo				<b>Felt navn/Field name</b>		
<b>Sted/Location</b> Malmøykalven				<b>Sted/Location</b>		
<b>Kartblad/Map</b> 1914 IV				<b>Felt, blokknr./Field, Block No.</b>		
<b>UTM-koordinater/UTM-coordinates</b> 32VNM375970						
<b>Dokumentkontroll/Document control</b>						
<b>Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001</b>						
Rev./ Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision	Egen- kontroll/ Self review av/by:	Sidemanns- kontroll/ Colleague review av/by:	Uavhengig kontroll/ Independent review av/by:	Tverrfaglig kontroll/ Inter- disciplinary review av/by:	
0	Original dokument	AO 27/3	AKi 27/3			
1	Tabell 1 og 11 komma feil i Cd verdier 13/12/06	AKi 10/5	GBr 10/5			
2	Budsjett tall og prosentforbruk i tabell 14, 15 og sammendrag + konklusjon	AO 29/6	GBr 29/6			
<b>Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release</b>		<b>Dato/Date</b> 29/6/2007		<b>Sign. Prosjektleder/Project Manager</b> Audun Hauge		