



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 nedføring i dypvanns-  
deponiet i perioden juli til desember 2007

Rev. 0  
20051785-39

14. mars 2008

**Oppdragsgiver:** **Oslo Havn KF**

Kontaktperson: Kjetil Lønborg Jensen  
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. Regnskapet som her presenteres omfatter perioden fra juli til og med desember 2007.

Resultatene viser at forbruket av budsjettet fra prosjektets oppstart til 2007-12-31 er på 54 % for kvikksølv, 3 % for kadmium, 71 % for bly, 34 % for PAH<sub>16</sub> og 14 % for PCB<sub>7</sub>. En samlet vurdering viser at spredningen under nedføring av mudrede masser til dypvannsdeponiet fra juli 2007 til og med desember 2007 ligger innenfor budsjettet som er lagt til grunn for tillatelsen.



## Innhold

1	INNLEDNING .....	4
1.1	Bakgrunn for miljøbudsjett.....	4
1.2	Spredningsmekanismer som er fastsatt i miljøregnskap.....	5
1.3	Miljøregnskap for nedføring i dypvannsdeponiet - januar til juni ..... 2007 .....	5
2	INNGANGSDATA TIL MODELL FOR SPREDNING.....	5
2.1	Spredning som følge av turbulent diffusjon under akseptabel turbiditet .....	6
2.2	Spredning som følge av turbulent diffusjon under forhøyet turbiditet .....	9
2.3	Spredning som følge av dypvannsutsiftning.....	11
3	MILJØREGNSKAP OG SAMHOLD MED MILJØBUDSJETT .....	13
4	KONKLUSJON OG ANBEFALINGER.....	13
5	REFERANSER .....	15

## Kontroll- og referanseside

## 1 INNLEDNING

### 1.1 Bakgrunn for miljøbudsjett

Det gjennomføres en omfattende opprydding av forurenset sjøbunn i Oslo havneområde. Tiltaksløsning inkluderer nedføring av de mudrede masser 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). Miljøbudsjett er en beregning av hvor mye tungmetaller og organiske forbindelser som blir spredd under tiltaket. For at tiltaket skal ha en netto positiv miljøeffekt må spredningen under utførelse ikke oversige et gitt nivå. Dette sees i sammenheng med spredningen før tiltaket ble iverksatt, og oppnådd reduksjon i spredning etter utført tiltak.

De spredningsmekanismene for nedføring av mudrede masser i dypvannsdeponiet som ligger til grunn for miljøbudsjettet og er vurdert å kunne ha en negativ effekt på miljøet inkluderer (NGI/NIVA, 2003 og HAV, 2005):

- oppvirvling under nedføring
- porevannsutpressing
- diffusjon fra sediment i deponiområdet

Beregningene som brukes i miljøbudsjettet baserer seg på ingen uønsket spredning av tungmetaller eller organiske forbindelser til vannmassene som ligger over 43 m dyp i deponiområdet. Dette tilsvarer terskeldypet til Bekkelagsbassenget. Det er ikke ønsket spredning utenfor deponiområdet til tilstøtende fjordområder, spesielt til overflatevannet i indre Oslofjord.

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 Bekkelagsbassenget. Eventuelle spredning til dette området ville 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). Derfor er ikke denne spesifikke spredningsmekanisme inkludert i miljøbudsjett. Dette er imidlertid overvåket med sedimentfeller slik at tiltak (tildekking) kan iverksettes etter at nedføringen er avsluttet og det viser seg at arbeidet har påvirket sediment kvaliteten negativt (se kap 1.2).

Transport av løst og partikkelbundet tungmetaller og organiske forbindelser ved dypvannsutskiftning er ikke inkludert i miljøbudsjett (NGI/NIVA, 2003). Dette er imidlertid tatt inn i miljøregnskapet for arbeidene (se kap 1.2).



## 1.2 Spredningsmekanismer som er fastsatt i miljøregnskap

Spredning defineres 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, porevannsutpressing samt diffusjon fra sediment i deponiområdet
- transport ut av deponiområdet med vannmasser som skiftes ut i dypvannsutskiftninger
  - bokført i miljøregnskapet da nedføring av mudrede masser har pågått i samme tidsrom som dypvannsutskifting har funnet sted

Episoder ved forhøyde turbiditet som kan forårsake spredning av stoffer over terskeldybde på 43 m er registrert i miljøregnskapet. Spredning til bunnsedimenter utenfor dypvannsdeponiet i Bekkelagsbassenget er ikke bokført i miljøregnskapet da denne spredningsmekanisme overvåkes ved sedimentfelleundersøkelsene (resultatene fra sedimentfelleundersøkelse fra andre halvåret i 2007 er dokumentert i NGI, 2008a). Hensikten med sedimentfelleundersøkelsene er å kvantifisere mengde og kvalitet av materiale som eventuelt sedimenterer utenfor deponiet. Informasjon brukes for å kunne vurdere hvor stort areal som er påvirket av partikkelspredningen. Etter at nedføringen av mudrede masser er ferdigstilt skal det tas prøver av sedimentene rundt deponiet for å bestemme om arbeidene har endret kvaliteten negativt. Hvis konsentrasjonen av metaller og organiske forbindelser er forhøyet skal det vurderes avbøtende tiltak som tildekking med rene masser.

## 1.3 Miljøregnskap for nedføring i dypvannsdeponiet - juli til desember 2007

Det er tidligere utarbeidet et regnskap for perioden fra prosjektets oppstart i februar 2006 og ut august 2006 (NGI 2006a), for perioden fra september 2006 til og med desember 2006 (NGI 2006b) samt for perioden fra januar til og med juni 2007 (NGI 2007a). Regnskapet som her presenteres omfatter perioden fra juli til og med desember 2007. Det presenteres også samlet miljøregnskap for hele prosjektperioden fra oppstart februar 2006 til desember 2007.

## 2 INNGANGSDATA TIL MODELL FOR SPREDNING

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

Originale analyserapporter er gjengitt i sin helhet (NGI 2007b, NGI 2008b) slik at komplett sporbarhet er sikret.

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 til 10 ganger høyere enn deteksjonsgrensen.

## 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 ( $\Delta z$ )

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

Når turbiditeten har vært på 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 m<sup>2</sup>, dvs. arealet av ferdig oppfylt deponiområde ved 63 m vanndybde (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 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 1-3.
- (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 2007-07-01 – 2007-12-31, 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 aksept.turb.</sub>
	16/07-07	29/08-07	01/11-07	
Hg	<i>0,001</i>	0,0057	<i>0,001</i>	0,0026
Cd	<i>0,025</i>	<i>0,025</i>	<i>0,025</i>	0,025
Pb	<i>0,15</i>	1,8	0,947	0,9657
PAH <sub>16</sub>	<i>0,0175</i>	0,0704*	0,0174*	0,0351
PCB <sub>7</sub>	<i>0,0007</i>	<i>0,0007</i>	<i>0,0007</i>	0,0007

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

**Tabell 2** *Analyseresultater brukt for å karakterisere vannmasser over 43 m vanndybde i perioden 2007-07-01 – 2007-12-31. 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									Gjennom-snitt C <sub>vannet over 43m</sub>
	16/07-07			29/08-07			01/11-07			
	TRef	MP3	MP4	TRef	MP3	MP4	TRef	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>	0,001
Cd	<i>0,025</i>	<i>0,025</i>	<i>0,025</i>	<i>0,025</i>	0,169	<i>0,025</i>	0,0555	0,062	<i>0,025</i>	0,0485
Pb	<i>0,15</i>	<i>0,15</i>	<i>0,15</i>	0,381	<i>0,15</i>	<i>0,15</i>	0,642	0,589	<i>0,15</i>	0,2791
PAH <sub>16</sub>	<i>0,075</i>	<i>0,075</i>	<i>0,075</i>	<i>0,075</i>	<i>0,075</i>	<i>0,075</i>	<i>0,0725</i>	<i>0,0725</i>	<i>0,0725</i>	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.b.

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

**Tabell 3** *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 2007-07-01 – 2007-12-31. Resultatene fra MP3 ca. 40 m vanndybde er brukt i regnskapet. Konsentrasjonene er oppgitt som µg/l.*

Stoff	POM satt ut fra 1/11-07 t.o.m 15/12-07		Gjennomsnitt C <sub>vannet over 43m</sub>
	33 m	43 m	
PAH*	0,017	0,023	0,020
PCB <sub>7</sub>	0,000156	0,000174	0,000165

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

De tradisjonelle analysemetodene har sjelden gitt konsentrasjoner av PAH eller PCB over kvantifiseringsgrense for analysene av vannprøver ved lav partikkel innhold. Ved bruk av passive prøvetakere kan man måle langt lavere konsentrasjoner av PAH og PCB i vann. Passive prøvetakere fanger imidlertid kun opp løste forbindelser. Men ettersom turbiditeten i vannprøvene tatt over 43 m er lave (dvs. ≤ 1 NTU), vil POM-resultatene for PAH og PCB gi en bedre karakterisering av konsentrasjonen i denne vannmassen.



Som et resultat av SFTs systemrevisjon ved Oslo Havn i oktober 2007, ble det påpekt fire anmerkninger der en av de fire er aktuell for miljøregnskapet. Spesifikk påpekte SFT at metoden for å beregne tidsperioden kan forbedres der hver enkelte loggført overskridelse bør regnes som 10 minutter overskridelser (SFT 2007). Dette er gjennomført og tabell 4 viser at det i rapportering perioden (183 dager) er registrert 984 enkelte episoder forhøyde turbiditet ved målestasjon MP3 som kan relateres til nedføringen. Hver episode er likt 10 minutter høyde turbiditet, dette tilsvarer 6,8 dager forhøyde turbiditet. I tillegg har målestasjon MP3 vært ute av drift tre ganger i løpet av perioden slik at måledata har gått tapt og eventuelle overskridelser av turbiditet har ikke vært registrert (Tabell 5). Dette tilsvarer 4,5 dager med potensielle forhøyde turbiditet. For å være konservativ er både antallet dager fra enkelte overskridelser og antall dager med potensielle forhøyde turbiditet når MP3 har vært ute av drift summert og ganget med 2, slik at beregnet spredning pga. forhøyet turbiditet er satt til 22,6 dager  $((6,8 + 4,5) \times 2)$ . I perioden 2007-07-01 – 2007-12-31 har det vært 160,4 dager med akseptabel turbiditet (183 – 22,6). Tabell 6 viser resultatene for spredning av metaller og organiske forbindelser ved turbulent diffusjon når turbiditeten har vært på akseptabelt nivå.

*Tabell 4 Antall enkeltmålinger med forhøyet turbiditet som kan relateres til nedføringen i perioden 2007-07-01 – 2007-12-31 ved MP3. Detaljene er tidligere beskrevet i de respektive månedsrapportene.*

Måned	Antall enkeltmålinger*	Estimert antall timer overskridelse
Juli	66	11
August	80	13,3
September	97	16,2
Oktober	715	119,2
November	23	3,8
Desember	3	0,5
<b>SUM</b>	<b>984</b>	<b>164**</b>

\* hver enkeltmåling er konservativt antatt å tilsvare 10 minutters varighet.

\*\* tilsvarer 6,8 dager.

*Tabell 5 Episoder målestasjon MP3 har vært ute av drift slik at eventuelle overskridelse av turbiditet har ikke vært registrert i perioden 2007-07-01 – 2007-12-31. Detaljene er tidligere beskrevet i de respektive månedsrapportene.*

Måned	Episode*	Estimert antall timer ut av drift
August	6/8-07 kl.1227 – 7/8-07 kl.0707	18,7
August	29/8-07 kl.1857 – 31/8-07 kl.0940	38,7
September	17/9-07 kl.0700 – 19/9-07 kl.1122	51,4
<b>SUM</b>	-	<b>108,8**</b>

\* Nedetid der data er lastet ned i etterkant er ikke inkludert.

\*\* tilsvarer 4,5 dager.

Tabell 6 Resultatene for spredning av metaller og organiske forbindelser ved turbulent diffusjon når turbiditeten har vært akseptabel i perioden 2007-07-01 – 2007-12-31.

Stoff	C <sub>dypvannet aksept.turb</sub>	C <sub>vannet over 43m</sub>	C <sub>dypvannet aksept.turb</sub> – C <sub>vannet over 43m</sub>	F <sub>turbulent diffusjon aksept.turb.*</sub>
	(µg/l)			(g)
Hg	0,0026	0,001	0,00157	3,5
Cd	0,025	0,0485	0	0
Pb	0,9657	0,2791	0,6866	1 514
PAH <sub>16</sub>	0,0351	0,020	0,0151	33
PCB <sub>7</sub>	0,0007	0,000165	0,000535	1,2

\*  $F_{\text{turbulent diffusjon aksept. turb}} = [350.000 \text{ m}^2 * 0,864 \text{ m}^2/\text{d} * (C_{\text{dypvannet forhøy.turb.}} - C_{\text{vannet over 43m}}) \mu\text{g/l} \div 22 \text{ m}] * 160,4 \text{ d} * 10^3 \text{ l/m}^3 \div 10^6 \text{ g}/\mu\text{g}$ .

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

Som beskrevet i kap. 2.1 er det registret til sammen 11,3 dager med forhøyet turbiditet i perioden fra juli til og med desember 2007. For å være konservativ er antallet overskridelser ganget med 2, slik at beregnet spredning pga. forhøyet turbiditet er satt til 22,6 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 vanndybde (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 vanndybde. For å karakterisere dypvannet er det brukt gjennomsnittskonsentrasjonen fra vannprøver tatt ved målestasjonene ved forhøyet turbiditet (se tabell 7 og 8). 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 2 og 3).
- (iv) Transportveien er avstanden mellom utløpet og nedføringsenheten (65 m) til nivå av den laveste terskelen ved 43 m, altså 22 m.

*Tabell 7 Analyseresultater brukt for å karakterisere dypvannet i Bekkelagsbassenget under forhøyet turbiditet i perioden 2007-07-01 – 2007-12-31, dvs. vannprøver tatt ved målestasjonene 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 C <sub>dypvannet høy.turb.</sub>
	01/08-07	15/08-07	28/09-07	04/10-07	11/10-07	17/10-07	23/10-07	
Hg	<i>0,001</i>	<i>0,001</i>	<i>0,001</i>	0,0025	<i>0,001</i>	<i>0,001</i>	<i>0,001</i>	0,0012
Cd	<i>0,025</i>	<i>0,025</i>	0,0789	<i>0,025</i>	<i>0,025</i>	<i>0,025</i>	<i>0,025</i>	0,0327
Pb	1,36	1,51	0,957	1,19	1,54	1,9	0,408	1,2664
PAH <sub>16</sub>	<i>0,075</i>	<i>0,075</i>	<i>0,075</i>	<i>0,075</i>	<i>0,075</i>	1,064**	0,233**	0,2389
PCB <sub>7</sub>	<i>0,035</i>	<i>0,035</i>	<i>0,035</i>	<i>0,035</i>	<i>0,04</i>	<i>0,035</i>	i.a.	i.b.

\* Vannprøver ble tatt på 7 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.

i.a. = ikke analysert. i.b. = ikke brukt i miljøregnskap, se tabell 8.

Da PCB ikke er påvist i noen vannprøver som var tatt tidligere i 2006 samt at analyse som var brukt har en relativt høy kvantifiseringsgrense i forhold til tidligere målte konsentrasjoner av PCB (NIVA, 2006), er det i tabell 8 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.

*Tabell 8 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 2007-07-01 – 2007-12-31.*

Stoff	Prøvetakingsdato for vannprøver							Gjennomsnitt C <sub>dypvannet høy.turb.</sub>
	01/08-07	15/08-07	28/09-07	04/10-07	11/10-07	17/10-07	23/10-07	
Suspendert stoff (mg/l)	7,2	12	6,8	5,1	7,2	5,4	11	-
PCB <sub>7</sub> (µg/l)*	0,0018	0,0024	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0024	0,0020

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

Tabell 9 viser resultatene for spredning av metaller og organiske forbindelser ved turbulent diffusjon under forhøyet turbiditet.

Tabell 9 Resultatene for spredning av metaller og organiske forbindelser ved turbulent diffusjon under forhøyet turbiditet i perioden 2007-07-01 – 2007-12-31.

Stoff	$C_{\text{dypvannet høy.turb}}$	$C_{\text{vannet over 43m}}$	$C_{\text{dypvannet høy.turb}} - C_{\text{vannet over 43m}}$	$F_{\text{turbulent diffusjon høy.turb.}}$ *
	(µg/l)			(g)
Hg	0,0012	0,001	0,0002	0,1
Cd	0,0327	0,0485	0	0
Pb	1,2664	0,2791	0,9873	489
PAH <sub>16</sub>	0,2389	0,020	0,2189	108
PCB <sub>7</sub>	0,0020	0,000165	0,00181	0,9

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

### 2.3 Spredning som følge av dypvannsutskiftning

I perioden fra juli til desember 2007 er det registrert en tidlig dypvannsutskiftning i desember 2007 der konsentrasjon av oksygen har økt i hele vannmassen i Bekkelagsbassenget (NIVA, 2007a). 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 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 i perioden av dypvannsutskiftningen (se tabell 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).

**Tabell 10** *Analyseresultater brukt for å karakterisere dypvannet i Bekkelagsbassenget under dypvannsutskiftningen i desember i 2007, dvs. vannprøver tatt ved 5 m over sjøbunnen ved målestasjonene H2, MP3 og MP4 rett før dypvannsutskiftning har funnet sted. Konsentrasjonene er oppgitt som µg/l, og analyseresultater under kvantifiseringsgrensen er vist i kursiv.*

Stoff	Prøvetakingsdato for vannprøver*			Gjennomsnitt C <sub>dypvannet utskift</sub>
	1/11-07			
	H2	MP3	MP4	
Hg	<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>	0,025
Pb	0,947	0,664	<i>0,15</i>	0,5870
PAH <sub>16</sub>	0,0174**	<i>0,016</i>	<i>0,0725</i>	0,0353
PCB <sub>7</sub>	<i>0,0007</i>	<i>0,0007</i>	i.a.	0,0007

\* Ingen analyseresultatene fra vannprøver tatt ved forhøyde turbiditet er inkluderte i oversikt da ingen overskridelse av turbiditet i november og desember 2007.

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

i.a. = ikke analysert.

**Tabell 11** *Analyseresultater brukt for å karakterisere vannmasser utenfor deponiområdet i perioden 2007-07-01 – 2007-12-31, dvs. vannprøver tatt 5 m over sjøbunnen i Bunnefjorden. Konsentrasjonene er oppgitt som µg/l, og analyseresultater under kvantifiseringsgrensen er vist i kursiv.*

Stoff	Vannprøvetakingsdato for vannprøver			Gjennomsnitt C <sub>utenfor deponi</sub>
	16/07-07	29/08-07	01/11-07	
Hg	<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>	0,025
Pb	0,346	0,405	0,458	0,403
PAH <sub>16</sub>	<i>0,0175</i>	<i>0,016</i>	<i>0,016</i>	0,0165
PCB <sub>7</sub>	<i>0,0007</i>	<i>0,0007</i>	<i>0,0007</i>	0,0007

Tabell 12 viser resultatene for transport av metaller og organiske forbindelser under dypvannsutskiftningen. I beregningene er det antatt at hele vannmassen, dvs. 17 071 000 m<sup>3</sup>, har blitt fullstendig skiftet ut i løpet av perioden.

**Tabell 12** *Resultatene for spredning av metaller og organiske forbindelser ved dypvannsutskiftningen i perioden 2007-07-01 – 2007-12-31.*

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	0,001	0,001	0	0
Cd	0,025	0,025	0	0
Pb	0,5870	0,403	0,184	3 141
PAH <sub>16</sub>	0,0353	0,0165	0,0188	321
PCB <sub>7</sub>	0,0007	0,0007	0	0

\* F<sub>dypvannsutskiftning</sub> = [17.071.000 m<sup>3</sup> \* (C<sub>dypvannet utskift</sub> – C<sub>utenfor deponi</sub>) µg/l] \* 10<sup>3</sup> l/m<sup>3</sup> ÷ 10<sup>6</sup> g/µg.

### 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 dypvannsutskifting. Resultatene for total spredning i perioden fra juli til og med desember 2007 presenteres i tabell 13. Disse resultatene sammen med tidligere miljøregnskapene kan da sammenlignes med den estimerte spredningen som er presentert i miljøbudsjettet (HAV, 2005).

*Tabell 13 Miljøregnskap per 2007-12-31 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> per 30.06.2007	Spredning i perioden 01.07.2007 – 31.12.2007				F <sub>total</sub> per 31.12.2007	Budsjett**	Forbruk av budsjett***
		F <sub>turbulent</sub> diffusjon aksept.turb.	F <sub>turbulent</sub> diffusjon høy.turb.	F <sub>dypvanns</sub> utskifting	F <sub>total</sub> jan-jun 2007			
Hg	121	3,5	0,1	0	3,6	125	232	54 %
Cd	184	0	0	0	0	184	6 961	3 %
Pb	26 113	1 514	489	3 141	5 144	31 257	44 288	71 %
PAH <sub>16</sub>	1 344	33	108	321	462	1 806	4 159	43 %
PCB <sub>7</sub>	21	1,2	0,9	0	2,1	23	160	14 %

\* NGI, 2006c.

\*\* HAV, 2005.

\*\*\* Estimert effekt av ureglementert dumping (DNV, 2007; NIVA, 2007b), se kapittel 4.

Tabell 13 viser at for Hg, Cd og PCB<sub>7</sub> har det vært liten spredning i perioden 2007-07-01 – 2007-12-31. For Pb og PAH<sub>16</sub> har det vært litt større spredning i samme perioden og årsaken til dette er den tidligere dypvannsutskiftingen som begynte i desember i 2007. Selv om dypvannsutskiftingen var like stor som i 2006, er spredning i denne perioden mindre enn i 2006 pga lav partikkelspredning som følge av forbedret metode for nedføring samt generelt lavere konsentrasjoner av metaller og organiske forbindelser i vannprøvene som definerer vannmassen.

Resultatene sett i sammenheng med miljøbudsjettet som er utarbeidet for prosjektet viser et forbruk av budsjettet per 2007-12-31 på 54 % for Hg, 3 % for Cd, 71 % for Pb, 34 % for PAH<sub>16</sub> og 14 % for PCB<sub>7</sub>.

### 4 KONKLUSJON OG ANBEFALINGER

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, og er nå oppdatert for å inkludere perioden fra juli 2007 til og med desember 2007. I denne perioden er det i beregningene tatt hensyn til en tidlig dypvannsutsiftning i desember i tillegg til de øvrige spredningsmekanismene som inkluderer turbulent diffusjon under både akseptabel og forhøyet turbiditet.

Resultatene sett i sammenheng med miljøbudsjettet som er utarbeidet for prosjektet viser at forbruket av budsjettet fra prosjektets oppstart til 2007-12-31 er på 54 % for kvikksølv, 3 % for kadmium, 71 % for bly, 34 % for PAH<sub>16</sub> og 14 % for PCB<sub>7</sub>.

NIVA har også gjort et estimat av hvor mye stoffer som kan ha spredd seg i de øvre vannmasser som følge av ulovlig dumping i overflaten (NIVA, 2007b). NIVAs vurderinger er basert på faktum utredet av Det Norske Veritas (DNV, 2007). Estimaten varierer fra 6 gram for PCB, 101 gram for kvikksølv til 719 gram for PAH. Når disse anslag legges sammen med observert spredning i miljøregnskapet viser det at kvikksølv kan ha kommet opp til 97% av miljøbudsjettet, mens det for PCB fortsatt ikke er mer enn 18%. Kvikksølv spredningen har imidlertid vært meget lavt siden september 2006. Dersom spredningen i 2008 kommer til å ligge på samme nivå, vil nedføringen kunne slutføres innenfor rammene til miljøbudsjettet.

En samlet vurdering viser at spredningen under nedføring av mudrede masser til dypvannsdeponiet fra juli 2007 til og med desember 2007 ligger innenfor budsjettet som er lagt til grunn for tillatelsen. Dette samsvarer med NIVAs konklusjon: *”Det er altså ikke gjort noen observasjoner som tyder på vesentlig spredning verken av partikler eller miljøgifter til områder utenfor Bekkelagsbassenget”* (NIVA, 2007b).





## 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. Analyserapporter fra kjemisk analyse 2007. NGI rapport 20051785-41, datert 4. februar 2008.

### 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.

NIVA (2007a)

Fagrådets overvåkningsprogram. Fagrådet for vann og avløpsteknisk samarbeid i indre Oslofjord. Toktrappert fra 2007-12-10.

NIVA (2007b)

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

SFT (2007)

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

# 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 nedføring i dypvannsdeponiet i perioden juli til desember 2007.				<b>Dokument nr./Document No.</b> 20051785-39		
<b>Dokumenttype/Type of document</b>		<b>Distribusjon/Distribution</b>		<b>Dato/Date</b> 14. mars 2008		
<input checked="" type="checkbox"/> Rapport/Report		<input type="checkbox"/> Fri/Unlimited		<b>Rev.nr./Rev.No.</b> 0		
<input type="checkbox"/> Teknisk notat/Technical Note		<input checked="" type="checkbox"/> Begrenset/Limited				
		<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>Feltnavn/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>						
<b>Rev./ Rev.</b>	<b>Revisjonsgrunnlag/Reason for revision</b>	<b>Egen-kontroll/ Self review av/by:</b>	<b>Sidemanns-kontroll/ Colleague review av/by:</b>	<b>Uavhengig kontroll/ Independent review av/by:</b>	<b>Tverrfaglig kontroll/ Inter-disciplinary review av/by:</b>	
0	Original dokument	AO	GBr			
<b>Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release</b>		<b>Dato/Date</b> 14. mars 2008		<b>Sign. Prosjektleder/Project Manager</b> Audun Hauge		