

Overvåking av forurensning ved mudring og deponering

Miljøregnskap for nedføring i dypvannsdeponier i perioden januar til juni 2007

Rev. 0
20051785-31

11. oktober 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 nedføring i dypvanns-
deponiet i perioden januar til juni 2007

Rev. 0
20051785-31

11. oktober 2007

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 januar til og med juni 2007.

Resultatene viser at forbruket av budsjettet fra prosjektets oppstart til 2007-06-30 er på 52 % for Hg, 3 % for Cd, 59 % for Pb, 32 % for PAH₁₆ og 13 % for PCB₇. En samlet vurdering viser at spredningen under nedføring av mudrede masser til dypvannsdeponiet fra januar 2007 til og med juni 2007 ligger innenfor budsjettet som er lagt til grunn for tillatelsen.

Forbruk av miljøbudsjett har størst betydning for spredningen av bly. Forutsatt nedføringsarbeid forsetter som tidligere, vil miljøbudsjett kunne tåle ytterligere en beskjedne dypvannsutskiftning i anleggsperioden.



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.....	14
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 og ytre 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 første halvåret i 2007 er dokumentert i NGI, 2007a). 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 - januar til juni 2007

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

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 (Δz)

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

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 m², dvs. arealet av ferdig oppfylt deponiområde ved 63 m vandybde (NGI, 2001). Dette er også arealet som er brukt i utarbeidelse av miljøbudsjett (HAV, 2005).
- (ii) Diffusjonskoeffisient for turbulent diffusjon er antatt 0,1 cm²/s (NGI/NIVA, 2000), som er lik 0,864 m²/d.
- (iii) Konsentrasjonsforskjellen er forskjellen mellom konsentrasjonen i dypvannet i deponiområdet og konsentrasjon i vannmasser over 43 m vandybde. 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 vandybde fra TRef, MP3 og MP4 benyttet for metallene. For PAH og PCB er resultatene fra passive prøvetakere ved rundt 40 m vandybde 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 2007-01-01 – 2007-06-30, 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 _{dypvannet aksept.turb.}
	16/3-07	24/04-07	07/06-07	
Hg	0,0026	0,001	0,0037	0,0024
Cd	0,025	0,025	0,025	0,025
Pb	1,64	0,884	1,25	1,258
PAH ₁₆	0,0702*	0,0191*	0,0175	0,0356
PCB ₇	0,0008*	0,0007	0,0007	0,00073

* 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 2007-01-01 – 2007-06-30. 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 _{vannet over 43m}
	16/03-07			24/04-07			07/06-07			
	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
Cd	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
Pb	0,807	0,15	0,593	0,509	0,15	0,15	0,831	0,556	1,01	0,5284
PAH ₁₆	0,075	0,081*	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	i.b.
PCB ₇	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.b.

* 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 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 2007-01-01 – 2007-06-30. Resultatene fra MP3 ca. 40 m vanndybde er brukt i regnskapet. Konsentrasjonene er oppgitt som µg/l.*

Stoff	POM satt ut fra 12/3-07 t.o.m 8/5-07		Gjennomsnitt C _{vannet over 43m}
	33 m	43 m	
PAH*	0,014305	0,029382	0,021816
PCB ₇	0,000053	0,000148	0,000101

* For POM-analysen er 4 av 16 standard PAH-forbindelser ikke inkludert (naftalen, acenaftylen, acenaften og dibenzo[a,h]antracen), i tillegg til at benzo[e]pyren er inkludert. Detaljene er beskrevet i NGI, 2007b.

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.

Tabell 4 viser at det i rapportering perioden (180 dager) er registrert 100 timer eller 4,2 dager 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 8,4 dager. I perioden 2007-01-01 – 2007-06-30 har det vært 171,6 dager med akseptabel turbiditet. Tabell 5 viser resultatene for spredning av metaller og organiske forbindelser ved turbulent diffusjon når turbiditeten har vært på akseptabelt nivå.

Tabell 4 Antall timer med forhøyet turbiditet som kan relateres til nedføringen i perioden 2007-01-01 – 2007-06-30. Detaljene er tidligere beskrevet i de respektive månedsrapportene.

Måned	Dato*	Tidspunkt	Estimert antall timer overskridelse
Januar	16	2319-2359	0,5
	17	0059-0310, 1949-2029	4
	19	1439-1559, 2149-2349	2,5
	20	0430-1910	14,5 ¹⁾
Februar ²⁾	7 ³⁾	2255-0105, 0335-0415, 0435-0715	3,5
	22	0422-0802, 0932-0952, 1032-1112	3,5**
	24	0042-0143	1
	25	0702-0722	0,5
	27	1659-1809, 1819-1929, 2109-2229	3,5
	28	0039-0109, 0129-0419	3,5
Mars	1	0523-0713, 2213-2253	2,5
	2	0233-0253, 0703-0753	1
	7	0659-0819	1,5
	28	1520-1600	0,5
	29	0500-0700, 0730-0820, 0840-1010, 1040-1120, 1158-1358, 1658-1718, 1738-2018	8**
	30	1738-1838	1
	31	0008-0228	2,5
April	19	0359-0609, 2309-	3
	20	-0319, 0439-0559	4,5**
	21	0149-0229, 1329-1519, 1619-2339	10
	25	0849-1339	5**
	27	1259-1419, 2049-2209, 2328-	2
	28	-0028, 0058-0128, 0238-0308, 0358-0448, 1217-1248	3
Mai	2	1819-1919	1
	4	0708-1007, 1048-1258, 1417-1627	7,5**
Juni	26	0925-1135, 1655-1735, 1816-2015	4,5**
	27	0055-0425, 2305-	4,5
	28	-0025, 0045-0115	1
SUM			100

*overskridelser kun ved MP3 hvis ikke annet notert. **tatt vannprøver.

¹⁾Skulle vært tatt vannprøver, se avvikk nr. 54. ²⁾Overskridelsene ved MP3 i perioden 1-9 februar ikke brukt i miljøregnskap pga målebøyen hadde flyttet 300-400 m for nært deponi. ³⁾Forhøyde turbiditet ved MP4.

Tabell 5 Resultatene for spredning av metaller og organiske forbindelser ved turbulent diffusjon når turbiditeten har vært akseptabel i perioden 2007-01-01 – 2007-06-30.

Stoff	C _{dypvannet aksept.turb}	C _{vannet over 43m}	C _{dypvannet aksept.turb} – C _{vannet over 43m}	F _{turbulent diffusjon aksept.turb.*}
	(µg/l)			(g)
Hg	0,0024	0,001	0,0014	3,3
Cd	0,025	0,025	0,0	0
Pb	1,258	0,5284	0,7296	1 721
PAH ₁₆	0,0356	0,021844	0,0138	32
PCB ₇	0,00073	0,000101	0,00063	1,5

* $F_{\text{turbulent diffusjon aksept. turb}} = [350.000 \text{ m}^2 * 0,864 \text{ m}^2/\text{d} * (C_{\text{dypvannet forhøy.turb.}} - C_{\text{vannet over 43m}}) \mu\text{g/l} + 22 \text{ m}] * 171,6 \text{ d} * 10^3 \text{ l/m}^3 \div 10^6 \text{ g}/\mu\text{g}$.

2.2 Spredning som følge av turbulent diffusjon under forhøyet turbiditet

Som beskrevet i kap. 2.1 er det registret til sammen 4,2 dager med forhøyet turbiditet i perioden fra januar til og med juni 2007. For å være konservativ er antallet overskridelser ganget med 2, slik at beregnet spredning pga. forhøyet turbiditet er satt til 8,4 dager. Spredningen er beregnet ved hjelp av ligning (1), se kap. 2.1, med følgende forutsetningene:

- (i) Arealet er satt lik 558 000 m², dvs. arealet av Bekkelagsbassenget ved 66 m vanndybde (som er større en dypvannsdeponiarealet).
- (ii) Diffusjonskoeffisient for turbulent diffusjon er antatt 0,1 cm²/s (NGI/NIVA, 2000) som er lik 0,864 m²/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 6 og 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 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 6 *Analyseresultater brukt for å karakterisere dypvannet i Bekkelagsbassenget under forhøyet turbiditet i perioden 2007-01-01 – 2007-06-30, 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 _{dypvannet høy.turb.}
	22/02-07	29/03-07	20/04-07	25/04-07	04/05-07	26/06-07	
Hg	0,0024	0,001	0,001	0,001	0,0091	0,001	0,0026
Cd	0,025	0,025	0,025	0,0643	0,025	0,173	0,0562
Pb	3,82	3,42	5,76	5,5	1,92	3,81	4,038
PAH ₁₆	0,15	0,075	0,075	0,082**	0,083**	0,075	0,09
PCB ₇	0,07	i.a.	0,035	0,035	0,035	0,035	i.b.

* Vannprøver ble tatt på seks av de tilfellene med forhøyet turbiditet der episodene hadde forekommet i løpet av arbeidsdagen (bortsett fra episoden registrert den 20. jan. 2007, dette er dokumentert i avvik nr. 54).

** 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 7.

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 7 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 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 2007-01-01 – 2007-06-30.*

Stoff	Prøvetakingsdato for vannprøver						Gjennomsnitt C _{dypvannet høy.turb.}
	22/02-07	29/03-07	20/04-07	25/04-07	04/05-07	26/06-07	
Suspendert stoff (mg/l)	4,8	1	6,4	27	11	9,8	-
PCB ₇ (µg/l)*	0,0018	0,001	0,0018	0,0034	0,0024	0,0024	0,0021

* 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 2007-01-01 – 2007-06-30.

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	0,0026	0,001	0,0016	0,3
Cd	0,0562	0,025	0,0312	5,7
Pb	4,038	0,5284	3,5099	646
PAH ₁₆	0,09	0,021844	0,0682	12,6
PCB ₇	0,0021	0,000101	0,00203	0,4

* $F_{\text{turbulent diffusjon forhøy. turb}} = [558.000 \text{ m}^2 * 0,864 \text{ m}^2/\text{d} * (C_{\text{dypvannet forhøy.turb.}} - C_{\text{vannet over 43m}}) \mu\text{g/l} \div 22 \text{ m}] * 8,4 \text{ d} * 10^3 \text{ l/m}^3 \div 10^6 \text{ g}/\mu\text{g}$.

2.3 Spredning som følge av dypvannsutskiftning

I perioden fra februar til mars 2006 er det registrert en beskjeden dypvannsutskiftning mellom 20 – 50 m vanddyb i Bunnefjorden (NIVA, 2007). 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 6 182 000 m³. Siden årets dypvannsutskiftning var mer beskjeden og gikk kun ned til 50 m vanddybde, er beregning av vannvolumet basert på en avkuttet kjegle med arealer på 860 000 m² (arealet ved 50 m vanddybde) og 906 500 m² (arealet ved 43 m vanddybde).
- (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 9). 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 10).

Tabell 9 *Analyseresultater brukt for å karakterisere dypvannet i Bekkelagsbassenget under dypvannsutskiftningen i perioden februar og mars i 2007, dvs. vannprøver tatt ved 5 m over sjøbunnen ved målestasjonene H2, MP3 og MP4 samt ved målestasjonene som har målt forhøyet turbiditet (tidligere presentert i Tabell 6 og 7). Konsentrasjonene er oppgitt som µg/l, og analyseresultater under kvantifiseringsgrensen er vist i kursiv.*

Stoff	Prøvetakingsdato for vannprøver					Gjennomsnitt C _{dypvannet utskift}
	22/02-07	16/03-07			29/03-07	
	MP3	H2	MP3	MP4	MP3	
Hg	0,0024	0,0026	<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>	<i>0,025</i>	<i>0,025</i>	0,025
Pb	3,82	1,64	0,335	<i>0,15</i>	3,42	1,873
PAH ₁₆	<i>0,15</i>	0,075*	<i>0,026*</i>	<i>0,075</i>	<i>0,075</i>	0,0792
PCB ₇	0,0018	0,0008	<i>0,0007</i>	i.a.	0,001	0,001

* Analyseresultatet er summen av påviste enkeltforbindelser samt halvparten av kvantifiseringsgrensen for enkeltforbindelser som ikke er påvist.
 i.a. = ikke analysert.

Tabell 10 *Analyseresultater brukt for å karakterisere vannmasser utenfor deponiområdet i perioden 2007-01-01 – 2007-06-30, 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 _{utenfor deponi}
	16/03-07	24/04-07	07/06-07	
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	<i>0,15</i>	0,678	1,2	0,676
PAH ₁₆	<i>0,0175</i>	<i>0,016</i>	<i>0,0175</i>	0,017
PCB ₇	<i>0,0007</i>	<i>0,0007</i>	<i>0,0007</i>	0,0007

Tabell 11 viser resultatene for transport av metaller og organiske forbindelser under dypvannsutskiftningen. I beregningene er det antatt at de øvre 50 m av vannmassen, dvs. 6 182 000 m³, har blitt fullstendig skiftet ut i løpet av perioden.

Tabell 11 Resultatene for spredning av metaller og organiske forbindelser ved dypvannsutskiftningen i perioden 2007-01-01 – 2007-06-30.

Stoff	$C_{\text{dypvannet utskift.}}$	$C_{\text{utenfor deponi}}$	$C_{\text{dypvannet utskift.}} - C_{\text{utenfor deponi}}$	$F_{\text{dypvannsutskiftning}}^*$
	(µg/l)			
Hg	0,0016	0,001	0,0006	3,7
Cd	0,025	0,025	0	0
Pb	1,873	0,676	1,197	7 400
PAH ₁₆	0,0792	0,017	0,0622	385
PCB ₇	0,001	0,0007	0,0003	1,9

* $F_{\text{dypvannsutskiftning}} = [6.182.000 \text{ m}^3 * (C_{\text{dypvannet utskift.}} - C_{\text{utenfor deponi}}) \mu\text{g/l}] * 10^3 \text{ l/m}^3 \div 10^6 \text{ g/\mu g}$.

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 januar til og med juni 2007 presenteres i tabell 12. Disse resultatene sammen med miljøregnskapet fra februar til desember 2006 kan da sammenlignes med den estimerte spredningen som er presentert i miljøbudsjettet (HAV, 2005).

Tabell 12 Miljøregnskap per 2007-06-30 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	$F_{\text{total per 31.12.2006}}^*$	Spredning i perioden 01.01.2007 – 30.06.2007				$F_{\text{total per 30.06.2007}}$	Budsjett**	Forbruk av budsjett
		$F_{\text{turbulent diffusjon aksept.turb.}}$	$F_{\text{turbulent diffusjon høy.turb.}}$	$F_{\text{dypvanns utskiftning}}$	$F_{\text{total jan-jun 2007}}$			
Hg	114	3,3	0,3	3,7	7,3	121	232	52 %
Cd	178	0	5,7	0	5,7	184	6 961	3 %
Pb	16 346	1 721	646	7 400	9 767	26 113	44 288	59 %
PAH ₁₆	914	32	12,6	385	430	1 344	4 159	32 %
PCB ₇	17	1,5	0,4	1,9	3,8	21	160	13 %

* NGI, 2006b.

** HAV, 2005.

Tabell 12 viser at for Hg, Cd og PCB₇ har det vært liten spredning i perioden 2007-01-01 – 2007-06-30 sammenlignet med perioden 2006-02-27 – 2006-12-31. For Pb og PAH₁₆ har det vært litt større spredning i samme perioden, den er ca. halvparten av spredningen som har funnet sted i 2006 (2006-02-27 – 2006-12-31). Årsaken er at dypvannsutskiftningen som har funnet sted i februar og mars i 2007, ikke var like stor som dypvannsutskiftningen i 2006. Spredning



via vannmasser under dypvannsutsiftninger er allikevel den viktigste mekanismen for spredning fra dypvannsdeponiet i forhold til miljøregnskapet.

Resultatene sett i sammenheng med miljøbudsjettet som er utarbeidet for prosjektet viser et forbruk av budsjettet per 2006-06-30 på 52 % for Hg, 3 % for Cd, 59 % for Pb, 32 % for PAH₁₆ og 13 % for PCB₇.

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 januar 2007 til og med juni 2007. I denne perioden har det vært en beskjeden dypvannsutsiftning i tillegg til at spredning har også skjedd ved 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 2007-06-30 er på 52 % for Hg, 3 % for Cd, 59 % for Pb, 32 % for PAH₁₆ og 13 % for PCB₇. En samlet vurdering viser at spredningen under nedføring av mudrede masser til dypvannsdeponiet fra januar 2007 til og med juni 2007 ligger innenfor budsjettet som er lagt til grunn for tillatelsen.

Forbruk av miljøbudsjett har størst betydning for spredningen av bly. Forutsatt nedføringsarbeid forsetter som tidligere, vil miljøbudsjett kunne tåle ytterligere en beskjeden dypvannsutsiftning i anleggsperioden.

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, 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. Resultater fra sedimentfelleundersøkelser 1. halvår 2007. NGI rapport 20051785-28, datert 10. oktober 2006.

NGI (2007b)

Overvåking av forurensning ved mudring og deponering. Passive prøvetakere. Resultater fra april 2007. NGI rapport 20051785-32, datert 9. oktober 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.

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 (2007)

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

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 juni 2007.				Dokument nr./Document No. 20051785-31	
Dokumenttype/Type of document		Distribusjon/Distribution		Dato/Date 11. oktober 2007	
<input checked="" type="checkbox"/> Rapport/Report		<input type="checkbox"/> Fri/Unlimited		Rev.nr./Rev.No. 0	
<input type="checkbox"/> Teknisk notat/Technical Note		<input checked="" type="checkbox"/> Begrenset/Limited			
		<input type="checkbox"/> Ingen/None			
Oppdragsgiver/Client HAV					
Emneord/Keywords Environmental geotechnology, field measurements, harbour, sea bed, sea water					
Stedfesting/Geographical information					
Land, fylke/Country, County Oslo				Havområde/Offshore area	
Kommune/Municipality Oslo				Felt navn/Field name	
Sted/Location Malmøykalven				Sted/Location	
Kartblad/Map 1914 IV				Felt, blokknr./Field, Block No.	
UTM-koordinater/UTM-coordinates 32VNM375970					
Dokumentkontroll/Document control					
Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001					
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	GBr		
Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release		Dato/Date 11. oktober 2007		Sign. Prosjektleder/Project Manager Audun Hauge	