

Oslo kommune Oslo Havn KF

Statens Forurensningstilsyn
Postboks 8100 Dep
0032 Oslo

Dato: 30.06.2005

Deres ref.:

Vår ref. (saksnr)
2004/99

Saksbeh.:
Torild Jørgensen, 23 49 26 26

Arkivkode:
933.2

Søknad om etablering av dypvannsdeponi ved Malmøykalven i Oslo og Nesodden kommuner og deponering av forurensede sedimenter

På vegne av Oslo kommune søker Oslo Havn KF om tillatelse til etablering av dypvannsdeponi ved Malmøykalven og deponering av forurensede sedimenter etter forurensningslovens § 11 samt kap. 22 om mudring og dumping i sjø og vassdrag i "Forskrift om begrensnings av forurensning (forurensningsforskriften)" av 1. juli 2004. For å sikre at deponiet er tilstrekkelig til å ivareta nødvendig og ønsket mudringsbehov i forbindelse med en helhetlig opprydding i indre Oslofjord søkes det om oppfylling av forurensede masser til kote – 63 m, dvs ca 1 million m³ konsolidert fast masse.

Tiltakshaver er Oslo Havn KF, men det søkes også på vegne av Statens vegvesen og andre tiltakshavere/utbyggere/ småbåthavneiere med behov for mudring og deponering i forhold til en helhetlig opprydding og fysiske mudringsbehov.

Søknaden oversendes også Kystverket for behandling etter Havne- og farvannsloven.

Bakgrunn

Forurensset sjøbunn er et alvorlig lokalt miljøproblem, og er en av de store miljøutfordringene som gjenstår i Oslo kommune. Grunnlaget for Oslo kommune sin satsning med å utarbeide en helhetlig tiltaksplan er visjon og mål i Byøkologisk program 2002 – 2014. Stortingsmelding nr. 12 (2001 – 2002) "Rent og rikt hav" lanserer fylkesvise tiltaksplaner som et viktig verktøy i oppryddingsarbeidet for å hindre spredning av miljøgifter fra forurensede sedimenter til nye områder, Oslo havnedistrikt er utpekt som et prioritert område.

Helhetlig tiltaksplan for forurensede sedimenter i Oslo havnedistrikt

Byrådet i Oslo kommune besluttet i oktober 2004 at det skulle utarbeides et forslag til tiltaksplan for opprydding av forurensede bunnsedimenter i havnebassenget. En kommunal arbeidsgruppe har utarbeidet et forslag til helhetlig tiltaksplan. Etter en høringsrunde er planen oversendt til politisk behandling. Det forventes at den vil behandles i bystyret tidlig til høsten.

Tiltaksplanen fokuserer på at det pågår mange utbyggingsprosjekter i kommunen som berører sjøbunnen, og at det er viktig at disse sees i sammenheng og koordineres for å få en best mulig



Oslo Havn KF

Postadresse:
Postboks 230 Sentrum
0103 OSLO
Besøksadresse:
Skur 38 Vippetangen

Telefon: 23 49 26 00 Nordea: 6004.06.66608
Telefaks: 23 49 26 01 Org.nr.: 987 592 567 MVA
Epost: postmottak@havnevesenet.oslo.kommune.no



miljømessig effekt i forhold til nødvendig opprydning. Planen omtaler også de store brukerinteressene i det aktuelle området, samt forurensningssituasjon og fysiske forhold. Ut i fra dette foreslås det fjerning av forurenset sjøbunn ved mudring i områder som berøres av båt- og skipstrafikk, og tildekking i grunnere områder som ikke påvirkes av propellersosjon.

Tiltaksplanen foreslår å fjerne 650.000 m³ forurensede bunnsedimenter. Det angis to alternativer for håndtering av de mudrede massene, hvorav det ene alternativet er å deponere massene i et dypvannsdeponi ved Malmøykalven. For at dypvannsdeponiet skal være et reelt alternativ ved behandling av den helhetlige tiltaksplanen, har Oslo Havn KF igangsatt reguleringsarbeid av deponiområdet og utarbeidet søknad om deponering (se vedlegg) i henhold til Forurensningsloven på vegne av Oslo kommune. Reguleringsplanen har vært ute til offentlig ettersyn fram til 22. juni i Oslo kommune. I Nesodden kommune er høringsfristen 17. juli. Reguleringsplanen vil bli sluttbehandlet i Oslo og Nesodden kommuner i august / september i år.

I forbindelse med reguleringsarbeidet er det igangsatt risiko- og sårbarhetsvurdering (ROS-analyse) for deponeringen. Denne vil være ferdig i august, og resultatene vil bli benyttet videre i arbeidet.

Søknadens hovedinnhold

Sjøbunnen som skal mudres er sterkt til meget sterkt forurenset i henhold til SFTs klassifiseringssystem for sjøbunn, men vurderes ikke som farlig avfall. For å sikre en miljøforsvarlig håndtering, deponering og fremtidig lagring av massene omhandler søknaden følgende:

- Nå-tilstand på deponeringslokaliteten med forurensning, strømforhold, geologiske forhold med mer
- Beskrivelse av gjennomføring ved etablering av deponiet, sedimentene, tekniske utførelser og tidsplan
- Miljøeffekt av tiltaket
- Kontroll og overvåking før, under og etter deponeringen

Det søkes om tillatelse til kontinuerlig nedlegging i deponiet gjennom hele året, da dette vil redusere mudrings- og deponeringsperioden. Teoretisk skal da hele oppryddings- og deponeringsoperasjonen kunne gjennomføres i løpet av 16 måneder. Dette forutsetter blant annet entrepriser med tilpasset kapasitet, og at de aktuelle mudringsområdene er klargjort og tilgjengelige for mudring.

Søknad om mudringstillatelse for de aktuelle områdene vil følge over sommeren.

Informasjon

For utfyllende informasjon om Oslo kommunes arbeide med helhetlig tiltaksplan er det utarbeidet en informasjonsside på nettsiden www.ohv.oslo.no/bunnsedimenter. Her vil det og finnes informasjon om status for reguleringsplanen og henvisning videre til Plan- og bygningsetatens sider.

Med hilsen

Anne Sigrid Hamran
havnedirektør

Per Ø. Halvorsen
teknisk sjef

Vedlegg:

- Søknad om etablering av dypvannsdeponi ved Malmøykalven i Oslo og Nesodden kommuner og deponering av forurensede sedimenter
- Vedlegg A - Miljøbudsjett - beregning av spredning før, under og etter tiltak
- Helhetlig tiltaksplan for forurensede sedimenter i Oslo havnedistrikt, Forslag (Oslo kommune, juni 2005)

Kopi til:

Norsk Sjøfartsmuseum	Bygdøynesveien 37
Statens Vegvesen Region øst	Postboks 1010 Skurva
Fylkesmannen i Oslo og Akershus	Postboks 8111 Dep



Søknad om etablering av dypvannsdeponi ved Malmøykalven i Oslo og Nesodden kommuner, samt deponering av forurensede sedimenter

Oslo Havn KF, 30. juni 2005

Sammendrag

Søknaden gjelder:

- Etablering av dypvannsdeponi mellom Langøyene og Malmøykalven
- Deponering av 1 mill m³ forurensede sedimenter i dypvannsdeponi. Massen skal transporteres til stedet i lekter, og deponeringen skal foregå i lukket rør ned til deponiet. Når deponeringen er avsluttet skal hele arealet dekkes med 0,3 – 0,4 meter rene masser. Under lengre opphold i arbeidet vurderes behovet for tildekking av deponiet med et tynt lag rene egnede masser i forhold til risiko, sesong mm.
- Under arbeidene skal vannkvaliteten i området overvåkes for å hindre evt. spredning av partikler og forurensning, og det er satt kriterier for når deponeringen må stoppe og avbøtende tiltak settes i verk.
- Området vil bli merket så lenge det er aktivitet på plassen
- Det søkes om tillatelse til deponering gjennom hele året slik at mudringsarbeidene kan utføres i løpet av en kort periode på 16 måneder.

Det omsøkte tiltaket vil medføre en forbedring av sediment- og vannkvaliteten både i havneområdet og i området hvor dypvannsdeponiet ønskes etablert. Ved å flytte de forurensede massene fra havneområdene til dypvannsdeponiet, reduseres de forurensede arealene med ca. 50 %. I tillegg vil deponiet dekkes til etter at innfyllingen er ferdig, slik at sjøbunnen blir ren.

Miljøbudsjett

Det er utarbeidet et miljøbudsjett som viser forventet spredning av forurensning før, under og etter mudring og deponering i dypvannsdeponiet. Under gjennomføringsfasen vil belastningen øke, men økningen er midlertidig, i dette tilfellet 16 måneder. Denne økte miljøbelastningen vil tjenes inn av den reduserte spredningen etter tiltaket. Med en total tildekkingstykkelse på 0,3 m vil spredningen av forurensinger fra deponiområdet i forhold til dagens situasjon reduseres med 79 - 99,8 % for de forskjellige stoffene, og spredningen fra havneområdene reduseres med 72 – 96 % for de forskjellige stoffene.

Forslag til grenseverdier for masser som skal legges inn i deponiet

Det er beregnet hvilke maks konsentrasjoner som kan tillates i deponiet uten at diffusjonen gjennom tildekkingslaget skal bli høyere enn i nå-situasjonen i deponiområdet. Det understrekes at disse grenseverdiene ansees som en øvre grense for hva som kan legges i deponiet. Forslaget til grenseverdier er som følger;

- Kadmium: 180 mg/kg
 - Kvikksølv: 75 mg/kg
 - Bly: 8550 mg/kg
 - Benso(a)pyren: 103 mg/kg
-

- PAH₁₆: 1005 mg/kg
- PCB₇: 3,7 mg/kg
- TBT: 36 mg/kg
- Mineralolje: 8000 mg/kg

Grenseverdien for TBT er satt 10 ganger høyere enn beregnet diffusjon (utlekking) fra deponistedet. Dette er fordi TBT-mengdene på deponistedet er små i forhold til områdene som er planlagt mudret. TBT-utslippene totalt innenfor Oslo kommunes grenser vil allikevel gå drastisk ned etter deponering.

Søknaden er utarbeidet av Oslo Havn KF i samarbeide med Statens vegvesen – Bjørvika-prosjektet. Konsulent ved utarbeidelse av søknaden har vært Norges Geotekniske Institutt (NGI) ved prosjektleder Kjell Karlsrud m.fl.

Innhold

1	INNLEDNING	8
2	SØKNADEN	10
	2.1 Regulering som gjelder	12
3	NÅ-TILSTAND PÅ DEPONERINGSLOKALITETEN	14
	3.1 Forurensning og stabilitet av sjøbunnen	14
	3.2 Strømforhold	15
	3.3 Geologiske formasjoner	17
	3.4 Begrunnelse for valg av deponisted	19
4	BESKRIVELSE AV PROSJEKTET	21
	4.1 Lokalitet og omfang	21
	4.2 Etablering og utforming av dypvannsdeponi	22
	4.3 Sedimentene som skal deponeres	27
	4.4 Teknisk utførelse av deponering	29
	4.5 Teknisk utførelse av tildekking etter deponering	31
	4.6 Tidsplan	38
5	MILJØEFFEKT AV TILTAKET	40
	5.1 Miljøbudsjett for spredning av forurensning	42
	5.2 Miljøgevinst	56
6	OVERVÅKING OG AVBØTENDE TILTAK	60
	6.1 Kontroll i anleggsfasen	61
	6.2 Kontroll av tildekkingslaget	64
	6.3 Overvåking etter at deponiet er ferdigstilt	64
	6.4 Sikrings- og avbøtende tiltak	65
7	VARSLING OG MERKING	66
8	ORGANISERING OG ANSVARSDDELING	66
9	ORDLISTE	66
10	REFERANSER	73

Vedlegg

Vedlegg A: Miljøbudsjett - beregning av spredning før, under og etter tiltak

Kontroll- og referanseside

1 INNLEDNING

Fylkesmannen i Oslo og Akershus fikk høsten 2004 i oppdrag av SFT å utarbeide tiltaksplan for opprydning av forurensede sedimenter i prioriterte områder i Indre Oslofjord, bl.a. innenfor Oslo kommune sine grenser i fjorden. En helhetlig tiltaksplan er utarbeidet for dette området av en kommunal arbeidsgruppe (forslag, juni 2005). Denne er nå til politisk behandling i Oslo kommune. Forurensningene i området kommer i hovedsak fra tidligere utslipp fra industri, kloakkutslipp, gamle fyllinger samt fra veianlegg og snødumping. Ved anløp av store fartøyer i havnen, og ved trafikk i grunne områder med mindre båter virvles forurensningene opp og spres over større områder.

Det er et behov for mudring og deponering av ca 650.000 m³ forurensede sedimenter fra området innen Oslo kommunes grenser inklusive behovene ved gjennomføring av vei- og byutviklingsprosjekter i havnebassenget; bl.a. E18 i Bjørvika, samt opprydding i småbåthavner (se fig 1). Volumet kan øke hvis for eksempel flere småbåthavner har behov for mudring.

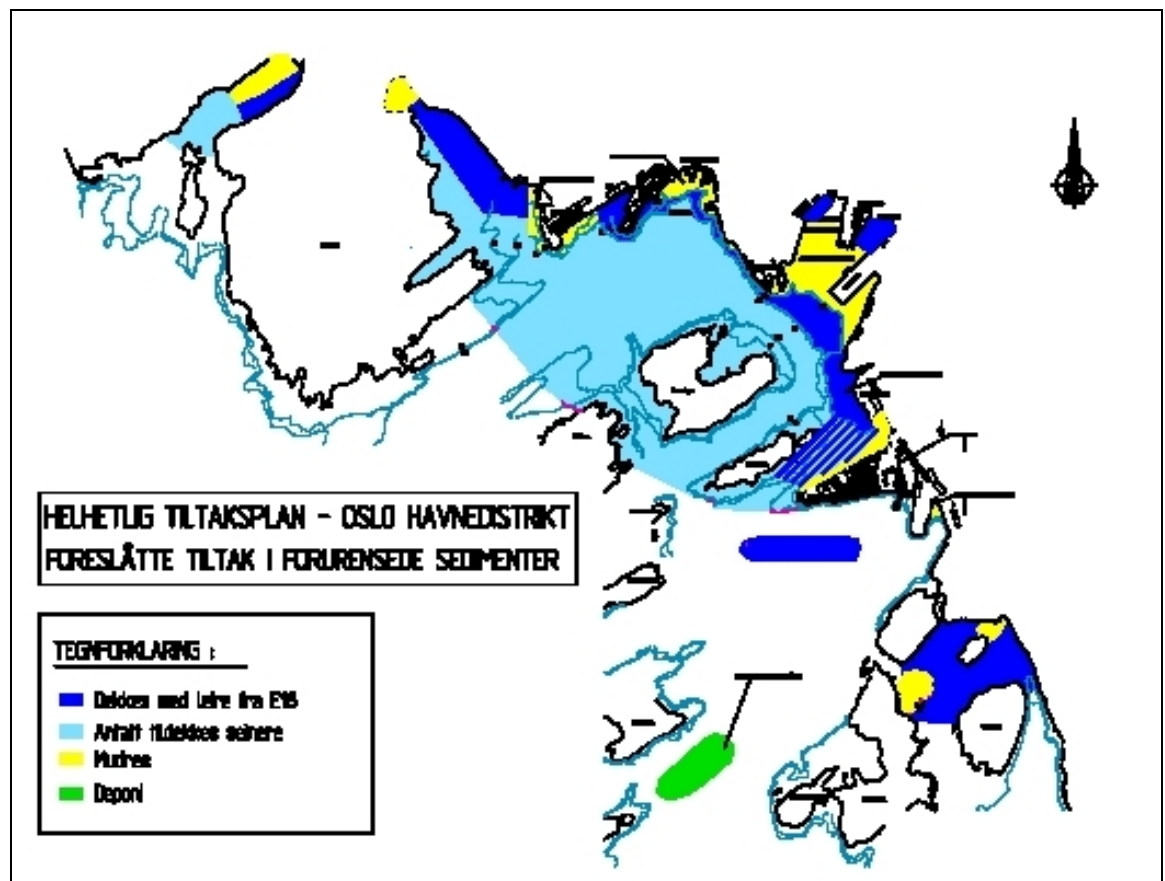


Fig. 1 Tiltak i forurensede sedimenter i Oslo havnedistrikt (ref. forslag til helhetlig tiltaksplan, Oslo kommune 2005). Mørk blå: dekkes med leire fra E18, lys blå: Anbefalt tildekket senere, gul: mudre, grønn: deponi

Et alternativ for deponering av mudrede masser er i et dypvannsdeponi ved Malmøykalven. Alternativet ble konsekvensutredet (KU) i 2001 (Oslo kommune, Havnevesenet 2001), og med tilleggsarbeider ble utredningen godkjent av SFT i 2003 på visse vilkår om tilleggsopplysninger som måtte inngå i en søknad i henhold til forurensningsloven. De viktigste punktene var som følger, og disse er spesielt omtalt i søknaden:

- Strømforholdene på deponistedet måtte dokumenteres bedre med bl.a. målinger under en dypvannsutskifting.
- Stabilitetsforhold i deponiet under innfylling må redegjøres for
- Dokumentasjon for at tildekkingslaget av sand blir liggende på toppen av de innfylte sedimentene.

2 SØKNADEN

På vegne av Oslo kommune søker Oslo Havn KF med dette om tillatelse til etablering av dypvannsdeponi ved Malmøykalven og deponering av forurensede sedimenter fra Oslo havnedistrikt etter forurensningslovens § 11 og kap. 22 om mudring og dumping i sjø og vassdrag i "Forskrift om begrensning av forurensning (forurensningsforskriften)" av 1. juli 2004. Deponiet vil ha et volum på ca 1 mill m³ ved oppfylling til kote -63 og dekke et areal på 350.000m² (se fig 2). Tiltakshaver er Oslo Havn KF, men søknaden gjelder også Statens vegvesen, andre tiltakshavere, utbyggere og småbåthavneiere med behov for mudring og deponering i henhold til helhetlig tiltaksplan (forslag, juni 2005).

De forurensede massene som ønskes deponert vil fremkomme som følge av mudring i områder omfattet av helhetlig tiltaksplan for opprydding i Oslo havnedistrikt og utgraving for E18 senketunnel i Bjørvika. Områdene er vist på fig 1.

Sedimentene som skal mudres, er sterkt til meget sterkt forurenset (klasse IV – V i følge SFT veileder 97:03) av de miljøfarlige stoffene PCB, PAH (olje-/tjærestoffer), TBT (bunnstoff fra båter) og tungmetaller så som kvikksølv, kadmium og bly som de mest fremtredende. Kartlegging og inngående eksperimentelle studier viser at fjerning av forurenset sediment fra sjøbunnen i de grunne områdene vil gi en stor miljøforbedring. Under transport og deponering i dypvannsdeponiet ved Malmøykalven vil det bli svært lite spredning av forurensning, og hele prosessen skal overvåkes nøye. I deponiområdet er det forurenset bunn i klasse IV-V, og etter at deponeringen er avsluttet skal hele arealet dekkes med rene masser slik at sjøbunnen på deponistedet vil bli ren.

Det søkes om tillatelse til deponering hele året, og dette begrunnes med at arbeidene med opprydding innen det omtalte området i Oslo havnedistrikt kan utføres i løpet av 16 måneder. Med avbrudd fra 15.mai til 15.september vil arbeidene ta mer enn to år. Vi anser en kortest mulig anleggstid til å være svært fordelaktig for alle involverte og berørte parter, og installasjonene på deponistedet skal ikke være til hinder for ferdselen i sommersesongen.

Argumentene i forbindelse med mudrings- og deponeringsperiodene er oppsummert i tabellen under.

Tabell 1 Argumenter for og imot deponering om sommeren

Strømforhold	Vannutskifting	Biologisk aktivitet	Bruker-interesser	Fremdrift
Mindre strøm og roligere vind enn resten av året.	Ikke utskifting av dypvannet om sommeren.	Den tiden av året med høyest biologisk aktivitet.	Høysesong for rekreasjon. Mye båttrafikk.	Deponering gjennom hele året forkorter tiden deponiet står åpent.
+	+	-	-	+

Norsk Sjøfartsmuseum er varslet i forbindelse med reguleringsplanene og har i brev datert 19.06.05 krevd gjennomføring av kulturminneundersøkelser i området.

Dette er også en søknad om tillatelse til deponering av mudrede masser etter havne- og farvannsloven og plan- og bygningsloven. Søknaden sendes derfor Kystverket, Plan- og bygningsetaten (PBE) i Oslo kommune og bygningsmyndighetene i Nesodden kommune. Søknaden til PBE vil også omfatte etablering av to stk. mindre terskler i del av dypvannsdeponiet som ligger innenfor Oslo kommune.

2.1 Regulering som gjelder

KU for dypvannsdeponiet ble godkjent av SFT i 2003. Det er nå fremlagt forslag til reguleringsplan for området (Oslo Havn KF, 2005) basert på den godkjente KU og de forutsetninger som der er lagt til grunn. Reguleringsplanen ligger ute til offentlig ettersyn frem til 22.06.2005 i Oslo kommune og til 17.07.2005. i Nesodden kommune. Det forutsettes i denne søknaden at reguleringsplanene godkjennes. Det anmodes likevel om at denne søknaden behandles fortløpende, og at det eventuelt stilles som vilkår i en tillatelse at godkjente reguleringsplaner skal foreligge.

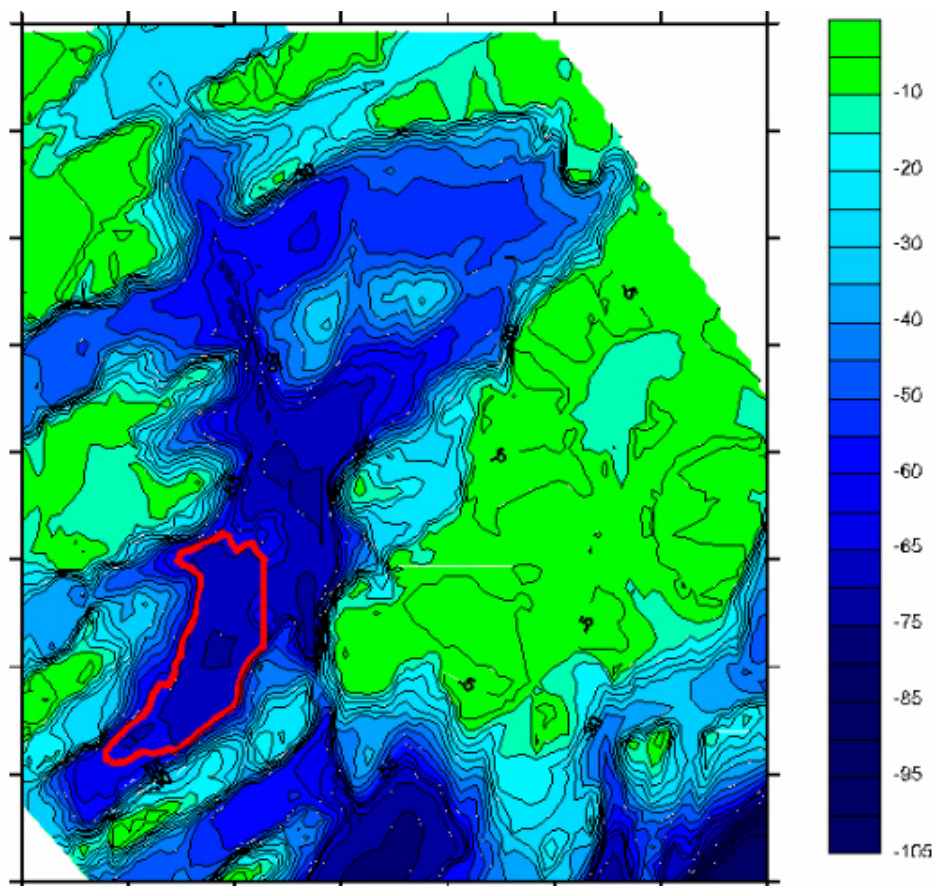


Fig. 2 Dypvannsdeponiets lokalitet og topografien rundt (ref. reguleringsforslag)

3 NÅ-TILSTAND PÅ DEPONERINGSLOKALITETEN

3.1 Forurensning og stabilitet av sjøbunnen

Bunnen i deponiområdet består av bløt leire og slam, og dette tyder på at sjøbunnen tilføres masser (det er sedimenterende forhold) og at det er lav strømhastighet langs bunnen. Det er tatt prøver over hele deponiarealet i 1998 og en fortetning av prøver i 2005. Sedimentene er analysert for tungmetaller, PAH og PCB, og resultatene i tabell 2 viser at det er høye konsentrasjonene av forurensning i sedimentet, og området kan derfor klassifiseres som markert til meget sterkt forurenset.

Tabell 2 Forurensning i sedimentet på deponistedet, mg/kg

Prøvetaking	Kvikksølv	Kadmium	Bly	PAH	PCB
1998	0,1-0,68	0,2-1,3	33-58	5,4-45	<0,01 – 0,024
2005	0,16-1,8	0,24-3,5	26-180	0,5-5	<0,025 – 0,089
SFT klasse (etter maks påvist)	III	IV	III	V	IV

Sjøbunnen er bløt i de søndre delene av området, mens i de nordlige delene der det er dumpet masser av ulik kvalitet og ukjent innhold av forurensning gjennom mange år, er bunnen vesentlig fastere.

For å oppnå kapasitet på 1 million m³ er det behov for å bygge to voller i nord av pukk/grus til ca 3 meter høyde, og på den relativt faste sjøbunnen i dette området med helning på ca 1:50 vil tersklene bli liggende stabilt. Dette er vist på fig.4 og nærmere omtalt i kapittel 4. Det er imidlertid ønskelig å vente med å bygge tersklene da det ikke er sikkert at det vil være behov for hele kapasiteten. I helhetlig tiltaksplan er det foreslått et mudringsbehov på 650 000 m³.

Deponiområdet har en skålform, og en starter å fylle på det dypeste stedet. De bløte bunnmassene i deponiet kan blande seg noe med de deponerte massene i starten av innfyllingen, men dette vil ikke ha noen konsekvens siden forurensningen stort sett er av samme type og konsentrasjon. I den første delen av oppfyllingen vil en ha fokus på dette i overvåkingen. Oppfyllingen fører til økt vekt i bunnen av et dypområde, og dette vil bedre den totale stabiliteten i de arealene som har helning inn mot dette området.

3.2 Strømforhold

På oppdrag av Oslo Havn KF har NIVA vinteren 2005 foretatt utfyllende strømmålinger i deponiområdet for å dokumentere forholdene under en dypvannsfornyelse.

Strømmålere plassert nær bunnen i Bekkelagsbassenget viste lave strømhastigheter under en dypvannsfornyelse som fant sted i februar-april 2005. Dette til tross for at dypvannsfornyelsen var uvanlig stor og effektiv og omfattet hele indre Oslofjord. I Bunnefjorden ble for eksempel det hydrogensulfidholdige dypvannet skiftet ut helt ned til bunn (ca. 150 m), noe som bare skjer hvert 3-4 år.

Midlere strømhastigheter, ca 2 meter over bunn, under dypvannsfornyelsen i Bekkelagsbassenget varierte omkring 2-3 cm/s, med enkelte verdier opp mot 8 cm/s. For 90 % av observasjonene var hastigheten lavere enn 6 cm/s.

En måler som var plassert 1 m over bunnen for å registrere turbulens direkte, målte strøm 8 ganger pr sekund over 5 sekunders perioder som ble gjentatt med 3 minutters mellomrom. Gjennomsnittshastigheter over 5 sekunder var innenfor 2-3 cm/s i det meste av tiden, og med maksimumsverdier på ca. 5 cm/s.

En av strømmålerne fikk lekkasje under målingene. Ca. 65 % av registreringene ble betraktet som gode, og brukt til å beregne turbulens og bunnstress.

Sannsynligheten for oppvirvling av sediment kan vurderes i forhold til størrelsen av bunnstresset som genereres av strømmen. Bunnstresset er beregnet til å variere mellom 0.001 og 0.2 Pascal (N/m²). I perioden med store gjennomsnittshastigheter varierte stresset fra 0.05 til 0.2 Pa. Generelt viste svært få registreringer et bunnstress større enn 0.1 Pascal.

Ut fra tilgjengelig litteratur om resuspensjonsforsøk ligger grenseverdien for oppvirvling av relativt lett sediment med stort vanninnhold (tetthet 1.1 kg/liter) mellom 0.1 og 1 Pa. De laveste verdiene er funnet i ferskvann, og noen resultater viser at sedimenter i sjøvann er mer stabile. Det er derfor lite sannsynlig at de strømhastighetene som ble målt under innstrømningen kan føre til oppvirvling av sedimenter, selv om det ikke helt kan utelukkes. Dertil må en ta i betraktning at målerne var plassert i et område (i utkanten av deponiområdet) der innstrømninger over terskelen vil føre til større strømhastighet enn sentrale deler av deponiområdet. *Hovedkonklusjonen er dermed at det er liten sannsynlighet for oppvirvling av sedimenter i deponiområdet, selv i år med stor dypvannsfornyelse.*

Etter tildekking vil det ikke bli noen erosjon. Dette bekreftes også gjennom beregninger utført i SVRØ sitt pilotprosjekt om ulegging av rene masser (SVRØ 2005), og Hjulstrøms diagram som vist på fig. 8.

3.3 Geologiske formasjoner

Det går en forkastning gjennom Bekkelagsbassenget mot nord like vest for Malmøya/Malmøykalven og retning mellom Gressholmen og Bleikøya. Forkastningen berører ikke deponiområdet, men i deler av Bekkelagsbassenget fremstår forkastningen som en grøft i sjøbunnen. Det har knyttet seg noe usikkerhet til hva årsaken til fordypningen i sjøbunnen kunne være, og det ble hevdet at en årsak kunne være utstrømming av for eksempel grunnvann.

Forsenkningen i Bekkelagsbassenget ble derfor undersøkt med ubemannet undervannsfarkost (ROV) med utstyr for å måle saltholdighet og temperatur i bunnvannet. Dersom det strømmer ferskvann ut fra grunnen under sjøbunnen kan dette observeres som lave saltholdigheter i vannmassene umiddelbart over sjøbunnen. Det er også sannsynlig at temperaturen i en slik vannstrøm avviker fra bunnvannet forøvrig. ROV'en var også utstyrt med videokamera, og ombord i overflatefartøyet ble alle data logget og satt inn på det topografiske bunnkartet.

Det innsamlede datamaterialet viser den samme saltholdighet og temperaturer i området som er undersøkt som fra områdene rundt, og dette tilsier at det ikke kan registreres oppstrømning av ferskvann eller gass fra denne grøften i sjøbunnen i Bekkelagsbassenget. Grøften er en forkastning som ikke er gjenfylt med løsmasser fordi det er ingen elver som tilfører masser til dette området sør for Sjursøya.

3.4 Begrunnelse for valg av deponisted

Tabell 3 oppsummerer hvorfor valgt lokalitet er egnet som dypvannsdeponi.

Tabell 3 Begrunnelse for egnethet for dypvannsdeponi ved Malmøykalven

Avgjørende faktorer	Begrunnelse
Geografi	Nærhet til Oslo havn medfører kort transportavstand.
Geologi	Stabile forhold
Bunnforhold	Dypt basseng omgitt av terskler, se fig 3. Anoksiske forhold i bunnvannet med lite biologisk liv.
Strømforhold	Lite strøm ved bunnen, 2- 5 cm/s under dypvannsfornyelse. Disse hastighetene fører ikke til erosjon av partikler. Ved normale forhold er hastighetene enda lavere.
Kapasitet	Bassenget har kapasitet til å ta imot ca 1 mill m ³ forurensede sedimenter ved at det bygges to terskler på ca 3m høyde i nord. I helhetlig tiltaksplan er det foreslått å mudre 650.000 m ³ .
Historie	Området er tidligere brukt som dumpingplass, bl.a. for båter og både rene og forurensede masser.
Forurensning	Etter deponering og tildekking, vil spredningen av forurensning fra deponiområdet reduseres betydelig i forhold til dagens situasjon, se kap. 5. Dypvannsdeponiet er derfor en miljømessig god løsning. I tillegg vil kort transportavstand medføre mindre utslipp av eksos til luft enn ved alternative disponeringer.

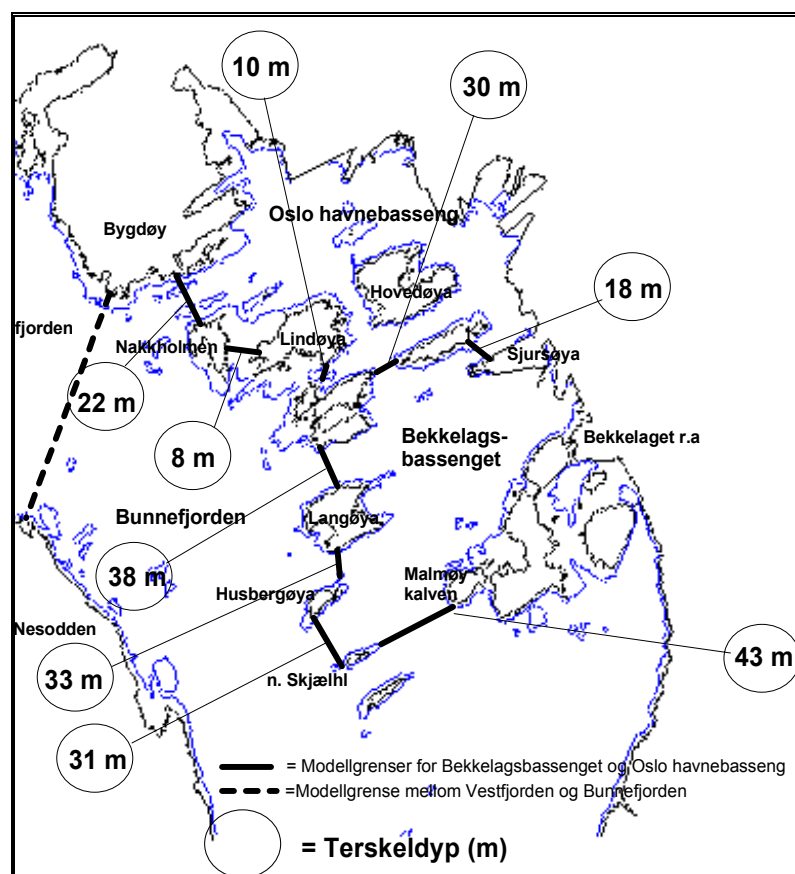


Fig. 3 Bekkelagsbassenget og omkringliggende terskler

4 BESKRIVELSE AV PROSJEKTET

4.1 Lokalitet og omfang

Området har tidligere vært brukt som dumpeplass for båtvrak, masser fra ulike prosjekter på land og mudringsmasser. Undersøkelsene har vist at de tilførte massene også har inneholdt ulike mengder forurensning.

Dypvannsdeponiets plassering er vist på Fig 1 og 2, og dekker et ca 350 dekar stort område på sjøbunnen innenfor Oslo havnedistrikt mellom Malmøykalven og Langøyene i Oslo og Nesodden kommune. Området er foreslått regulert til spesialområde, dypvannsdeponi. Området vil bli fylt opp til kote -63, og deponiet vil få et volum på ca 1 mill m³. Nivå av innfylt masse vil bli overvåket.

Massene som ønskes deponert vil genereres som følge av oppryddingen i forurensede sedimenter i Oslo havnedistrikt inklusive masser som genereres under graving for E18 tunneltrasé. Det foreligger allerede mudringstillatelse for tunnelprosjektet (ref SVRØ/SFT 2004).

Fig. 4 Detaljert skisse som viser plassering av dypvannsdeponiet (ref. forslag til reguleringsplan). Snitt av tersklene er også vist i fig. 5.

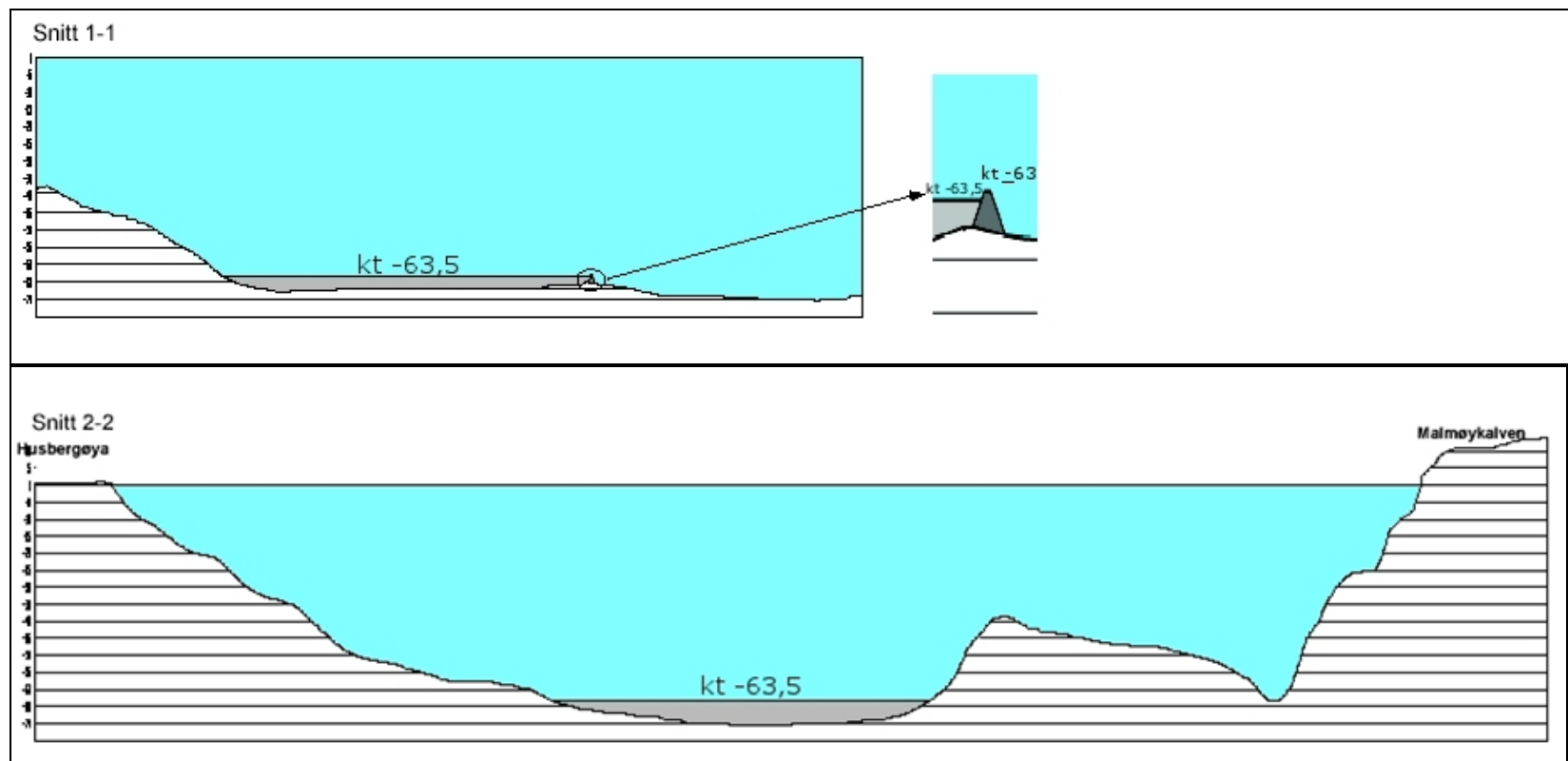


Fig. 5 Skisser som viser snitt gjennom dypvannsdeponiet (ref. fig. 4)

Tersklene som legges opp med grus/pukk vil bli i alt ca. 300 meter lange. Massen legges ut fra lukket rør ned til bunnen. Utslipet posisjoneres etter angitte koordinater fra prosjekteringen. Den totale omkrets av deponiet blir ca. 3100 meter. Eksakt utforming og høyde på tersklene vil avklares gjennom detaljprosjektering.

Det understrekes at det ikke er nødvendig at tersklene anlegges før innfylling starter, men at de må etableres før innfyllingen når kote -66.

4.2.1 Stabilitet i forbindelse med etablering av terskler.

Undersøkelser i 1999 og 2005 (NGI 1999 og 2005) indikerer at grunnen består av bløt leire og silt i sør. I nordlige del av deponiet der de to tersklene vil bli bygget, var det betydelig fastere grunn. Styrken av leira uttrykt som skjærfasthet er lik 6-7 kPa som et gjennomsnitt for hele deponiarealet. Selv om det er høyere styrke i sjøbunnen i de nordlige områdene velger vi å bruke gjennomsnittlig skjærstyrke lik 6-7 kPa i beregningen av stabilitet for tersklene. Det er relativt flat bunn der tersklene skal bygges, og den største helningen er ca 1:20.

For å beregne stabilitet er regelen at grunnen kan belastes med en vekt tilsvarende 5 ganger skjærstyrken i grunnen. For å ha en sikkerhet for at sjøbunnen ikke skal bli overbelastet, deler vi skjærstyrken med en sikkerhetskoeffisient lik 1,1. Dette betyr at sjøbunnen kan belastes med ca 30 kPa. Dette betyr at det kan fylles opp ca 3,5 m med pukk/grus med neddykket egenvekt på 7-9 kN/m³ uten problemer knyttet til stabilitet.

Stabiliteten er lavest like etter oppfylling for så gradvis å øke etter hvert som grunnen presses sammen av belastning fra oppfyllingen og styrken i grunnen øker.

4.3 Sedimentene som skal deponeres

Områdene som er foreslått mudret i Oslo havnedistrikt i henhold til helhetlig tiltaksplan (forslag, juni 2005) er vist på figur 1, og i tabell 4 er det angitt mengdene som inngår.

Tabell 4 Områder med estimert mudringsvolum i Oslo havnedistrikt

Område	Areal m ²	Mudrings- dybde	Volum (m ³)
E18 senketunnelen	50 000	0,5-1,5 m	60 000
Bjørvika utenfor E18	200 000	1,0 m	200 000
Sørenga/Lohavn	70 000	0,5 m	40 000
Pipervika/Vippetangen	110 000	0,3-2	100 000
Filipstad/Tjuvholmen/Hjortnes	75 000	0,2-0,5 m	25 000
Sjursøya /Bekkelagskaia	45 000	0,5-1,0 m	40 000
Småbåthavner (Frognerkilen/ Bestumkilen m. fl.)	150 000	0,5-1 m	150 000
Totalt	700 000		615 000

Havnesedimentene som skal mudres består hovedsaklig av leire og silt. Vanninnholdet varierer, og i Bispevika er det i overflatesediment målt i intervallet 70-200 %. Vanninnholdet er generelt høyest i overflatesedimentene, og avtar nedover i dybden i sedimentet. Saltholdigheten i porevannet til massene som skal deponeres er sannsynligvis den samme som saltholdigheten i vannmassene over, og vil være rundt 25 PSU, noe som er betydelig lavere enn saltholdigheten i vannet ved deponiet som er rundt 33 PSU (NIVA, 2001 og NGI 2005). Vannet i områdene der det mudres er derfor lettere enn i deponiområdet, og mye tilførsel av "lett" vann i dypvannet ved deponiet kan føre til en oppadrettet strøm. For å redusere risikoen for dette bør det under mudring tilføres lite ekstra vann. Alternativt kan det som avbøtende tiltak tilsettes salt ved deponering slik at saltholdigheten i det tilførte vannet blir lik eller større enn saltholdigheten i bunnvannet i deponiet.

4.3.1 Forslag til grenseverdier for masser som skal legges inn i deponiet

Basert på beregninger av hva som vil diffundere ut gjennom tildekkingslaget etter at deponiet er avsluttet, er det beregnet hvilke maksimale konsentrasjoner som kan tillates i deponiet uten at diffusjonen etter tiltaket skal bli høyere enn før tiltaket. Det understrekes at disse grenseverdiene ansees som en øvre grense for hva som skal legges i deponiet, og at grenseverdiene kun gjelder forurensede sedimenter fra indre Oslofjord. Forslaget til grenseverdier er som følger;

- Kadmium: 180 mg/kg
- Kvikksølv: 75 mg/kg
- Bly: 8550 mg/kg
- Benso(a)pyren: 103 mg/kg
- PAH₁₆: 1005 mg/kg
- PCB₇: 3,7 mg/kg
- TBT: 36 mg/kg
- Mineralolje: 8000 mg/kg

Grenseverdien for TBT er satt 10 ganger høyere enn beregnet diffusjon (utlekking) fra deponistedet. Dette er fordi TBT-mengdene på deponistedet er små i forhold til områdene som er planlagt mudret. TBT-utslippene totalt innenfor Oslo kommunes grenser vil allikevel gå drastisk ned etter deponering.

4.4 Teknisk utførelse av deponering

De mudrede massene transporteres til deponiet på en slik måte at det ikke blir søl av forurensning underveis, og transporten vil forgå i lekter eller selvgående fartøy.

Nedføring av masse til deponiet skal gå via et lukket rør som vist på fig. 6. Dette gjøres enten direkte fra fartøyet som transporterer massen og som har eget rør for nedføring, eller at det ligger et fartøy med nedføringsrør fast på deponistedet. Massen må da lastes over til fartøyet med nedføringsrøret. Lossing og overføringen til nedføringsrøret skal skje uten spill av masser. Entreprenøren må ha prosedyrer for alle deler av dette arbeidet som presenteres og godkjennes før oppstart. Avbøtende tiltak kan være en siltgardin ned til sprangsjiktet rundt fartøyet slik at den fanger opp eventuelt spill under omlasting fra lekter. Behovet for dette vurderes opp mot effekt.

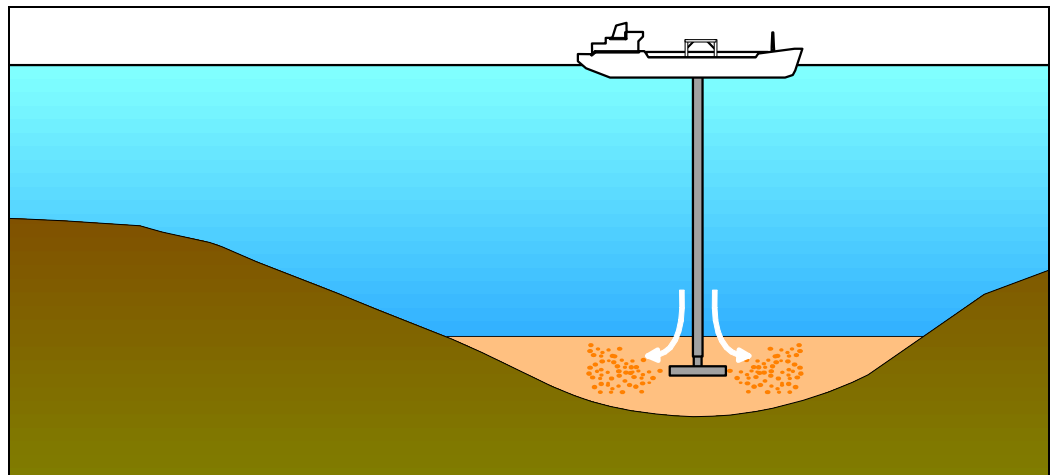


Fig. 6 Skisse som viser deponering av forurensset sediment via nedsenket rør

Faren for oppvirvling av sedimenter fra sjøbunnen i deponiet eller av deponert masse er avhengig av den avstanden fra bunnen massene slippes fra, samt tettheten til massene. For å minimalisere oppvirvling fra denne nedføringen må hastigheten massen har ut fra nedføringsrøret være så lav som mulig, og nedføringsrøret må være så nær bunnen som mulig. Utformingen av den nederste delen av røret, "diffusoren", som skal senke hastigheten på massestrømmen ut av røret er en viktig del, og dette blir en del av oppgaven til entreprenøren å dokumentere i sitt tilbud.

Deponeringen starter på det dypeste området i deponiet, og styres slik at massene hele tiden fordeler seg jevnt i bassenget. Erfaring fra SVRØ sitt pilotforsøk samt beregninger tilsier at deponering via senket rør er en teknisk sikker deponeringsmetode, som gir den mest fleksible og kontrollerbare løsningen.

Overvåking under deponeringen er beskrevet i kapittel 6, og dersom spredning av partikler ut over deponiområdet forekommer i et omfang som beskrevet senere, må arbeidet stoppes og avbøtende tiltak settes inn. Prosedyrene for deponeringen må gjennomgås, og et tiltak kan være å pumpe ut sand i overflaten som sedimenterer fritt i vannmassene slik at de fine partiklene blir dratt med ned til deponiets overflate.

4.5 Teknisk utførelse av tildekking etter deponering

Etter at de forurensede massene er fylt inn i deponiet, skal området tildekkes med rene masser. Den totale tildekkingen vil bli på minimum 30 cm. Designet av tildekkingslaget er basert på anbefalinger presentert av NGI i rapport 20021244 "Anbefalinger ved prosjektering av tildekking av forurenset sediment" (NGI 2005a). Kriteriene for dimensjonering av tildekkingslaget er:

1. Spredningen fra deponiet skal være mindre enn fra deponiområdet slik det ligger i dag ($h_{\text{kjemisk isolering}}$)
2. Tildekkingslaget skal være tykt nok til å forhindre at gravende organismer kommer i kontakt med de forurensede massene i deponiet ($h_{\text{bioturbasjon}}$)
3. Tildekkingslaget skal bestå av masser grove nok til å motstå erosjon av vannbevegelser over deponiet ($h_{\text{erosjonbeskyttelse}}$)
4. Det tas hensyn til den komprimeringen som skjer i tildekkingslaget etter at utleggingen er gjennomført ($h_{\text{konsolidering cap}}$)
5. Det legges inn en sikkerhetsmargin som tar høyde for usikkerheten knyttet til presisjonen ved utlegging av tildekkingslaget ($h_{\text{operasjonell}}$)

Fig. 7 illustrerer hvordan summen av disse elementene til sammen gir tykkelsen på det laget som skal legges ut over de mudrede massene i deponiet.

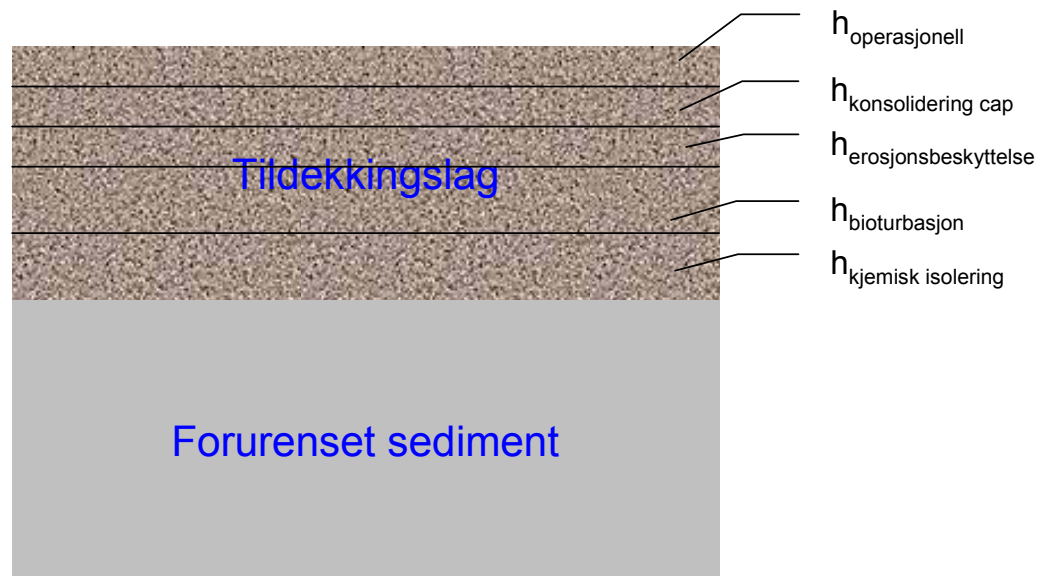


Fig. 7 Elementer i beregning av tykkelse av tildeckingslag

Kjemisk isolering er beregnet basert på verktøyet gitt i veileder for risikovurdering av forurensset sediment (SFT, 2005b). Ved å velge 15 cm for den rent kjemiske isoleringen, vil man oppnå sterk reduksjon i spredning av forurensninger i forhold til hvordan sedimentene i deponiområdet ligger i dag (kap. 5.1.5).

Gravedybden for sedimentlevende dyr varierer. Generelt vurderes et tillegg i tildekkingen på 10 cm å være tilstrekkelig for å hindre bunnlevende organismer i å grave seg ned i forurensset sediment (bioturbasjon).

Strømningsmålinger gjort i henholdsvis 1999 og i 2005 i dypvannsdeponiet, viser hastigheter < 3 cm/s. Ved en dypvannsutskifting er vannbevegelsen vist å være opp til 5 cm/s, og med korte perioder opp til 15 cm/s. I henhold til Hjulstrøms diagram fig. 8 er det da ikke eroderende forhold på stedet under noen av disse tilfellene. Benyttes grusmasser med kornstørrelser 0 – 16 mm oppnås tilstrekkelig erosjonsbeskyttelse. Dersom den øverste delen av tildekkingen består av slike masser vil de øverste 10 cm fungere både som erosjonsbeskyttelse og bioturbasjonslag.

Konsolideringen av tildeckingslaget skyldes setninger i tildeckingslaget etter at det er lagt ut. Sandige materialer setter seg lite, og det ses bort fra dette bidraget.

Usikkerheten ved utleggingen varierer med hvilken metode som benyttes. Ved rolige strømforhold, og beskjedne vanndybde anses 5 cm som en rimelig sikkerhetsmargin. Her er det valgt å anta en usikkerhet på 15 cm. Dersom entreprenøren kan dokumentere bedre presisjon kan den operasjonelle tykkelsen reduseres med inntil 10 cm.

Total tykkelse på tildekkingslaget finnes ved å addere de overnevnte sjiktene, og totalen summeres til å bli 30 – 40 cm.

Tildekkingslaget må bestå av fine masser i de første 20 – 30 cm (0-10 mm), mens de resterende 10 cm skal bestå av 0 – 16 mm som skal virke som erosjons-beskyttelse og bioturbasjonslag.

Etter tildekkingen vil undersøkelser gjøres for å verifisere bioturbasjonsdypet og effekten av tildekkingen.

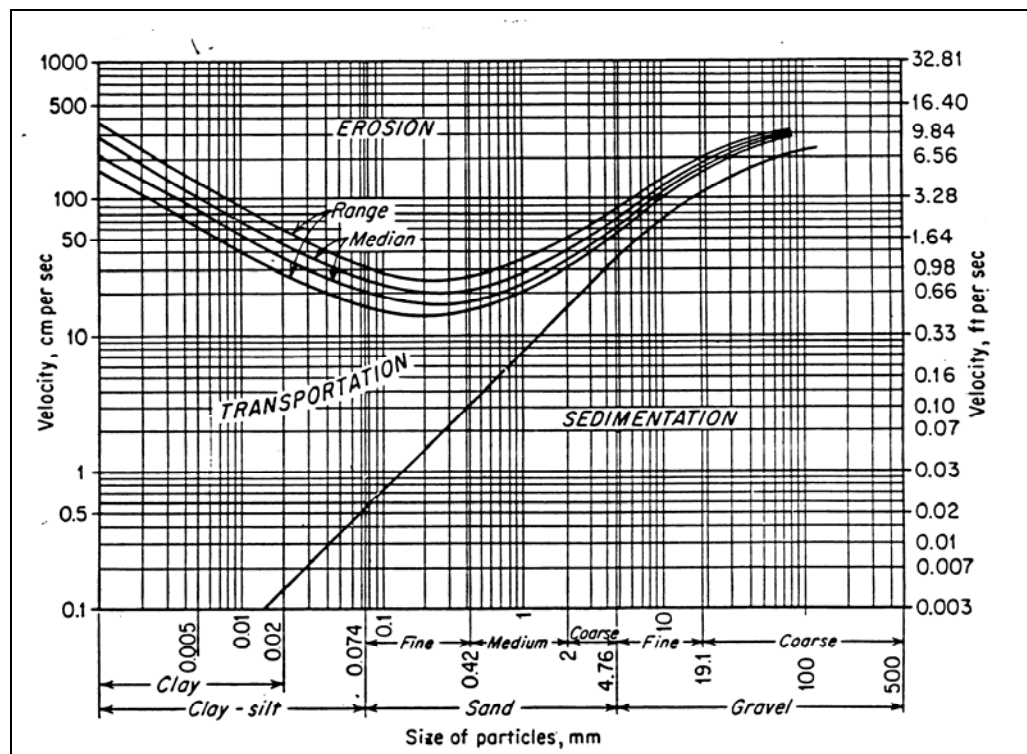


Fig. 8 Hjulstrøms diagram for beregning av erosjon av sedimenter basert på strømshastigheter i vannet

Erfaringer fra laboratorieforsøk viser at det kreves noe tid etter utlegging av mudrede masser før de har bæreevne nok til at et dekklag kan bli liggende på toppen. Det mest ekstreme tilfellet vil være at den øverste delen av slamlaget er så løs at det ikke er kontakt mellom partiklene i massen, og massen oppfører seg som en væske.

NGI har gjennom laboratorieforsøk (Eek. et. al, 2003) vist at det er mulig å tilsette et tynt lag med sand ca. 1 døgn etter deponering av mudrede masser. Ved å legge ut et tynt sandlag øker konsolideringen og styrkeøkningen i slamlaget ytterligere med tiden. Det må settes krav til kontroll av tykkelse og metoder for utlegging av tildekkingslaget.

Fig. 9 viser maksimal tildekkingshøyde ved utlegging basert på dimensjonerende skjærstyrke i deponimassen og gitt romvekt av tildekkingsmateriale. Figuren viser eksempelvis at man kan legge ut et 0,25 m tykt sandlag direkte på sjøbunnen med neddykket romvekt 10 kN/m^3 , hvis dimensjonerende skjærstyrke er 0,5 kPa eller mindre. I Hannevika i Kristiansand ble det målt skjærstyrke i slamlaget til 0,5 kPa.

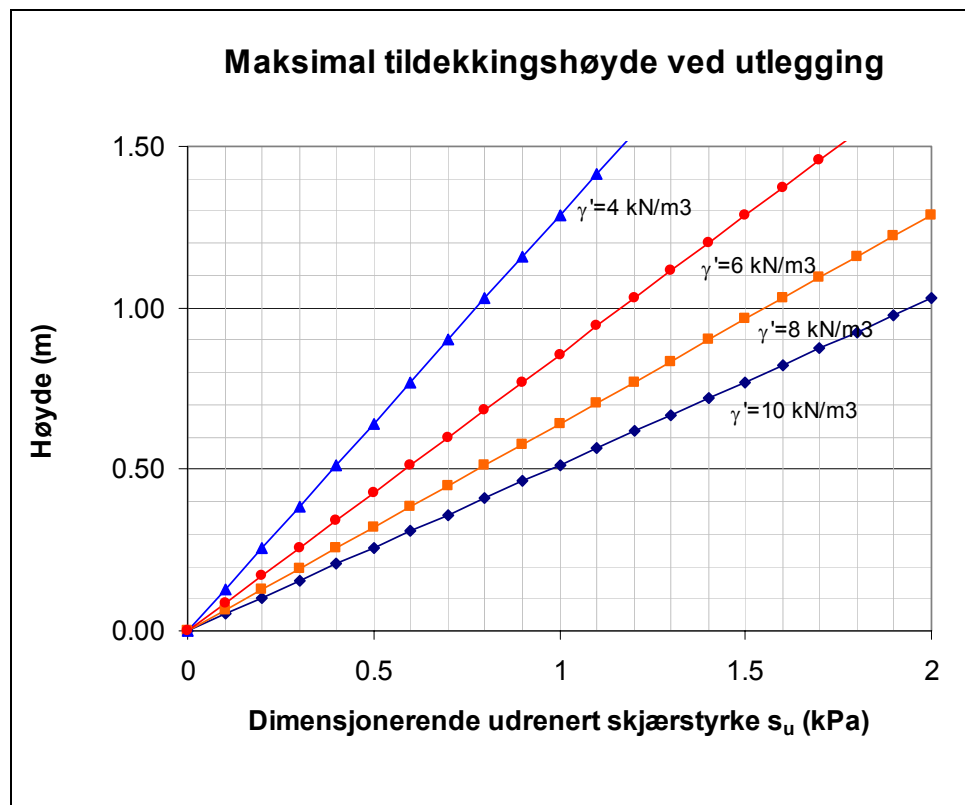


Fig. 9 Maksimal tildekkingshøyde ved utlegging som funksjon av romvekt til tildekkingslag og dimensjonerende skjærstyrke

For å sikre at tildekkingslaget på deponiet blir liggende på toppen, må utleggingen gjøres i flere lag. Foreløpig er vanninnholdet til de mudrede massene ikke kjent. Kartlegging av vanninnhold og skjærstyrke i overflaten av deponiet etter innfylling vil bestemme den endelige prosedyren for utlegging av tildekkingen.

4.6 Tidsplan

Arbeidene starter med mudringen av forurensede masser i tunneltraséen for E18. Det er satt av ca. 4 måneder i SVRØ sin tidsplan med oppstart ca. 1. november 2005. Dette angir en kapasitet på mindre enn 1000 m^3 per dag. Dersom man antar en kapasitet på 2000 m^3 per dag, vil utgravingen kunne foregå på ca.

2 måneder. Dersom man regner en kapasitet på 2000 m³ pr. dag kan den totale mudringen i Oslo havnedistrikt utføres i løpet av 65 uker, dvs. et år og fire måneder. Ved start 1. november 2005 kan en være ferdig 1. februar 2007 ved kontinuerlig drift. Ved avbrudd 15. mai – 15. september vil arbeidene bli ferdig ved utgangen av 2007. Tidsplanen for mudringen er vist på neste side, både med og uten eventuelt opphold i perioden mai-september. Kapasiteten kan fravike fra det oppsatte etter hvordan entreprisen velges utformet.

Det foregår fiskevandring til Akerselva fra begynnelsen av april til 1.juni og fra medio oktober til slutten av november. I disse periodene må mudringen ute i Bjørvika tilpasses slik at dette ikke forstyrrer fiskevandringen.

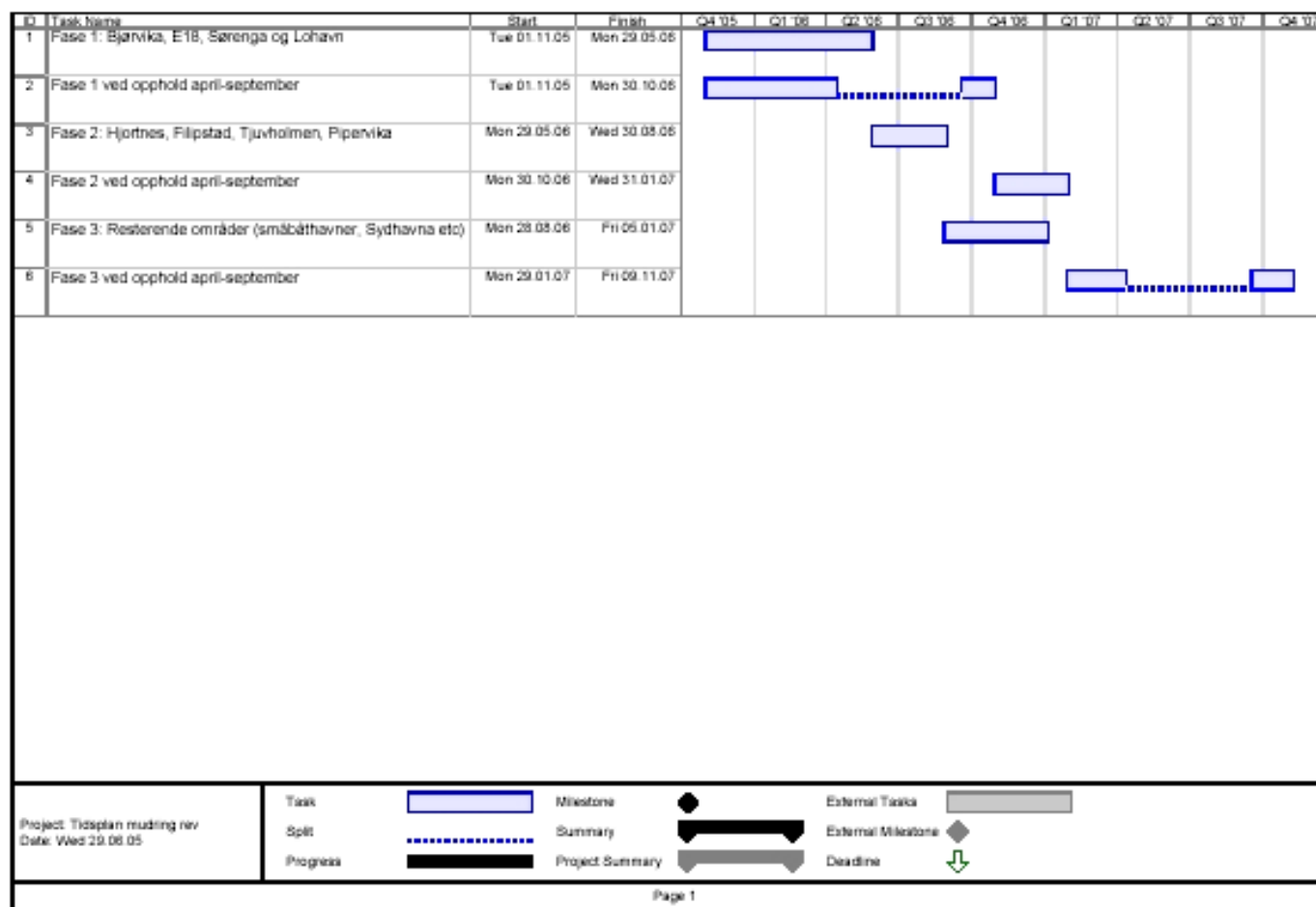


Fig. 10 Eksempel på fremdriftsplan for mudringen

5 MILJØEFFEKT AV TILTAKET

Hensikten med deponeringen av forurensede sedimenter i dypvannsdeponi er å redusere negative miljøeffekter av forurensningen slik den ligger i dag, både i de grunne havneområdene og småbåthavnene, og i området hvor dypvannsdeponiet skal etableres. Det foregår en transport av forurensninger fra sediment i disse områdene (fig. 11) til vannmassen. For å redusere denne spredningen, vil man fjerne forurensede masser fra de grunne havneområdene og plassere dem i et dypvannsdeponi som så dekkes til. Dette vil medføre en betydelig reduksjon i spredningen av forurensning fra de grunne havneområdene og i området for dypvannsdeponiet.

I grunne forurensede områder uten båttrafikk vil flora og fauna ta opp miljøgifter i sine organismer, samt at noe vil diffundere ut i vannmassene. Dette foreslås håndtert ved tildekking i stedet for mudring, dvs en forsering av den naturlige sedimentasjonsprosessen. For mer informasjon henvises det til helhetlig tiltaksplan samt Statens vegvesens søknad til SFT.

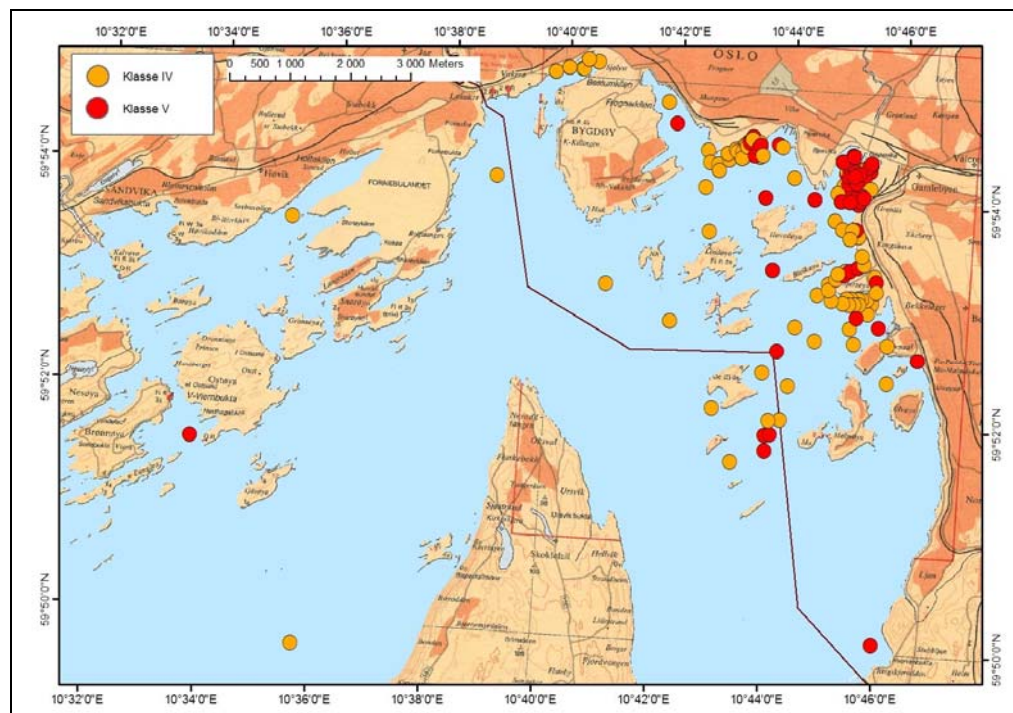


Fig. 11 Kart som viser stasjoner med forurensning tilsvarende tilstandsklasse IV-V

Under selve mudringen og deponeringen vil spredningen av forurensning øke i forhold til dagens situasjon på grunn av inngrep og håndtering av massene. Denne midlertidige økningen tjenes inn ved at det oppnås sterk reduksjon i spredning etter at tiltaket er gjennomført. I fig. 12 er det vist et eksempel på

hvordan spredningen vil endres som følge av et tiltak. Dersom man ikke utfører tiltaket, vil spredningen fortsette som før (rød linje).

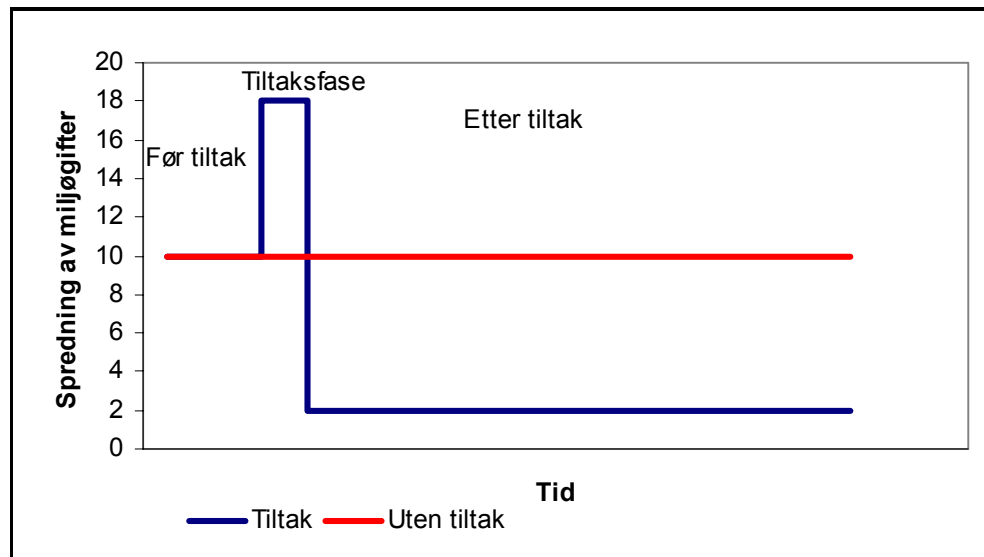


Fig. 12 Eksempel på illustrasjon av spredning av en forurensning før, under og etter et gitt tiltak, basert på et miljøbudsjett

5.1 Miljøbudsjett for spredning av forurensning

For å vurdere miljøeffekten av deponering av forurensede sedimenter i dypvannsdeponi, er det utarbeidet et *miljøbudsjett* som tar hensyn til spredningsmekanismene før, under og etter tiltaket. Spredningsberegningene er gjort i henhold til SFTs veileder for risikovurdering av forurenset sediment (SFT, 2005b). Veilederen tar for seg spredning som følge av oppvirvling grunnet propellerosjon, spredning som følge av diffusjon dvs. på grunn av konsentrasjonsforskjeller og spredning via organismer. I tillegg kommer spredning under mudring, deponering og spredning via porevann som følge av at massene vil presses sammen i deponiet slik at porevannet fortrenses.

Det forutsettes at de mudrede massene transporteres i tette fartøy og at det ikke vil være søl under transporten til deponiområdet. Effekten av tiltaket kan uttrykkes som reduksjon i spredning av forurensning fra et område over et gitt tidsrom. Tabell 5 viser de viktigste spredningsveiene for tiltaket, inkludert mudringen av de forurensede sedimentene i havneområdene.

I de følgende kapitlene gjennomgås de aktuelle spredningsmekanismene i de ulike fasene. En mer detaljert beskrivelse av miljøbudsjettet finnes i vedlegg A.

Tabell 5 Spredningsmekanismer før, under og etter tiltak

	Spredning før tiltak (nå-situasjon)	Spredning under tiltak (mudring, deponering og tildekking)	Spredning etter tiltak (mudrede områder, tildekket deponi)
Områder som skal mudres	• Diffusjon av forurensning fra sedimenter til vannfase • Oppvirvling av forurenset sediment pga. skipstrafikk • Transport av forurensninger via organismer	• Diffusjon av forurensning fra sedimenter til vannfase • Oppvirvling av forurenset sediment pga. mudring • Transport av forurensninger via organismer	• Diffusjon av forurensning fra sedimenter til vannfase • Oppvirvling av forurenset sediment pga. skipstrafikk • Transport av forurensninger via organismer
Deponi-området	• Diffusjon av forurensning fra sedimenter til vannfase • Transport av forurensninger via organismer	• Diffusjon av forurensning fra sedimenter til vannfase • Oppvirvling av forurenset sediment pga. deponering • Transport av forurensninger via organismer • Porevannsutpressing	• Diffusjon av forurensning fra sedimenter til vannfase • Transport av forurensninger via organismer

5.1.1 Metode for å beregne spredning

Spredning som følge av diffusjon

Dersom det eksisterer konsentrasjonsforskjeller mellom porevannet i sedimentene og vannet over, vil forurensning bevege seg fra områder med høy konsentrasjon til områder med lav konsentrasjon for å jevne ut forskjellen, hvilket kalles diffusjonsstyrt transport. I tillegg vil bunnlevende organismer som graver i sedimentoverflaten (bioturbasjon) bidra til at forurensninger frigis til vannfasen.

Den kjemiske diffusjonen skjer i den øverste cm av sedimentoverflaten. Dersom et område dekkes til med rene masser, vil diffusjonen reduseres på grunn av at tildekkingslaget hindrer og forsinker diffusjonsprosessen fra de forurensede sedimentene til vannmassen, dvs forurensningen må trenge gjennom tildekkingslaget før den når vannmassen. I tillegg må tildekkingen hindre at bunnlevende organismer graver seg ned i sedimentene.

Spredning som følge av propellerrosjon (oppvirvling)

Strøm fra skipspropeller vil virvle opp sedimenter som så kan spres. Spredningen som følge av slik oppvirvling beregnes ut fra antall skipsanløp pr. år og et estimat av oppvirvlet mengde sediment per anløp. I SFTs veileder er det oppgitt en standardverdi for mengde oppvirvlet sediment per skipsanløp som er basert på data fra sedimentasjonsforsøk utført av NIVA (NIVA 1995). Denne spredningsmekanismen er antatt ikke å være aktuell i områder med vanndybder på mer enn 15 m da effekten av propellaktiviteten minker når avstanden til sjøbunn blir stor. I beregningene for mudringsområdene er det antatt 2000 skipsanløp per år, hvilket kan ansees som konservativt da reelt antall

skipsanløp per år i Oslo havnedistrikt er langt større. Dette for ikke å overestimere effekten av mudringstiltaket.

Spredning som følge av mudring (oppvirvling)

Under mudring kan sediment bli virvlet opp i vannmassene på mudringsstedet. Dette kan føre til en frigjøring av miljøgifter til vannmassene som senere kan transporteres videre. Omfanget av dette vil variere avhengig av mudringsmetoden som benyttes. Det er anslått at oppvirvlingen grunnet mudring tilsvarer oppvirvling grunnet propellersjøl (NGI, 2002).

Spredning som følge av deponering (oppvirvling)

Under deponeringen av de forurensede sedimentene vil det også forekomme noe oppvirvling når sedimentene når sjøbunnen. NIVA har utført studier og estimering av slik oppvirvling (NIVA 2001), og resultatene fra dette arbeidet er benyttet i miljøbudsjettet.

Spredning som følge av utpressing av porevann under konsolidering

Ved mudring vil det blandes vann inn i massene som igjen blandes med porevannet i sedimentet. Dette vil medføre at likevekten mellom partikkelbundet og vannløst forurensing forskyves, slik at mengden forurensning i vannfasen øker. Etter deponering vil dette vannet presses ut under konsolidering av massene. I tillegg til at porevann presses ut av mudrede masser, vil porevann i de underliggende sedimentene i deponiområdet presses ut på grunn av økt belastning.

Volumet vann som blandes inn under mudring er konservativt anslått til ca. 50 % av mudringsvolumet. Dette tilsvarer ca 300.000m³ vann. Setninger i sjøbunnen i deponiområdet er anslått til ca. 1 m (NGI 2005b), hvilket betyr at det maksimalt kan presses ut 1 m³ porevann per 1 m² utfyllt område. Med et deponiareal på 350 000 m² blir volumet porevann fra selve deponiet ca. 350 000 m³, hvilket gir en total porevannsutpressing på 650.000 m³. Ved å anta at porevannet vil ha samme konsentrasjon som målt porevannskonsentrasjon i sedimentene som skal mudres, kan man finne antall gram forurensning som vil spres på grunn av porevannsutpressing.

5.1.2 Forutsetninger

De forurensede sedimentene som det søkes om å legge i dypvannsdeponi, kommer fra forskjellige områder i Oslo havnedistrikt. Det er valgt å benytte ett sett med sedimentkonsentrasjoner som representerer alle områdene. Det benyttede settet tar utgangspunkt i samtlige analyser utført på overflatesediment i de aktuelle områdene i perioden 1992-2004. For en nærmere beskrivelse av hvordan dette settet med konsentrasjoner er funnet, vises det til vedlegg A. I tillegg er det gjort målinger av porevannskonsentrasjonen (Oslo Havnevesen,

2002 og NGI, 2005b) etter utlekkingstester (sediment ristes med sjøvann i 48 timer, deretter analyseres vannfasen for forurensninger) eller etter filtrasjon (sedimentprøven filtreres og den filtrerte vannprøven analyseres for forurensninger).

I området for dypvannsdeponiet er det tatt sedimentprøver i 1998 og 2005. Snittverdien av disse prøvene er benyttet. Det er ikke utført målinger av porevannskonsentrasjoner for sedimentene i deponiområdet slik det er i dag. Porevannskonsentrasjonen er derfor beregnet ut i fra sedimentkonsentrasjonen og en forventet fordeling av forurensninger mellom sediment og porevann. I tabell 6 er de benyttede konsentrasjonene for både mudringsområdene og deponiområdet vist.

Tabell 6 Benyttede sediment- og porevannskonsentrasjoner for beregning av spredning

Sedimentkonsentrasjon	Cd (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Pb (mg/kg)	b(a)p (mg/kg)	PAH ₁₆ (mg/kg)	PCB ₇ (mg/kg)
Mudringsområder	4,53	7,23	429	1,38	18,5	0,229
Dypvannsdeponiet	1,20	0,51	57	0,69	6,7	0,025
Porevannskonsentrasjon	Cd (µg/l)	Hg (µg/l)	Pb (µg/l)	b(a)p (µg/l)	PAH ₁₆ (µg/l)	PCB ₇ (µg/l)
Mudringsområder	0,08	4,28	0,04	0,026	0,183	<0,07
Dypvannsdeponiet	0,0114	0,0045	0,134	0,104	0,639	0,0487

Spredning beregnes først som mg forurensning per areal per år ($\text{mg/m}^2/\text{år}$). Områdene som skal mudres utgjør et areal på ca. 700 000 m^2 , mens deponiområdet utgjør ca. 350 000 m^2 . For spredning før og etter tiltak vil det være hensiktsmessig å oppgi spredningen som en mengde per år. Spredningen under tiltak vil imidlertid være begrenset til en gitt tidsperiode, i dette tilfellet anslått til 16 måneder, og regnes derfor som antall gram per 16 måneder.

Det vises også for øvrig til vedlegg A hvor øvrige data som inngår i beregningene er omtalt.

5.1.3 Spredning fra forurensede sedimenter i nå-situasjonen

Slik de forurensede sedimentene i Oslo havnedistrikt ligger i dag, er de viktigste spredningsmekanismene oppvirvling av partikler som følge av skipstrafikk og diffusjon av miljøgifter fra sedimentet (NGI og NIVA, 2003), se figur 13. Spredningen fra sedimentene er antatt å være konstant med tiden, men i virkeligheten vil de forurensede sedimentene gradvis dekkles til som følge av ny sedimentasjon i området. Dersom konsentrasjonen i tilførselen reduseres, vil

spredningen fra sedimentet uten (før) tiltak være mindre enn det som er brukt i denne beregningen.

Sedimentene i deponiområdet er analysert, og resultatene viser at konsentrasjonene av kadmium, kvikksølv og bly tilsvarer tilstandsklasse I-III, PAH tilsvarer III-V, benzo(a)pyren IV-V og PCB II-IV. Området kan derfor klassifiseres som markert til meget sterkt forurensset. Den viktigste spredningsmekanismen fra sedimentene i deponiområdet slik de ligger i dag, er diffusjon av miljøgifter fra sediment til vannfasen over.

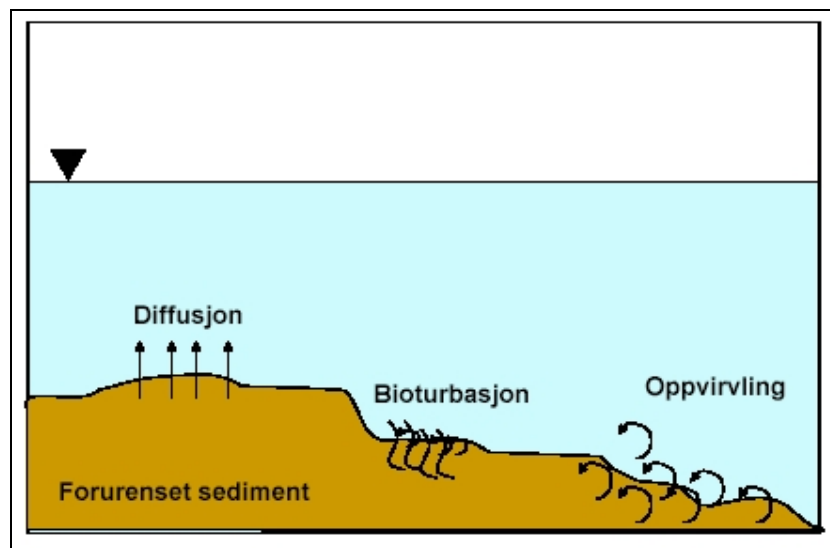


Fig. 13 Skisse som viser spredningsmekanismer av forurensning i havneområder som skal mudres

5.1.4 Spredning under tiltak

Under tiltaksfasen vil følgende spredningsmekanismer kunne være aktuelle i tillegg til den spredning som foregår i nå-situasjonen:

- Oppvirvling av forurensede sedimenter pga mudring
- Oppvirvling av forurensede sedimenter pga deponering
- Porevannsutpressing pga mudring
- Porevannsutpressing pga deponering
- Spredning under utlegging av tildekkingslag
- Søl under transport

Spredning under utlegging av tildekkingslag har tidligere vist seg å være neglisjerbar (NGI 2002a og b) og vurderes derfor ikke. Da det vil stilles krav til at de mudrede massene transporteres i tette enheter, vil søl under transporten til deponiområdet være neglisjerbar. I fig. 14, er de aktuelle spredningsmekanismene illustrert.

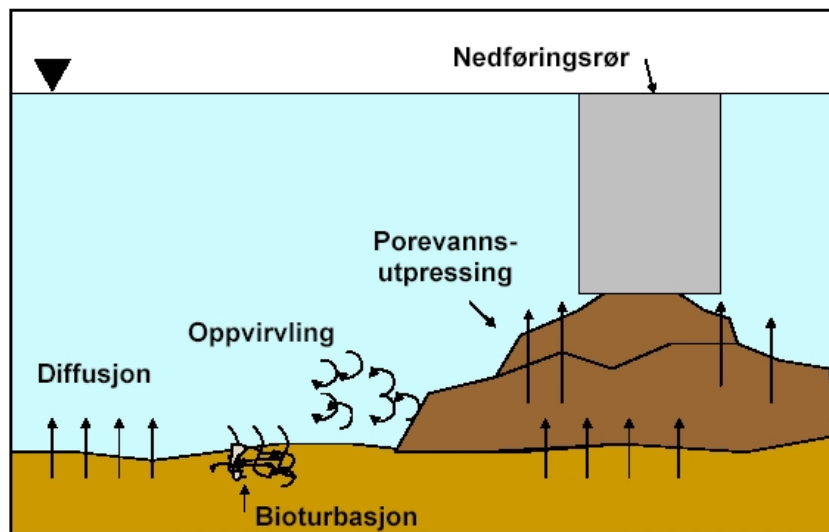


Fig.14 Spredningsmekanismer i deponiområdet under tiltaket

Økningen i spredning pågår så lenge anleggsperioden varer, i dette tilfellet anslått til ca. 16 måneder, og vil tjenes inn ved redusert spredning etter tiltak. Diffusjon og oppvirvling som foregår i nå-situasjonen vil også pågå under tiltaksfasen.

5.1.5 Spredning etter tiltak

Etter mudring skal sjøbunnen i de mudrede områdene tilfredsstille tilstandsklasse II i henhold til SFTs klassifisering av sedimenter. Dette vil innebære en reduksjon i spredning fra mudringsområdene på 72 -96 % for de respektive stoffene, se tabell 7 under.

Tabell 7 Sedimentkonsentrasjon i mudringsområder før og etter mudring

	Cd	Hg	Pb	b(a)p	PAH ₁₆	PCB ₇
Konsentrasjon før mudring, (mg/kg)	4,53	7,23	429	1,38	18,5	0,229
Konsentrasjon etter mudring = tilstandsklasse II (mg/kg)	1	0,6	120	0,05	2	0,0125
Reduksjon (%)	78	92	72	96	89	95

Partikler suspendert i vannmassene og partikkeltilførsel via f.eks. elver og overløp, vil etter en viss tid utgjøre den nye sjøbunnen. Dersom tilførslene har høyere konsentrasjoner av tungmetaller, PCB og PAH, vil spredningen fra de mudrede områdene underestimeres. Har tilførslene derimot lavere konsentrasjoner, vil spredningen etter tiltak være overestimert.

Studier av tilførselen av partikulær forurensning via Akerselva viser at dersom man fjerner forurenset sediment i Bispevika, og sedimentasjon av partikulær tilførsel fra Akerselva utgjør den nye sjøbunnen, vil mudringen medføre en reduksjon i spredning på 43-81 %, med unntak for bly som vil øke med 39 %. Basert på tallene fra Akerselva vil man på lang sikt kunne forvente at sjøbunnen vil ha tilstandsklasse III dersom det ikke gjøres tiltak også med Akerselva.

Etter at deponeringen er gjennomført og dypvannsdeponiet er dekket til med rene masser, vil eneste spredningsmekanisme for miljøgifter være diffusjon fra deponerte sedimenter gjennom tildekkingslaget (NGI, 2002), se fig. 15. Undersøkelser gjort både i felt og laboratorium viser svært lav diffusjon gjennom et tildekkingslag. Fig. 16 viser et eksempel på redusert diffusjon av PAH i undervannsdeponiet i Sandefjord etter tildekking. En tildekking av deponioverflaten vil redusere diffusjonen av forurensninger. Tildekkingslaget dimensjoneres for å;

- Hindre uønsket diffusjon av forurensninger
- Hindre bunnlevende dyr i å grave i forurenset sediment
- Hindre erosjon av forurenset sedimentbunn

I tillegg skal designet av tildekkingslaget ta høyde for konsolidering (sammenstrykking) av tildekkingen og usikkerheten i hvor jevnt operatøren klarer å legge ut tildekkingsmassen. Totalt vil tildekkingslaget over deponiet være 0,3-0,4 m (se kap 4.5).

Tykkelsen på tildekkingen som skal hindre ren kjemisk diffusjon må være minst 4 cm (kap.4.5). Dersom man velger 15 cm tildekking for kjemiske isoleringen vil man oppnå 96,2 % reduksjon i spredning av kadmium fra deponiområdet. Likeledes vil reduksjonen for kvikksølv være 94 %, for bly 78,6 %, for benzo(a)pyren og PAH₁₆ 99,8 % og 90,4 % reduksjon for PCB₇.

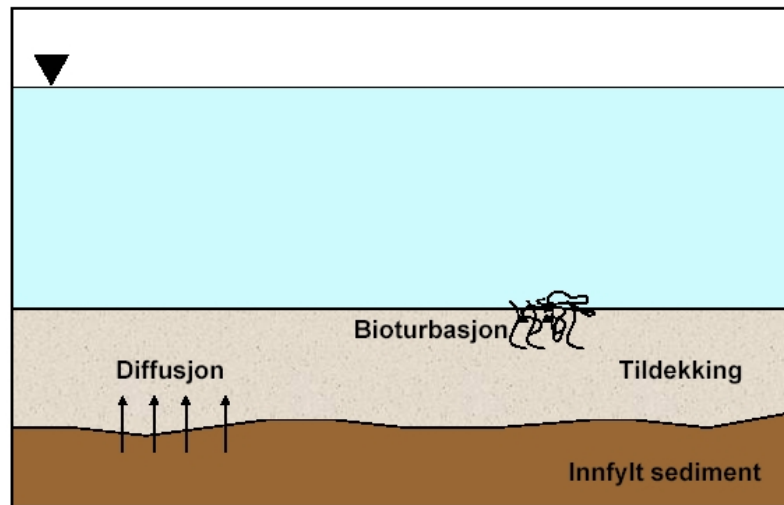


Fig. 15 Spredningsmekanismer i deponiområdet etter tildekking

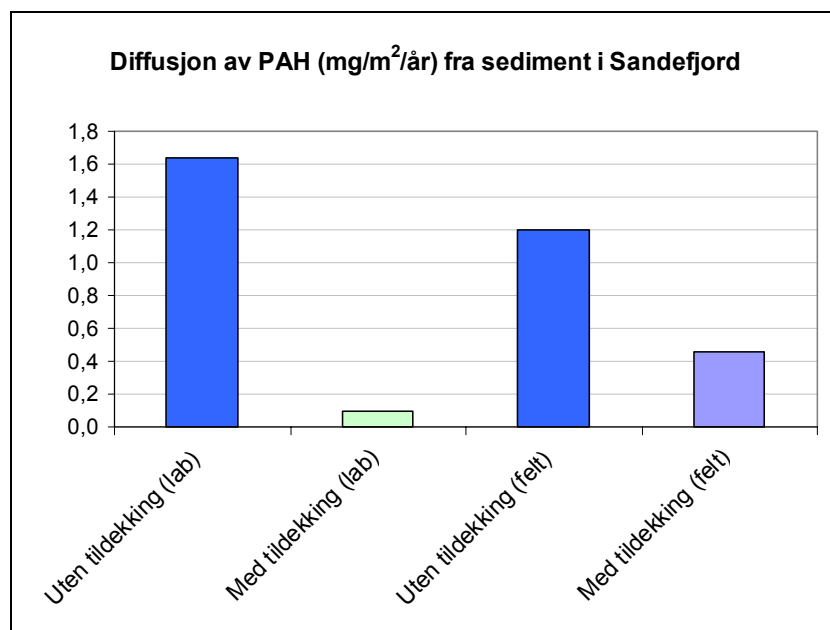


Fig. 16 Diffusjon av PAH fra sediment i Sandefjord med og uten tildekking. Diffusjonen fra tildekket sediment er omregnet til hva den ville være dersom tildekkingen kun var 1 cm. Reell tildekking i Sandefjord var 0,3 m.

5.2 Miljøgevinst

I fig. 17 til 20 er resultatene fra beregningene av miljøbudsjettet vist som spredning av forurensning per år før, under og etter mudring og deponering i dypvannsdeponiet. Under selve tiltaksfasen vil belastningen øke, men økningen vil kun være midlertidig og vil dessuten tjenes inn av den reduserte sprednin-

gen etter tiltaket. Linjen som viser spredning etter tiltak i fig. 17 til 20, styres av spredningen fra havneområdene, da denne vil være 2 til 3 størrelsesordener større enn spredningen fra deponiområdene etter tiltak.

Med en total tildekkingsstykkelse på 0,3 m hvorav den kjemiske isoleringen mot diffusjon og bioturbasjon utgjør halvparten, vil tilførsel av forurensinger fra deponiområdet til omgivelsene i forhold til dagens situasjon reduseres med 79 - 99,8 % for de forskjellige stoffene, og spredningen fra havneområdene reduseres med 72 – 96 % for disse stoffene. Ut ifra de beregninger og betraktninger som er gjort og vist i figurene og vedlegg A, vil deponering av forurensede sedimenter i dypvannsdeponiet medføre stor positiv miljøeffekt både for de mudrede områdene og for deponiområdet i forhold til dagens situasjon.

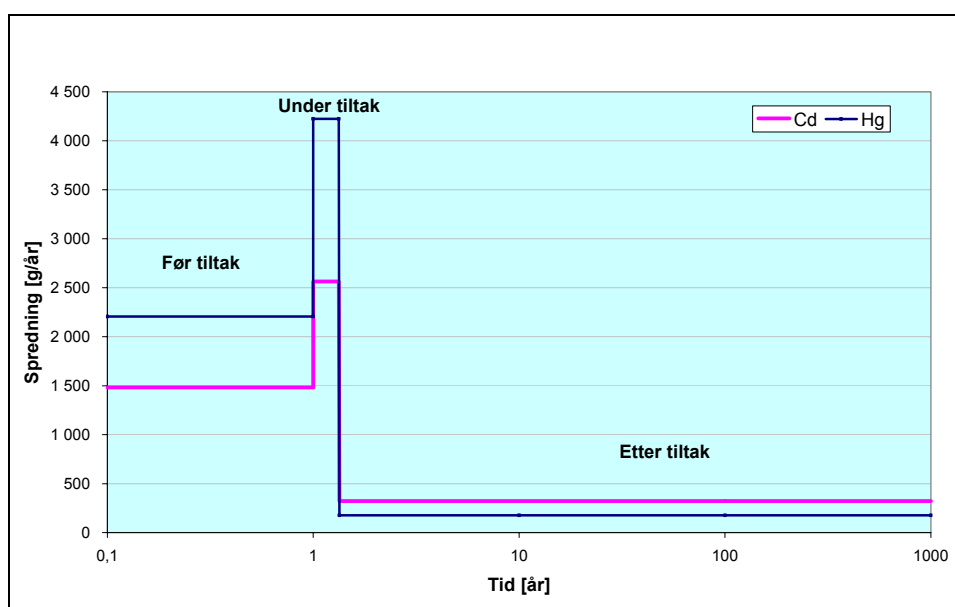


Fig. 17 *Spredning av kadmium og kvikksølv før, under og etter tiltak i mudrings- og deponiområdet*

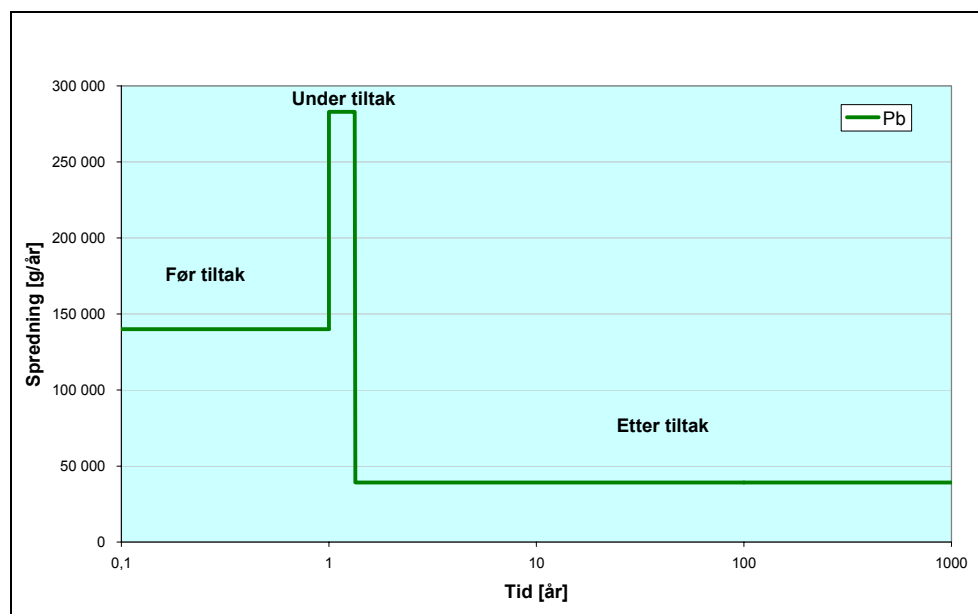


Fig. 18 *Spredning av bly før, under og etter tiltak i mudrings- og deponiområdet*

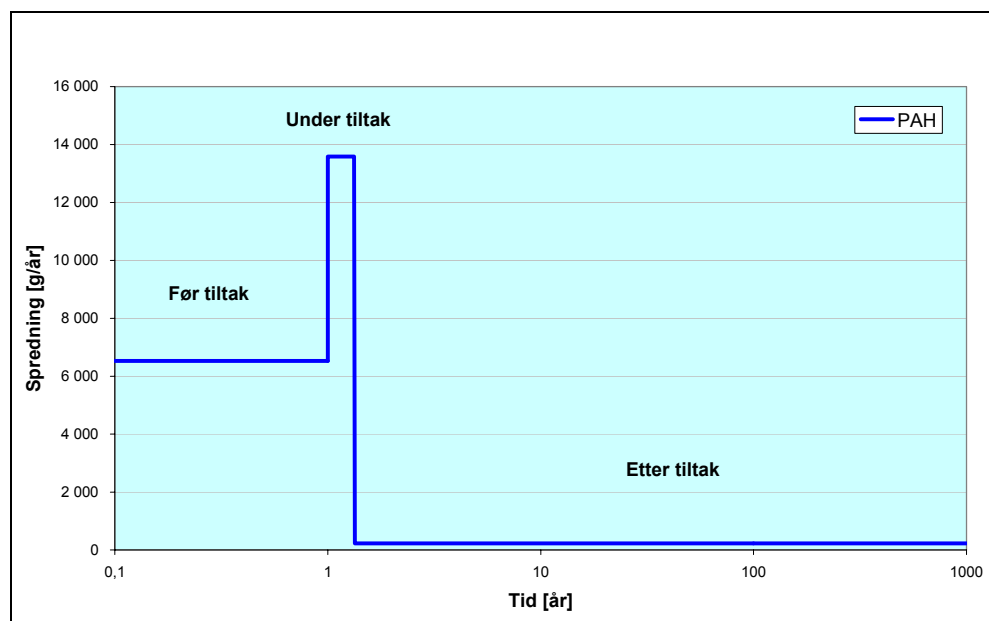


Fig. 19 *Spredning av PAH₁₆ før, under og etter tiltak i mudrings- og deponiområdet*

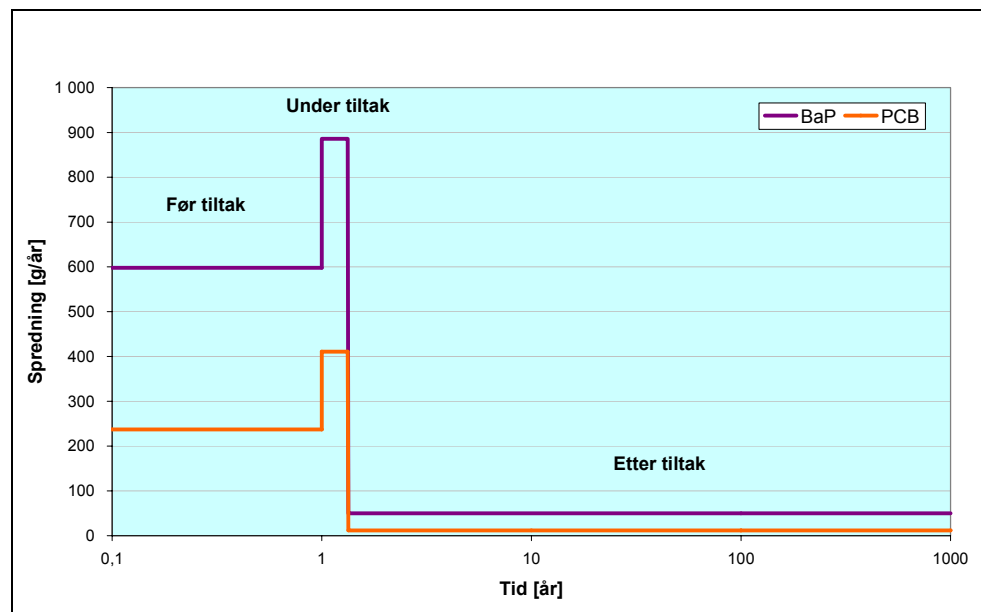


Fig. 20 Spredning av benzo(a)pyren og PCB₇ før, under og etter tiltak i mudrings- og deponiområdet

6 OVERVÅKING OG AVBØTENDE TILTAK

Deponeringen skal utføres slik at det ikke spres forurensede stoffer ut fra deponeringsområdet i større grad enn det som er estimert i miljøbudsjettet (kap. 5). Overvåkingen av deponeringen har tre formål:

1. Gi fortløpende data for å kunne kontrollere at deponeringen gjennomføres som planlagt og at fastsatte grenseverdier for spredning av forurensninger overholdes
2. Gi tilstrekkelig datagrunnlag for i etterkant å kunne utarbeide et miljøregnskap som kan sammenlignes med det utarbeidede miljøbudsjettet for spredning
3. Dokumentere at tildekkingen er utført som prosjektert, samt å produsere målinger som viser at tildekkingen virker etter hensikten

Overvåkingen skal også tilfredsstillende de krav og vilkår som vil foreligge i en tillatelse fra SFT og basert på denne vil det bli utarbeidet en detaljert plan for kontroll og overvåking. I tillegg vil det settes krav til at entreprenøren før oppstart utarbeider prosedyrer for kontroll av utstyr, omlasting, deponering og posisjonering før massene kan legges i dypvannsdeponiet. Entreprenøren vil i tillegg være ansvarlig for opplæring av operatører, og det vil føres kontroll med at entreprenøren følger sine prosedyrer, samt at vilkår satt av ulike myndigheter overholdes.

Det vil legges opp til en intensiv overvåkning i den første perioden av deponeringen. Basert på resultater som fremkommer, vil overvåkingen eventuelt justeres. I det følgende er prinsippene for overvåkingen som vil omfattes av kontrollplanen beskrevet.

6.1 Kontroll i anleggsfasen

Det er følgende mulige mekanismer for spredning av forurensninger under deponeringen av de mudrede massene:

- Partikkelspredning til området utenfor deponiet under deponering
- Utlekking av stoffer til vannfase under deponering av de mudrede massene

For å kontrollere eventuell spredning av partikkelbundet forurensning skal det utføres måling av turbiditet (partikkelinnhold i vannfasen) og settes ut sedimentfeller for kjemisk analyse av partikler i vannfasen. Turbiditet vil måles ved terskeldypet rundt deponiområdet og ved deponiets nordøstre grense. Målingene vil bestå av kontinuerlige målinger i faste stasjoner, og målinger av turbiditet i hele vannsøylen ved manuelle målinger tilpasset fremdrift og intensitet i arbeidene. Turbiditet vil måles også før deponeringen starter, slik at de naturlige bakgrunnsnivåene dokumenteres på forhånd. I tillegg vil det før deponeringen i gangsettes, etableres en referansestasjon i et område som ikke er påvirket av deponeringen. Målinger på referansestasjonen vil sammenlignes med målinger rundt og eventuelt i deponiet. Dersom turbiditeten er 5 NTU høyere enn ved referansestasjonen, vil arbeidene stanses og årsaken til den økte turbiditeten undersøkes, samt behovet for eventuelle avbøtende tiltak vurderes.

Sedimentfeller plasseres utenfor tersklene og i en gradient fra disse mens det foregår deponering. Fellene rett utenfor terskeldyp vil i oppstartfasen tømmes hver 6.-8. uke for kontroll av mengde materiale som er fanget opp i fellene og for kjemisk analyse av metaller og organiske stoffer i oppsamlede partikler. Deretter vil hyppighet for prøvetaking vurderes. Sedimentfellene vil også plasseres ut før deponeringen starter for å gi data om bakgrunnsnivåer. Dersom mengde og konsentrasjon i sedimentfellene rett utenfor terskeldypene er høyere enn bakgrunnsnivåene, vil også materiale fra sedimentfellene som står i en gradient ut fra terskeldypet analyseres for å kunne vurdere hvor stort areal som er påvirket av partikkelspredningen. Dersom disse sedimentfellene viser en signifikant spredning av partikulært materiale til områdene utenfor deponiet, vil effekten vurderes ved en risikovurdering (SFT 2005b).

For å måle eventuell spredning grunnet utlekking av stoffer til vannfase under deponering, vil det tas prøver av porevann i deponert sediment, samt prøver av overliggende vann påvirket av suspenderte partikler. Før deponeringen starter, vil det også tas vannprøver i området for å kartlegge bakgrunnsnivåene.

Vannutskifting fra Bekkelagsbassenget er begrenset av naturlige terskler på rundt 30-40 m vanndyp. Økte strømhastigheter på bunnen av Bekkelagsbassenget kan medføre spredning av suspenderte partikler i vannfasen ved deponiet. Det er imidlertid kun målt svært lave strømhastigheter ved bunnen av Bekkelagsbassenget. Strømmåling vil vurderes i perioder med forventet dypvannsutskifting. I tilfelle en dypvannsutskifting inntreffer, skal deponeringen stoppes dersom risikoen for spredning av suspenderte partikler i vannfasen vurderes å være uakseptabel.

6.2 Kontroll av tildekkingslaget

Bunntopografien i deponiområdet vil kartlegges før deponeringen starter, og etter at deponeringen er avsluttet. Tildekkingslaget er foreslått lagt ut i flere lag, og etter at ca halve tykkelsen er lagt ut forventer vi at de bløte deponimassene har satt seg noe. Det utføres da en kartlegging av bunntopografien og en ny runde etter at resterende laget er lagt på. Etter dette vurderes det om en visuell inspeksjon er nødvendig.

6.3 Overvåking etter at deponiet er ferdigstilt

Overvåking av deponiet etter ferdigstilling vil avhenge av resultatene fra overvåkingen under innfyllingen. Omfanget vil derfor avgjøres etter at gjennomført overvåking under anleggsfasen er evaluert. Det bør etableres et program for overvåking i en 5-års periode etter ferdigstilling, og basert på resultatene fra dette programmet tar en stilling til behovet for evt. videre overvåking. Aktuelle metoder for overvåking av deponiet etter ferdigstilling, kan være;

- Setningsmålere
- Kartlegging av bunntopografien for å avdekke eventuelle endringer i deponiets overflate
- Diffusjonskamre for å måle eventuell spredning av forurensning som følge av diffusjon og/eller porevannsutpressing gjennom tildekkingslaget over deponiet. Dette er en metode som er benyttet i gruntvannsdeponiet i Sandefjord (NGI, 2005d).

6.4 Sikrings- og avbøtende tiltak

Det er ikke gjennomførbart å benytte fysiske sikringstiltak mot partikkelspredning som f eks siltgardiner i hele anleggsområdet under ett. Under utlegging av masser i deponiet vil det være overvåking av alle relevante parametere, og aktuelle avbøtende tiltak kan være:

- Siltgardin rundt fartøyet for nedføring av masser
 - Justeringer av posisjoner for nedføringsrøret
 - Justering av saltinnhold i overskuddsvann
 - Avbrudd i deponering ved ugunstig vær og strømforhold.
-

Behovet for avbøtende tiltak vil vurderes fortløpende så lenge anlegget pågår og potensialet for forurensning foreligger.

Alle krav til tiltak skal inngå i kontrakten med entreprenøren slik at han har tilgjengelig det utstyr og metoder som kan bli behov for, og han inviteres til å foreslå de mest egnede tiltakene for å kunne innfri disse kravene.

Byggherre vil kontrollere at kravene overholdes. Det vil bli stilt krav til entreprenøren at han kan stille alternativt utstyr dersom ikke kravene kan overholdes med det utstyr som tilbys.

Avbøtende tiltak i forhold til effekten av tildekkingen vil være å legge på ytterligere lag med rene masser.

7 VARSLING OG MERKING

Lektertransporten mellom mudrings- og dumpeområdet gjøres på en slik måte at den ikke kommer i konflikt med øvrig skipstrafikk i området. Transporten må spesielt ta hensyn til større skip som ikke kan avvike kurs ved inn- og utseiling til Oslo Havn.

Hvis det skal etableres utstyr som rigg med nedføringsrør eller annet permanent i deponiområdet må dette merkes med bøyer og lanterneanordninger som kreves og som hindrer sammenstøt med annen trafikk i området.

8 ORGANISERING OG ANSVARSDELING

Tiltakshaver er Oslo Havn KF på vegne av Oslo kommune. Det vil være flere aktører som kan levere masse til deponiet, tiltakshaver vil sette vilkårene for at leveransen kan skje.

Det er på nåværende tidspunkt ikke etablert en egen prosjektorganisasjon for prosjektet, denne vil bli fremlagt i kontrollplanen for arbeidene.

9 ORDLISTE

Benso(a)pyren

Den antatt mest skadelige PAH-forbindelsen. Se for øvrig **PAH**.

Bioturbasjon

Omrøring av sedimentflaten på grunn av at bunnlevende organismer graver i sedimentene. Bioturbasjonen er med på å øke diffusjonen av forurensinger fra sediment til vannfase.

Bly

Bly er et giftig tungmetall med både akutte og kroniske helse- og miljøeffekter. Det er registrert overkonsentrasjoner av bly i sedimentene i flere fjorder, bl.a. i Sør fjorden, Kristiansandsfjorden og Indre Oslofjord. Den største blymengden i produkter i dag finnes i blybatterier og -akkumulatorer. Bly finnes også i produkter som kappen på elektriske kabler, seilbåtkjøler, fiskeredskaper, plast, maling og lakk, glass og blåsesand. Faren for utslipp av bly til miljøet vil oftest være størst når produktene ender som avfall. Bly benyttes oftest som metall, men i bensin ble det brukt en organisk blyforbindelse kalt etylbly. (Kilde: www.miljostatus.no)

Diffusjon

Transport av stoffer som følge av konsentrasjonsforskjeller. Et stoff vil diffundere fra et område med høy konsentrasjon til områder med lav konsentrasjon. Diffusjon vil pågå så lenge det ikke er likevekt i systemet (dvs. så lenge det eksisterer konsentrasjonsforskjeller).

Diffusor

En hastighetsdemper for utslipp fra rør som gir en kontrollert og jevn spredning av et materiale.

Kadmium

Kadmium og kadmiumforbindelser er akutt og kronisk giftige for mennesker og dyr. Det er forhøyede nivåer av kadmium i flere norske fjorder og vassdrag som følge av tilførsler fra lokale kilder, særlig fra smelteverk og gruver. Kadmium benyttes i oppladbare batterier og offeranoder som brukes på skip og offshore, men er på vei ut av bruk i en rekke andre produkter. Kadmium er bioakkumulerende i fisk og pattedyr og har lang biologisk halveringstid i pattedyr. For mennesker som verken jobber med kadmium eller bor i nærheten av forurensende industri, er mat hovedkilden til kadmiumeksponering. (Kilde: www.miljostatus.no)

Kvikksølv

Kvikksølv og kvikksølvforbindelser er giftige og kan gi nyreskader, skader på nervesystemet, fosterskader og kontaktallergi. Kvikksølv bioakkumulerer i organismer og hopper seg opp i næringskjeden. Det er høye nivåer av kvikksølv i flere norske fjorder som følge av lokale industriutslipp. Langtransporterte tilførsler av kvikksølv har ført til at også ferskvannsfisk enkelte steder har meget høyt nivå av kvikksølv. (Kilde: www.miljostatus.no)

Mudring

Med mudring menes fjerning av sediment (se under). Dette kan utføres enten ved oppgraving ved hjelp av grabb, eller ved oppsuging under innblanding av vann (sugemudring). Det finnes forskjellig utstyr som kan tilpasses den aktuelle mudringsjobben.

PCB

PCB (polyklorerte bifenyler) er en gruppe syntetiske klorforbindelser som er giftige, tungt nedbrytbare og bioakkumulerende. Ny bruk av PCB ble forbudt i Norge i 1980, men produkter som inneholder PCB og som kastes sammen med vanlig avfall, avfallsfyllinger og forurensende sedimenter i havner og fjorder er trolig kilde til fortsatt spredning til miljøet. I Norge finnes PCB i luft, vann, sedimenter, jord og organismer i varierende konsentrasjoner. I et tjuetalls fjorder og havnebassenger er det funnet meget høye PCB-nivåer i sedimentene. Forhøyede PCB-nivåer i torskelever har ført til kostholdsråd i flere av disse fjordene og havneområdene. Over halvparten av kostholdsrådene i norske fjorder skyldes i hovedsak PCB-belastning. Mattilsynet har også et generelt kostholdsråd på lave inntak langs hele kysten. (Kilde: www.miljostatus.no)

PAH

Stoffgruppen PAH (polyaromatiske hydrokarboner) består av mange forskjellige forbindelser. Noen av disse er giftige, arvestoffskadelige og kreftfremkallende. Den antatt mest skadelige PAH-forbindelse er benzo(a)pyren. PAH finnes i steinkulltjære, annen tjære, mineralolje og oljeprodukter. PAH-forbindelser dannes dessuten ved all ufullstendig forbrenning av organisk materiale. De største PAH-kildene i Norge er aluminiumsverk, karbidverk, vedfyring i boliger og olje og gassvirksomheten. Videre frigis PAH fra bileksos og ved slitasje av bildekk og asfaltdekke. Kreosotimpregnet trevirke medfører også utslipp av PAH. Mattilsynet gir fortsatt kostholdsråd om inntak av muslinger, for eksempel blåskjell, og i noen tilfeller fiskelever fra en rekke fjorder og havneområder som følge av høye PAH-nivåer. (Kilde: www.miljostatus.no)

Sediment

Sediment er løsmasser på sjøbunnen. Disse massene kan stamme fra for eksempel erosjon av stein/fjell, partikulært materiale fra elver og overvannsutløp og lufttransportert partikulært materiale. Sedimentene kan bestå både av organiske og uorganiske fraksjoner. Diverse industri og prosesser bidrar til at sedimentene kan inneholde store mengder forurensning som tungmetaller og organisk forurensning som tjærestoffer (se PAH).

Sedimentfelle

En sedimentfelle er en sylinder i plast som er åpen i toppen og lukket i bunnen. Partikler som er suspendert i vannmassen vil falle ned i sedimentfellen, og man kan dermed få et inntrykk av hvor mye partikler som har sedimentert i løpet av perioden sedimentfellen har vært plassert ut. Det er også mulig å analysere for forurensninger i materialet fanget opp i sedimentfellen. Fellene benyttes ofte under mudring og andre inngrep i sedimenter for å vite hvor mye partikler som har spredt seg i vannmassen under inngrepet.

Sprangsjikt

Overgang mellom overflatevann og dypvann der det er en stor endring i saltholdighet og/eller temperatur.

Terskeldyp

Det største vanddyp over en naturlig forhøyning /rygg som vannet må passere over ved en dypvannutskiftning

Turbiditet

Turbiditet er et mål på uklarheten i vannet, hovedsakelig mengden av finpartikulært materiale som sand, leire og jern. Måleenheten som brukes er Formazin Turbidity Unit (FTU) og er et mål for spredning av partikler i vann.

10 REFERANSER

NGI, 2002

Oslo Havn KF, konsekvensutredning. Dypvannsdeponi ved Malmøykalven. Tilleggsutredning. NGI rapport 20011067-1, datert 20.12.2002.

NGI, 2005a

Capping of contaminated sediments. Anbefalinger ved prosjektering av tildekking av forurenset sediment. NGI rapport 20021244-4, datert 7. juni 2005. FoU prosjekt støttet av NFR, NCC og Frantzenfoss og NGI

NGI, 2005b

Stabilitet i forurensede sedimenter – SIP 9. Grunnleggende kartlegging av Bispevika. NGI rapport 20031020-2, 6. mai 2005. FoU prosjekt støttet NFR og NGI

NGI, 2005c

SFT, Undersøkelse av fordypning i sjøbunnen i Bekkelagsbassenget. NGI rapport 20051302-1 utarbeidet for SFT, 13. juni 2005

NGI, 2005d

Stabilitet av forurensede sedimenter-SIP9. Diffusjonsfluks fra forurenset sediment, Laboratorieforsøk og feltmålinger. NGI rapport 20031020-3, datert 4. mai 2005. FoU prosjekt støttet NFR og NGI

NGI og NIVA, 2000

Oslo Havn KF – Risiko for spredning av miljøgifter under etablering av dypvannsdeponi. Laboratorietester og simuleringsforsøk. NGI-rapport 994104-1, NIVA-rapport 4217-2000.

NIVA, 2001

Oslo Havn KF - Opprydding av forurensede sedimenter i Oslo Havn. Etablering av dypvannsdeponi ved Malmøykalven. Modell og Estimat for spredning av miljøgifter. NIVA rapport 4438-2001, datert 13. november 2001.

NIVA, 2005

Beregning av muligheten for oppvirvling av deponerte sedimenter på dypt vann i Bekkelagsbassenget under en dypvannsfornyelse. Rapport nr.

Oslo Havn KF, 2001

Konsekvensutredning - Dypvannsdeponi for forurenset bunnsediment ved Malmøykalven, Oslo havnedistrikt.

Oslo Havn KF, 2005

”Forslag til reguleringsplan med reguleringsbestemmelser for spesialområde: dypvannsdeponi mellom Malmøykalven og Langøyene – Nesodden og Oslo kommune”, 13.05.2005.

Oslo kommune, 2005

Helhetlig tiltaksplan for forurensede sedimenter i Oslo havnedistrikt. Forslag, juni 2005.

NGI og NIVA, 2003

Oslo Havn KF – Dypvannsdeponi ved Malmøykalven. Tilleggsutredning til konsekvensutredning, miljøgiftbudsjett, kostnader og in situ tildekking. NGI-rapport 20011067-1.

NGI og NIVA 1999

Oslo Havn KF – forurensede sedimenter. Strømundersøkelse og sedimentkvalitet i dypbassenget vest for Malmøykalven, Indre Oslofjord, NGI-rapport 984139-3 og NIVA-rapport 4019-99 datert 26.02.1999

NGI og NIVA, 2000

Oslo Havn KF – opprydding av forurensede sedimenter. Risiko for spredning av miljøgifter under etablering av dypvannsdeponi, NGI-rapport 994104-1 og NIVA-rapport 4217-2000, 14.06.2000

SFT, 2005a

Tillatelse til gjennomføring av tiltaksarbeider i forurenset grunn og sedimenter i forbindelse med bygging av ny E18 mellom Festningstunnelen og Ekeberg-tunnelen. www.sft.no/nyheter/brev/bjorvikatunnelen_tillatelse140105.

SFT, 2005b

SFT veileder: ”Veileder i risikovurdering av forurenset sediment”, TA-2085

SFT, 2003

Veileder for håndtering av forurensede sedimenter.

SFT, 1997

SFT veileder 97:03 ”Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystvann”

Vedlegg A - Miljøbudsjett - beregning av spredning før, under og etter tiltak

A1 INNHOLD

A1 INNHOLD	1
A2 INNLEDNING	3
A3 METODE FOR Å BEREKNE SPREDNING	4
A3.1 Oppvirvling	4
A3.2 Diffusjon	5
A3.3 Porevannsutpressing	6
A4 FORUTSETNINGER	6
A4.1 Sedimentkonsentrasjon	6
A4.2 Porevannskonsentrasjon	8
A4.3 Øvrige forutsetninger og inndata	9
A5 SPREDNING FØR TILTAK	10
A5.1 Spredning fra forurensede havnesedimenter slik de ligger i dag...	11
A5.2 Spredning fra sedimenter i deponiområdet slik de ligger i dag	12
A6 SPREDNING UNDER TILTAK	12
A6.1 Oppvirvling under mudring og deponering	13
A6.2 Spredning via porevann	14
A6.3 Øvrig spredning i mudrings- og deponeringsområdet under tiltaksfasen	15
A7 SPREDNING ETTER TILTAK	15
A7.1 Spredning fra mudrede områder	15

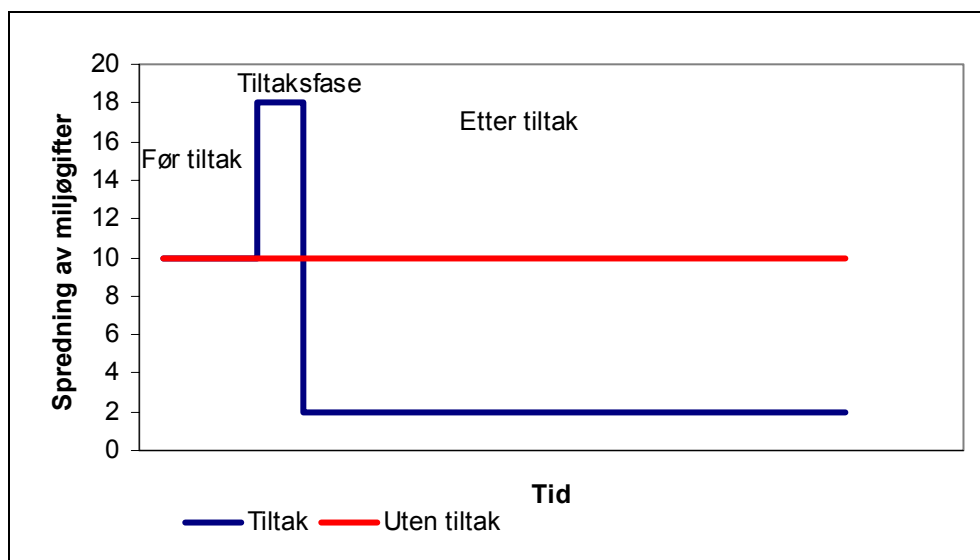


A7.2 Spredning fra deponiområdet	17
A8 MILJØGEVINST	19
A9 KONKLUSJON.....	21
A10 REFERANSER.....	22

A2 INNLEDNING

Sedimentene i havneområdene og området for ønsket dypvannsdeponi er i dag sterkt til meget sterkt forurensset, og det foregår en transport av forurensninger fra sediment til vannmassen. Hensikten med deponeringen av forurensede sedimenter i dypvannsdeponi, er å redusere negative miljøeffekter av forurensningen slik situasjonen er i dag både i havneområdene og i området hvor dypvannsdeponiet ønskes etablert.

For å vurdere miljøeffekten av tiltaket, i dette tilfellet deponering av forurensede sedimenter i dypvannsdeponi, er det utarbeidet et *miljøbudsjett* som omfatter spredningsmekanismene som vil opptre før, under og etter tiltaket både i områdene som skal mudres og i området hvor sedimentene skal deponeres. I fig. 1 under er det vist et eksempel på hvordan resultatene fra et miljøbudsjett kan presenteres. Under selve tiltaket vil det skje en økning i spredning (blå linje), men etter tiltaket er gjennomført vil spredningen være betydelig lavere enn før. Dersom man ikke utfører tiltaket, vil spredningen fortsette som før (rød linje). I forhold til det gjeldende tiltaket vil altså spredningen under mudringen og deponeringen øke i forhold til dagens situasjon på grunn av inngrep og håndtering av massene. Denne midlertidige økningen vil tjenes inn ved at sterk reduksjon i spredning oppnås etter at tiltaket er gjennomført.



Figur 1 Eksempel på illustrasjon av spredning av en forurensning før, under og etter et gitt tiltak, basert på et miljøbudsjett

I miljøbudsjettet ses det ikke kun på deponiområdet, men også på områdene som skal mudres. Dette da inngrep i disse områdene vil øke spredningen under tiltaket, men også vise en positiv reduksjon i spredning som følge av at forurensning er fjernet. I tab 1 er spredningsmekanismene for de ulike fasene vist.

Tabell 1 Aktuelle spredningsmekanismer før, under og etter tiltaket

	Spredning før tiltaket (nå-situasjon)	Spredning under tiltaket (mudring, deponering og tildekking)	Spredning etter tiltaket (mudrede områder og tildekket deponi)
Områder som skal mudres	- Diffusjon av forurensning fra sedimenter til vannfase - Oppvirvling av forurenset sediment pga. skipstrafikk - Transport av forurensninger via organismer	- Diffusjon av forurensning fra sedimenter til vannfase - Oppvirvling av forurenset sediment pga. skipstrafikk - Oppvirvling av forurenset sediment pga. mudring - Transport av forurensninger via organismer	- Diffusjon av forurensning fra sedimenter til vannfase - Oppvirvling av forurenset sediment pga. skipstrafikk - Transport av forurensninger via organismer
Deponi-området	- Diffusjon av forurensning fra sedimenter til vannfase - Transport av forurensninger via organismer	- Diffusjon av forurensning fra sedimenter til vannfase - Transport av forurensninger via organismer - Oppvirvling av forurenset sediment pga. deponering - Porevannsutpressing	- Diffusjon av forurensning fra sedimenter til vannfase - Transport av forurensninger via organismer

Miljøbudsjettet er satt opp for spredningen av kadmium (Cd), kvikksølv (Hg), bly (Pb), benzo(a)pyren (b(a)p), polyaromatiske hydrokarboner (PAH₁₆) og klorerte bifenyler (PCB₇). Disse stoffene er valgt da de representerer stoffer med høy konsentrasjon i sedimentene i Oslo havnedistrikt, og utgjør en alvorlig forurensning.

A3 METODE FOR Å BEREKNE SPREDNING

SFT har gitt ut en veileder for risikovurdering av forurenset sediment (SFT 2005). I denne er det oppgitt likninger for å beregne spredning av forurensning fra sediment som følge av oppvirvling, diffusjon og transport via organismer. I tillegg er det gjort beregning for utpressing av porevann under deponering. Til denne beregningen er samme metode som i tilleggssutredningen benyttet (NGI og NIVA 2003).

A3.1 Oppvirvling

Propellaktivitet knyttet til skipstrafikk vil virvle opp sedimenter som så kan spres via vannfasen. Spredning som følge av oppvirvling på grunn av propellerosjon beregnes ut fra antall skipsanløp pr. år og et estimat av oppvirvlet mengde sediment. I SFTs veileder er det oppgitt en standardverdi for mengde oppvirvlet sediment per skipsanløp lik 400 kg. Denne mengden er basert på data fra sedimentasjonsforsøk (NIVA 1995). Spredning som følge av propellerosjon vil ikke være aktuell i områder med vanndybder på mer enn 15 m, da propellaktiviteten ikke vil kunne påvirke bunnsedimentene når avstanden

mellom propell og sjøbunn blir stor. Beregningen, som vist i likning 1, er også benyttet ved beregning av oppvirvling som følge av mudring, men da er antall skipsanløp erstattet med antall lekterlass.

$$F_{skip} = 2 \cdot N_{skip} \cdot m_{sed} \cdot C_{sed} \cdot (f_{løst} + f_{susp}) / A_{sed} \quad (1)$$

F_{skip} = spredning som følge av skipstrafikk (mg/m²/år)

N_{skip} = antall skipsanløp pr. år

m_{sed} = mengde oppvirvlet sediment pr. anløp (400 kg)

C_{sed} = sediment konsentrasjon (mg/kg t.v.)

$f_{løst}$ = fraksjon løst stoff (10/ K_d , der K_d er fordelingskoeffisienten mellom sediment og vann)

f_{susp} = fraksjon suspendert materiale (partikler < 2µm)

A_{sed} = sediment areal (m²)

I beregningene for mudringsområdene er det antatt 2000 skipsanløp per år, hvilket kan ansees som konservativt da reelt antall skipsanløp per år i Oslo havnedistrikt er langt større. Ved å være konservativ i denne beregningen unngår man å overestimere effekten av tiltaket.

A3.2 Diffusjon

Dersom det eksisterer konsentrasjonsforskjeller mellom porevannet i sedimentene og vannfasen over, vil forurensning bevege seg fra områder med høy konsentrasjon til områder med lav konsentrasjon for å jevne ut forskjellen, hvilket kalles diffusjonsstyrt transport. I tillegg til den rent kjemiske transporten, vil bunnlevende organismer som graver i sedimentoverflaten (bioturbasjon) bidra til at forurensninger frigis til vannfasen.

Transport via diffusjon er beregnet ved å benytte molekylærdiffusjonen til det aktuelle stoffet korrigert for å ta hensyn til økt transport pga bioturbasjon, og økt diffusjonslengde som følge av poregeometrien. Dette er angitt i likning 2.

$$F_{diff} = \frac{n}{\tau} \cdot a \cdot D_s \cdot \frac{C_{pv}}{\Delta x} \cdot 3,15 \cdot 10^8 \quad (2)$$

F_{diff} = Biodiffusjon (mg/m²/år)

n = porøsitet (0,7)

τ = tortuositet (krunglingsfaktor, 3)

a = faktor som diffusjonshastigheten økes med pga. bioturbasjon (10)

D_s = molekylærdiffusjonskoeffisient (cm²/s)

C_{pv} = porevannskonsentrasjon (mg/l)

Δx = diffusjonslengde (cm). Før tildekking vil Δx være 1 cm, etter vil Δx tilsvare tykkelsen av tildekkingen

Porevannskonsentrasjonen kan enten måles eller beregnes fra fordelingskoeffisienten (K_d), som vist i likning 3.

$$C_{pv} = C_{sed}/K_d \quad (3)$$

C_{pv} = porevannskonsentrasjonen av et stoff (mg/l)

C_{sed} = sedimentkonsentrasjonen av et stoff (mg/kg)

K_d = fordelingskoeffisient sediment/vann

A3.3 Porevannsutpressing

Under konsolideringsfasen for de forurensede sedimentene i dypvannsdeponiet, vil porevann fra de mudrede massene presses ut. I tillegg vil porevann fra de underliggende sedimentene i deponiområdet presses ut på grunn av økt belastning. Ved å anta at porevannet vil ha samme konsentrasjon som målt eller beregnet porevannskonsentrasjon, kan spredning via porevann beregnes som vist i likning 4.

$$F_{porevann} = C_{pv} \times V_{pv} \quad (4)$$

$F_{porevann}$ = Spredning via porevann (mg)

C_{pv} = porevannskonsentrasjon (mg/l)

V_{pv} = volumet porevann som presses ut (m³)

Porevannskonsentrasjonen kan enten måles eller beregnes som vist i likning 3.

A4 FORUTSETNINGER

For å kunne si noe om spredningen, må man kjenne konsentrasjonen av forurensninger i sedimentene og i porevannet. I tillegg må man kjenne nødvendige stoffdata, samt parametere som sedimentareal, andel leirpartikler etc. I de følgende underkapitlene er det redegjort for de verdier som er benyttet i spredningsberegningene.

A4.1 Sedimentkonsentrasjon

De forurensede sedimentene som det søkes om å legge i dypvannsdeponi, kommer fra områder i Oslo havnedistrikt som er foreslått mudret jf. helhetlig tiltaksplan for forurensede sedimenter (forslag, juni 2005). Beregningene i dette vedlegget er gjort med utgangspunkt i at mudring gjennomføres i samtlige foreslåtte mudringsområder i helhetlig tiltaksplan.

Det er valgt å benytte ett sett sedimentkonsentrasjoner som skal representere alle områdene. For å finne dette settet, er det tatt utgangspunkt i sediment-

undersøkelser gjort i perioden 1992-2004 av NGI og NIVA. For hver av de områder det er utført undersøkelser i (Pipervika, Bjørvika etc.) er 75 % persentilen for hvert stoff beregnet. 75 % persentilen angir den konsentrasjonen som 25 % av prøvene er høyere enn, og 75 % av prøvene er lavere enn. Konsentrasjonen som tilsvarer 75 % persentilen for hvert stoff for hvert område, er deretter vektet for den mengde sediment de representerer.

For eksempel er 75 % persentilen for kadmium i Filipstad/Hjortnes lik 3,5 mg/kg sediment. Denne konsentrasjonen representerer et areal på 50 000 m² og en dybde på 0,02 m (overflateprøver). Ved å gange sedimentkonsentrasjonen med tørrstoffmengden, finner man at det er 2,5 kg kadmium i overflate-sedimentene i Filipstad/Hjortnes. Mengden kadmium fra hvert av områdene (totalt 44,3 kg) regnes så om til mg kadmium per kg sediment (4,53), som gir en representabel snittverdi for de undersøkte områdene, se tabell 2. Snittverdiene er så benyttet til å beregne transporten av forurensinger fra sedimentet.

Tabell 2 Sedimentkonsentrasjon for områder som skal mudres

Område	Volum*	Cd	Hg	Pb	b(a)p	PAH ₁₆	PCB ₇
<i>Filipstad/Hjortnes</i>	1000 m ³						
Konsentrasjon (mg/kg)		3,5	6,2	320	1,3	15,4	0,24
Mengde forurensning (kg)		2,5	4,5	230	0,9	11,0	0,17
<i>Pipervika</i>	2100 m ³						
Konsentrasjon (mg/kg)		1,0	6,2	263	0,95	8,9	
Mengde forurensning (kg)		1,6	9,4	396	1,4	13,3	
<i>Vippetangen</i>	200 m ³						
Konsentrasjon (mg/kg)		6,2	5,0	395			0,31
Mengde forurensning (kg)		0,9	0,7	57			0,05
<i>Bjørvika, Bispevika m.fl. **</i>	6800 m ³						
Konsentrasjon (mg/kg)		6,0	3,9	322	2,0	27,3	0,15
Mengde forurensning (kg)		29,2	19,1	1569	9,7	133,4	0,74
<i>Kongshavn</i>	1000 m ³						
Konsentrasjon (mg/kg)		5,9	2,7	278	1,4	22,2	0,22
Mengde forurensning (kg)		4,2	1,9	199	1,0	16,0	0,16
<i>Sjursøya</i>	500 m ³						
Konsentrasjon (mg/kg)		2,6	1,7	195	1,1	17,9	0,15
Mengde forurensning (kg)		1,0	0,6	70	0,4	6,4	0,05
<i>Småbåthavner</i>	2000 m ³						
Konsentrasjon (mg/kg)		3,6	24,0	1164			0,75
Mengde forurensning (kg)		5,0	34,4	1671			1,07
Totalt volum	13600 m³						
Total mengde forurensning (kg)		44,3	70,6	4192	13,5	180,2	2,23
Gjennomsnittkonsentrasjon (mg/kg)		4,53	7,23	429,4	1,38	18,45	0,23

* Volum av overflatesediment 0-2 cm.

** Bjørvika, Bispevika, Sørenga, Lohavn, Grønlia

Sedimentene i deponiområdet er analysert for tungmetaller, PAH og PCB både i 1998 (NGI og NIVA 1999) og 2005 (undersøkelser utført av NGI, foreløpig ikke rapportert). Resultatene viser at konsentrasjonene av kadmium, kvikksølv og bly tilsvarer tilstandsklasse I-III, PAH tilsvarer III-V, benzo(a)pyren IV-V og PCB II-IV. Området kan derfor klassifiseres som markert til meget sterkt forurensset. For dypvannsdeponiet er det i beregning av spredning før tiltak, benyttet 75 % persentil av sedimentkonsentrasjoner fra de to undersøkelsene i 1998 og 2005. Analyseresultatene er vist i tabell 3.

Tabell 3 Sedimentkonsentrasjon i dypvannsdeponiet før tiltak

Stasjon	År	Cd (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Pb (mg/kg)	b(a)p (mg/kg)	PAH ₁₆ (mg/kg)	PCB ₇ (mg/kg)
MK1	1998	0,20	0,45	56	0,40	5,4	0,010
MK2	1998	0,20	0,10	18	1,60	21	0,024
MK3	1998	0,38	0,22	33	3,70	45	0,010
MK4	1998	0,98	0,49	51	0,90	6,9	0,015
MK5	1998	1,30	0,68	58	0,40	6,5	0,011
MK1i	2005	0,64	0,26	28	0,096	1,1	<0,025
MK2i	2005	1,10	0,42	48	0,42	4,1	<0,025
MK3i	2005	0,24	0,16	26	0,05	0,5	<0,025
MK4i	2005	0,66	0,40	52	0,25	2,7	<0,025
MK5i	2005	1,30	0,52	81	0,14	1,4	<0,025
MK6i	2005	3,50	1,80	180	0,48	5,0	0,089
Snitt		0,96	0,50	57,4	0,77	9,1	0,026
Median		0,66	0,42	51	0,40	5,0	0,025
75 % persentil		1,20	0,51	57	0,69	6,7	0,025

A4.2 Porevannskonsentrasjon

Diffusjonstransport fra porevannet i sedimentet til vannfasen over, kan beregnes fra porevannskonsentrasjon. Denne kan enten måles eller beregnes fra fordelingskoeffisienten (K_d) som vist i likning 1. For mudringsområdene finnes det tall for porevannskonsentrasjoner (NGI og NIVA 2000, NGI 2005a), se tabell 4 på neste side. Det er valgt å benytte resultater fra målinger utført i 2004, med unntak for PAH og PCB der resultater fra 1999 er benyttet da det ikke er utført målinger i 2004. Benyttede tall er markert med fet skrift i tabellen. For de eksisterende sedimentene i deponiområdet er porevannskonsentrasjonen beregnet fra K_d som vist under. Benyttede porevannskonsentrasjoner for deponiområdet er også gjengitt i tabell 4.

$$C_{pv} = C_{sed}/K_d \quad (1)$$

Der

C_{pv} = porevannskonsentrasjonen av et stoff (mg/l)

C_{sed} = sedimentkonsentrasjonen av et stoff (mg/kg)

K_d = fordelingskoeffisient sediment/vann

Tabell 4 Porevannskonsentrasjon ($\mu\text{g/l}$) av forurensing i sediment

Stoff	Cd ($\mu\text{g/l}$)	Pb ($\mu\text{g/l}$)	Hg ($\mu\text{g/l}$)	b(a)p ($\mu\text{g/l}$)	PCB ₇ ($\mu\text{g/l}$)	PAH ₁₆ ($\mu\text{g/l}$)
Maks utlekking etter ristetest på sediment fra Piper-vika/Bjørvika/Sjursøya	1,06	0,574	0,0043		<0,07	0,183
Målt porevannskonsentrasjon i sediment fra Bispevika	0,08	4,28	0,04	0,026		
Beregnet for deponiområdet	0,0114	0,0045	0,134	0,104	0,0487	0,639

A4.3 Øvrige forutsetninger og inndata

- Det er gjort målinger av diffusjon fra forurensede sedimenter (NGI og NIVA 2003). Da det ikke er gjort tilsvarende målinger for sedimenter i deponiområdet før og etter tildekking, er det valgt å benytte beregnede verdier som gitt av likning 3.
- For PAH₁₆ og PCB₇ finnes det kun tall for fordelingskoeffisient og molekylærdiffusjon for enkeltforbindelsene. I beregningene er det derfor valgt å benytte stoffdata tilsvarende indeno(1,2,3-cd)pyren for PAH₁₆, mens det for PCB₇ er benyttet stoffdata for PCB-138 (SFT 2005). Dette vil innebære noe underestimert av spredningen av PAH₁₆ og PCB₇ før, under og etter tiltak. Det relative forholdet mellom spredningen før/under/etter tiltak vil uansett bli den samme om man skulle benytte andre stoffdata.
- Ved beregning av spredning under mudring, er det antatt at oppvirvlingen vil være sammenlignbar med den oppvirvling som oppstår ved skipsanløp (NGI og NIVA 2003). Med utgangspunkt i at ca. 650 000 m³ forurenset sediment skal mudres og en lekterkapasitet på 300 m³, blir antall lekterlass lik ca. 2 200. Dersom man tar utgangspunkt i forventet daglig kapasitet på 2000 m³, hvilket innebærer mudring i ca. 16 måneder, vil man i løpet av ett år ha ca. 1600 lass, som er rundet opp til 1800 lass for å være konservativ. Antallet lekterlass erstatter da antall skipsanløp i likningen for beregning av spredning som følge av oppvirvling under mudring.
- Under deponeringen av de forurensede sedimentene vil det også forekomme noe oppvirvling når sedimentene når sjøbunnen. NIVA har utført studier og estimert av slik oppvirvling (NIVA 2001), og resultatene fra dette arbeidet er benyttet i miljøbudsjettet.
- Spredning i henhold til SFTs veileder, beregnes som mg forurensning per areal per år (mg/m²/år). Ved å multiplisere denne spredningen med arealet spredningen skjer fra, får man oppgitt spredning som mg/år eventuelt g/år. For spredning før og etter tiltak vil det være hensiktsmessig å oppgi spredningen som en mengde per år. Spredningen under tiltak vil imidlertid

være begrenset til en gitt tidsperiode, i dette tilfellet anslått til 16 måneder, og regnes derfor som antall gram per 16 måneder.

- Spredningen fra sedimentene slik de ligger i dag er antatt å være konstant med tiden. I virkeligheten vil de forurensede sedimentene gradvis dekkes til som følge av ny sedimentasjon i området. Spredningen fra den nye sjøbunnen vil avhenge av konsentrasjonene i det som sedimenteres. Dersom konsentrasjonen i tilførselen reduseres, vil spredningen fra sedimentet uten (før) tiltak være mindre enn det som er brukt i beregningen. Er derimot konsentrasjonene i tilførselen høyere enn hva man finner i sedimentene i dag, vil fremtidig spredning kunne bli større enn beregnet.

En samlet oversikt over benyttede data for beregningene er vist i tabell 5.

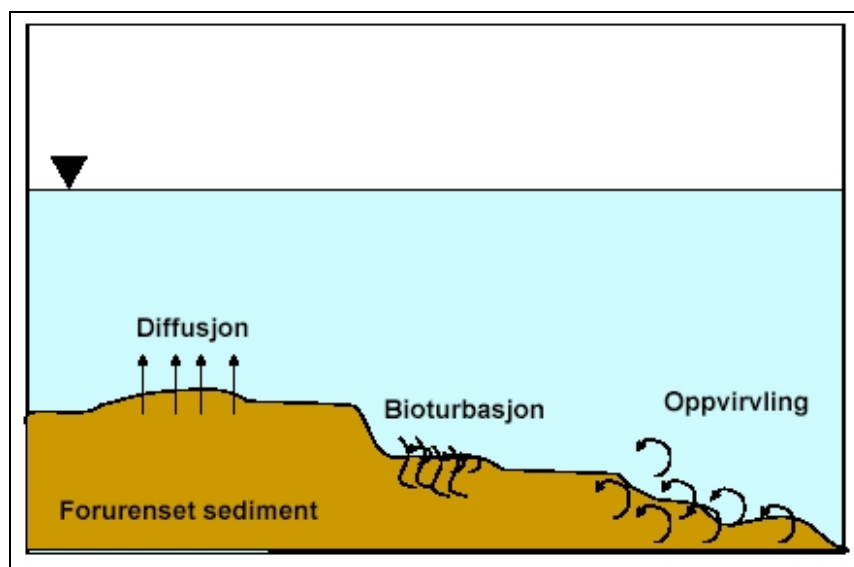
Tabell 5 Samlet oversikt over inndata i beregningene

Sedimentkonsentrasjoner	Cd	Hg	Pb	b(a)p	PAH ₁₆	PCB ₇
Mudringsområder (mg/kg)	4,53	7,23	429,4	1,38	18,45	0,23
Deponiområdet (mg/kg)	1,20	0,51	57	0,69	6,7	0,025
Porevannskonsentrasjoner	Cd	Hg	Pb	Benso(a)pyren	PAH ₁₆	PCB ₇
Mudringsområder (µg/l)	0,08	4,28	0,04	0,026	<0,07	0,183
Deponiområdet (µg/l)	0,0114	0,0045	0,134	0,104	0,0487	0,639
Stoffdata	Cd	Hg	Pb	Benso(a)pyren	PAH ₁₆	PCB ₇
Molekylær diffusjonskoeffisient (cm ² /s)	7,19x10 ⁻⁶	8,8x10 ⁻⁶	9,45x10 ⁻⁶	5,32x10 ⁻⁶	4,99x10 ⁻⁶	4,13x10 ⁻⁶
Fordelingskoeffisient vann-sediment, K _d	85 114	113 333	426 664	6614	10 482	5134
Løst fraksjon (partikler < 2 µm)	0,0001	0,00008	0,00002	0,0015	0,0009	0,0019
Andre parametere	TOC (%)	Leire (%)	Sedimentareal (m ²)	Skipsanløp (antall)		
Mudringsområder	5,73	17,2	680 000	2000		
Deponiområdet	2,0	31,8	350 000	0*		

* Det foregår skipstrafikk i området for dypvannsdeponiet, men pga av stor vanndybde vil ikke trafikken medføre propellerrosjon av bunnsedimentene.

A5 SPREDNING FØR TILTAK

Slik de forurensede sedimentene i Oslo havnedistrikt ligger i dag, er de viktigste spredningsmekanismene oppvirvling av partikler som følge av skips- og trafikk og diffusjon av miljøgifter fra sedimentet til vannfasen over (NGI og NIVA, 2003), se figur 2. For deponiområdet vil kun diffusjon være aktuelt, vanndybden i området er for stor til at propellaktivitet kan påvirke bunnsedimentene.



Figur 2 Spredningsmekanismer for forurensning fra sedimenter i havneområdene slik de ligger i dag

A5.1 Spredning fra forurensede havnesedimenter slik de ligger i dag

For beregning av oppvirvling er sedimentkonsentrasjoner for mudringsområdene som oppgitt i tabell 5 benyttet. For å oppnå benevnning i g/år er spredningen som beregnet fra likning 1 multiplisert med sedimentarealet for mudringsområdene og dividert med 1000. Resultatene er vist i tabell 6.

For beregning av diffusjon er porevannskonsentrasjoner vist i tabell 5 benyttet. I tillegg er diffusjonslengden, Δx , satt til 1 cm som anbefalt i veilederen. Resultatene er vist i tabell 6. Tall i parentes angir verdier basert på målt diffusjonsfluks fra forsøk utført på Bjørvika-sediment (NGI og NIVA, 2003). Disse resultatene er tatt med for å vise at reell diffusjon kan ventes å være langt lavere enn beregnet ut i fra SFT-veilederen. I sammenstillingen av miljøbudsjettet er kun beregnet diffusjon benyttet.

Tabell 6 Spredning av forurensninger fra havnesedimentene slik de ligger i dag

Spredningsmekanisme	Cd	Hg	Pb	PAH ₁₆	b(a)p	PCB ₇
Diffusjon (g/år)	288	176	20 252	457 (186)	69 (2,2)	145 (0,27)
Oppvirvling (g/år)	1 167	2 020	119 449	5 250	386	87
Sum spredning (g/år)	1 455	2 196	139 701	5 707 (5436)	455 (388)	232 (87)

De forurensede sedimentene vil gradvis dekket til som følge av ny sedimentasjon i området. Spredningen fra den nye sjøbunnen vil på lengre sikt være

avhengig av konsentrasjonene i det som sedimenteres. Dersom tilførselen fra andre kilder reduseres, vil spredningen fra sedimentet uten (før) tiltak være mindre enn det som er brukt i denne beregningen. Er derimot konsentrasjonene i tilførselen høyere enn hva man finner i sedimentene i dag, vil fremtidig spredning kunne bli større enn beregnet.

A5.2 Spredning fra sedimenter i deponiområdet slik de ligger i dag

Sedimentene i deponiområdet er analysert for tungmetaller, PAH og PCB både i 1998 (NGI og NIVA 1999) og 2005. Resultatene viser at konsentrasjonene av kadmium, kvikksølv og bly tilsvarer tilstandsklasse I-III, PAH tilsvarer III-V, benzo(a)pyren IV-V og PCB II-IV. Området kan derfor klassifiseres som markert til meget sterkt forurensset. Den viktigste spredningsmekanismen for deponiområdet slik det ligger i dag, er diffusjon av forurensning fra sedimentet. Spredning som følge av oppvirvling grunnet skipstrafikk er for deponiområdet satt lik 0. Dette skyldes at vanddybden er så stor i området, at propellaktivitet ikke vil kunne påvirke bunnsedimentene.

Som inndata til beregning av diffusjon er beregnede porevannskonsentrasjoner vist i tabell 5 benyttet. I tillegg er diffusjonslengden, Δx , satt til 1 cm som anbefalt i veilederen. Resultatene er vist i tabell 7.

Tabell 7 Spredning av forurensning fra deponiområdet slik det er i dag

Spredningsmekanisme	Cd	Hg	Pb	PAH ₁₆	b(a)p	PCB ₇
Diffusjon (g/år)	26	10	325	822	143	5,2

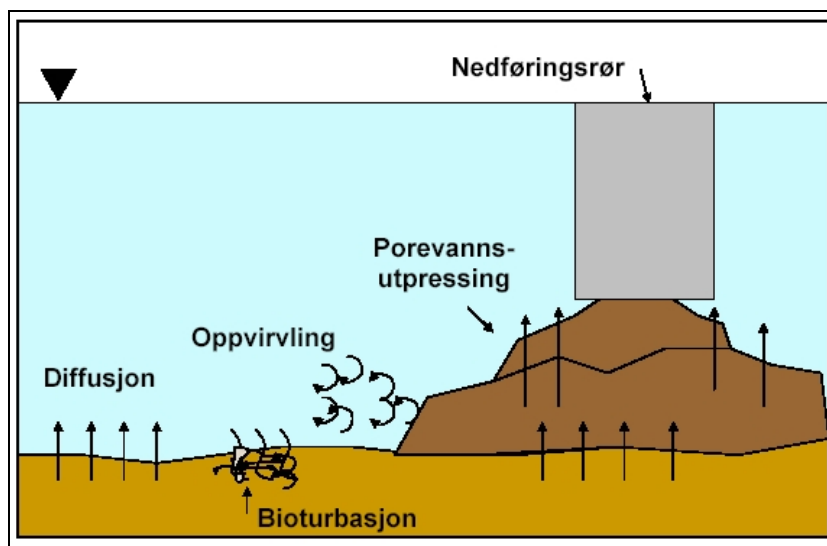
A6 SPREDNING UNDER TILTAK

Under tiltaksfasen vil følgende spredningsmekanismer kunne være aktuelle i tillegg til den spredning som foregår i nå-situasjonen:

- Oppvirvling av forurensede sedimenter pga mudring
- Oppvirvling av forurensede sedimenter pga deponering
- Porevannsutpressing pga mudring
- Porevannsutpressing pga deponering
- Spredning under utlegging av tildekkingslag
- Søl under transport

Spredning under utlegging av tildekkingslag har tidligere vist seg å være neglisjerbar (NGI 2002a og b) og vurderes derfor ikke. Da det vil stilles krav til at de mudrede massene transporteres i tette enheter, antas det at søl under tran-

sporten til deponiområdet også er neglisjerbar. I figur 3 er de aktuelle spredningsmekanismene for deponiområdet under tiltaksfasen vist.



Figur 3 *Spredningsmekanismer for forurensning fra sedimenter i deponiområdet under tiltaksfasen*

Spredningen under tiltak vil i motsetning til spredningen før og etter tiltak, kun gjelde en begrenset tidsperiode, i dette tilfellet anslått til 16 måneder. Spredningsbidragene er derfor oppgitt som spredning i gram. Spredningen kan regnes om til gram per år ved å dele på 16 (anleggstiden i måneder) og gange med 12 (ett år angitt i måneder).

Under anleggsfasen forventes det større spredning enn det som er tilfelle slik situasjonen er i dag. Denne økte spredningen må tjenes inn ved redusert spredning etter tiltak. Spredningen under tiltak vil kun pågå så lenge anleggsperioden varer, i dette tilfellet anslått til ca. 16 måneder. I A2.4.1 til A2.4.3 er spredningsbidragene vist.

A6.1 Oppvirvling under mudring og deponering

Under mudringen kan sediment bli virvlet opp og suspendert i vannmassene på mudringsstedet. Dette kan føre til en frigjøring av forurensinger til vannmassen. Omfanget av dette vil variere avhengig av mudringsmetoden som benyttes. Det tas sikte på å bruke metoder for mudring som gir mindre spredning enn det som virvles opp med båttrafikken i dag. Det vil bli satt strenge krav til kontroll av dette ved gjennomføring av mudringen.

Det er anslått at oppvirvlingen grunnet mudring tilsvarer oppvirvling grunnet skipstrafikk (NGI og NIVA 2003). Tiltaksperioden er anslått å vare i 16 mnd,

hvilket tilsier ca. 1600 lekterlass per år, som er rundet opp til 1800 for å være konservativ. Antallet lekterlass erstatter da antall skipsanløp i likning 2 for beregning av spredning som følge av oppvirvling under mudring. Beregnet spredning er vist i tabell 8.

Under deponeringen av de forurensede sedimentene vil det også forekomme noe oppvirvling når sedimentene når sjøbunnen. NIVA har utført studier og estimering av slik oppvirvling (NIVA 2001), og resultatene fra dette arbeidet er benyttet i miljøbudsjettet, se tabell 8. NIVA fant at risiko for spredning av partikkelassosierte forbindelser som Hg, PCB og B(a)P er mindre enn for forbindelser med større tendens til å danne løste eller kolloidale faser slik som Cd.

Tabell 8 Spredning på grunn av oppvirvling under mudring og deponering

Spredningsmekanisme	Cd	Hg	Pb	PAH ₁₆	b(a)p	PCB ₇
Oppvirvling under mudring (g/16 mnd)	1 551	2 472	146 761	6 341	475	79
Oppvirvling under deponering (g/16 mnd)	6 700	79	27 000	3 700	30	6

A6.2 Spredning via porevann

Ved mudring vil det blandes vann inn i massene som igjen blandes med porevannet i sedimentet. Dette vil medføre at fordelingslikevekten mellom partikkelbundet og vannløst forurensning forskyves, slik at mengden forurensning i vannfasen øker. Ved deponering vil dette vannet presses ut under konsolidering av massene. I tillegg til at porevann presses ut av mudrede masser, vil porevann i de underliggende sedimentene i deponiområdet presses ut på grunn av økt belastning.

Volumet vann som blandes inn under mudring er anslått til 40 – 65 % av mudringsvolumet. Dette tilsvarer 272 000 - 442 000 m³ vann. Setninger i sjøbunnen i deponiområdet er anslått til ca. 1 m (NGI 2005b), hvilket betyr at det maksimalt kan presses ut 1 m³ porevann per 1 m² utfylt område. Med et totalt areal på 350 000 m² blir volumet porevann fra selve deponiet ca. 350 000 m³, hvilket gir en total porevannsutpressing på 792 000 m³. Likning 4 er benyttet for å beregne mengden forurensning som spres via porevann under tiltaksperioden på 16 måneder. Det er antatt at porevannskonsentrasjonen for mudrede sedimenter er representativ for hele volumet. Resultatet er vist i tabell 9.

Tabell 9 Spredning av forurensinger på grunn av porevannsutpressing under mudring og deponering

Spredningsmekanisme	Cd	Hg	Pb	PAH ₁₆	b(a)p	PCB ₇
Porevannsutpressing (g)	63	32	3 390	145	21	55

A6.3 Øvrig spredning i mudrings- og deponeringsområdet under tiltaksfasen

Under tiltaksfasen vil spredningsmekanismene som foregår i nå-situasjonen, vist i kap. A2.3, fortsatt pågå. Disse må derfor også inkluderes i spredningen under tiltak i miljøbudsjettet.

For mudringsområdet er spredningen i nå-situasjonen oppgitt som gram per år regnet om til gram per 16 måneder (tiltaksperioden). Dette gir noe overestimering, da sedimentene gradvis vil fjernes og spredningen dermed reduseres. Det er imidlertid valgt å inkludere diffusjonen og oppvirvlingen fra områdene som skal mudres som om de lå der under hele tiltaksperioden.

For deponiområdet vil diffusjonen av forurensning underestimeres dersom man benytter sedimentkonsentrasjonen tilsvarende nå-situasjonen. Det er derfor antatt at diffusjonen av forurensing fra deponiområdet under tiltaksfasen skjer fra sedimenter med konsentrasjoner tilsvarende sedimentene som skal mudres. Resultatene er vist i tabell 10.

Tabell 10 Spredningsbidrag under tiltaksfasen fra mudrings- og deponiområdet basert på spredning som også pågår i nå-situasjonen

Spredningsmekanisme	Cd	Hg	Pb	PAH ₁₆	b(a)p	PCB ₇
Diffusjon fra mudringsområder (g/16 mnd)	384	235	27 003	610	92	193
Oppvirvling (g/16 mnd)	1556	2693	159 265	7000	515	116
Diffusjon fra deponiområdet (g/16 mnd)	198	121	13 898	314	48	99
Sum (g/16 mnd)	2138	3049	200 166	7924	655	408

A7 SPREDNING ETTER TILTAK

Etter at mudringen og deponeringen er gjennomført, vil spredningen av forurensning fra sedimentene avhenge av den nye sedimentoverflaten i de mudrede områdene og i deponiområdet.

A7.1 Spredning fra mudrede områder

Etter mudringen skal den nye sjøbunnen tilfredsstillende SFTs tilstandsklasse II (moderat forurensset) for sedimenter (Oslo kommune 2005). Dersom man

sammenligner sedimentkonsentrasjonene før tiltak med sedimentkonsentrasjoner tilsvarende tilstandsklasse II, vil sedimentkonsentrasjonen i mudringsområdene reduseres som angitt i tabell 11.

Tabell 11 Reduksjon i spredning i mudrede områder når ny sjøbunn tilfredsstiller tilstandsklasse II

	Cd	Hg	Pb	b(a)p	PAH₁₆	PCB₇
Konsentrasjon før mudring (mg/kg)	4,53	7,23	429	1,38	18,5	0,229
Tilstandsklasse II (mg/kg)	1	0,6	120	0,05	2	0,0125
Reduksjon (%)	78	92	72	96	89	95

Ved beregning av spredning i mudrede områder (etter tiltak) er det antatt at spredningen reduseres tilsvarende tabell 11. Aktuelle spredningsmekanismer er som før tiltak;

- oppvirvling på grunn av skipstrafikk
- diffusjon fra sedimentfasen til vannfasen.

Resultatene er vist i tabell 12.

Tabell 12 Spredning i mudrede havneområder (etter mudring)

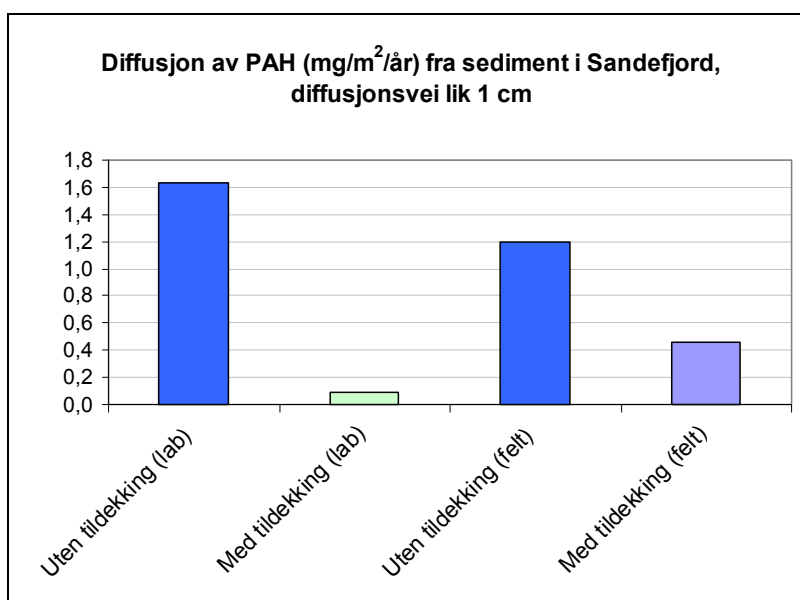
Spredningsmekanisme	Cd	Hg	Pb	PAH₁₆	b(a)p	PCB₇
Diffusjon fra mudret område (g/år)	63	14	5 671	50	2,76	7
Oppvirvling fra mudret område (g/år)	257	162	34 446	578	31	4,4
Sum spredning (g/år)	320	176	39 117	628	34	11,4

Partikler suspendert i vannmassene og partikkeltilførsel via f.eks. elver og overløp, vil etter en viss tid utgjøre den nye sjøbunnen. Dersom tilførslene har høyere konsentrasjoner av tungmetaller, PCB og PAH, vil spredningen fra de mudrede områdene underestimeres. Har tilførslene derimot lavere konsentrasjoner, vil spredningen etter tiltak være overestimert. Studier av tilførselen av partikulær forurensning via Akerselva (NGI 2005a) viser at dersom man fjerner forurenset sediment i Bispevika, og sedimentasjon av partikulær tilførsel fra Akerselva utgjør den nye sjøbunnen, vil mudringen medføre en reduksjon i spredning på 43-81 %, med unntak for bly som vil få en økning i spredning på ca. 39 %. Basert på tallene fra Akerselva vil man på lang sikt kunne forvente at sjøbunnen vil ha tilstandsklasse III (markert forurenset) dersom det ikke gjøres tiltak også med kildene til forurenset partikulært materiale fra Akerselva. I

tillegg kan det være andre kilder som man nå ikke har oversikt over, som også kan utgjøre en betydelig kilde til forurensing i nytt sediment etter tiltak.

A7.2 Spredning fra deponiområdet

Etter at deponeringen er gjennomført og dypvannsdeponiet er dekket til med rene masser, vil eneste spredningsmekanisme for forurensninger være diffusjon fra deponerte sedimenter gjennom tildekkingslaget (NGI og NIVA 2003). Undersøkelser gjort både i felt og laboratorium viser svært lav diffusjon gjennom et tildekkingslag. Figur 4 viser et eksempel på diffusjonen av PAH i undervannsdeponiet i Sandefjord i tildekket og utildekket område.



Figur 4 Diffusjon av PAH fra sediment i Sandefjord med og uten tildekking

En tildekking av deponioverflaten vil redusere diffusjonen av forurensninger. Tildekkingslaget skal dimensjoneres for å;

- Hindre uønsket diffusjon av forurensninger
- Hindre bunnlevende dyr i å grave i forurenset sediment
- Hindre erosjon av forurenset sedimentbunn

I tillegg skal designet av tildekkingslaget ta høyde for konsolidering (sammenstrykking) av tildekkingen og usikkerheten i hvor jevnt operatøren klarer å legge ut tildekkingsmassen. Totalt vil tildekkingslaget være 0,3 – 0,4 m.

Ved å forutsette at spredning i deponiområdet etter tildekking skal være lavere enn før tiltak, må tykkelsen på tildekkingen som skal *hindre ren kjemisk diffusjon* være minst 4 cm. Det er da kun sett på ren molekylær diffusjon uten

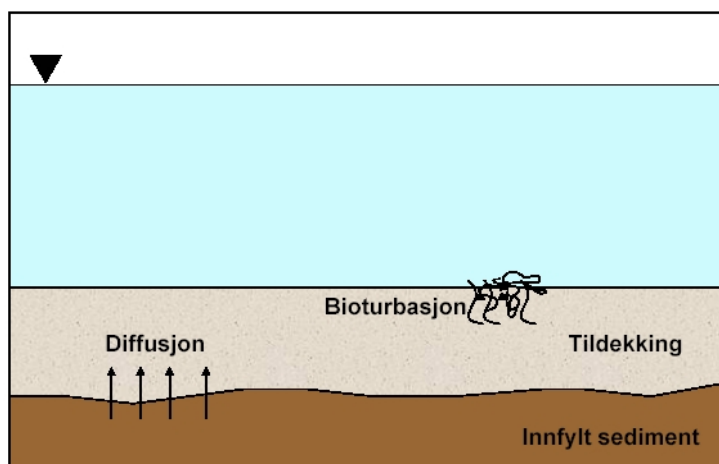
bidraget fra bioturbasjon (parameter a i likning 2), hvilket forutsetter et ekstra tildekkingslag som tar høyde for bioturbasjon over tildekkingslaget som skal sørge for ren kjemisk isolering. I tabell 13 er spredningen fra deponiområdet vist dersom tildekkingslaget er henholdsvis 0 cm (dvs ingen tildekking), 4 cm eller 15 cm tykt.

Tabell 13 Spredning fra deponiområdet etter deponering ved ulike tykkelser av tildekkingslaget

Spredningsmekanisme	Cd	Hg	Pb	PAH ₁₆	b(a)p	PCB ₇
Diffusjon dersom ingen tildekking (g/år)	148	91	10 424	36	235	75
Diffusjon ved tildekking 4 cm (g/år)	3,7	2,3	261	5,9	0,9	1,87
Diffusjon ved tildekking 15 cm (g/år)	0,988	0,605	69,5	1,57	0,238	0,497

Dersom man velger 15 cm for den rent kjemiske tildekkingen som skal hindre diffusjon av forurensninger, vil man oppnå 96,2 % reduksjon i spredning av kadmium fra deponiområdet i forhold til dagens situasjon (tabell 3). Likeledes vil reduksjonen for kvikksølv være 94 %, for bly 79 %, for benso(a)pyren og PAH₁₆ 99,8 %, og 90,4 % reduksjon for PCB₇.

I tillegg til å hindre diffusjon av forurensninger, må tildekkingslaget som nevnt også hindre at bunnlevende organismer graver seg ned til forurenset sediment, se spredningsmekanismer vist i figur 5. Det må derfor legges til ytterligere 10 cm for å hindre slik bioturbasjon. Totalt vil tildekkingslaget være 0,3 - 0,4 m som vist i hoveddokumentet hvor designet av topplaget er nærmere beskrevet.



Figur 5 Tildekkingen medfører en lengre diffusjonsvei, samt hindrer bunnlevende organismer i å grave seg ned i forurensede sedimenter

A8 MILJØGEVINST

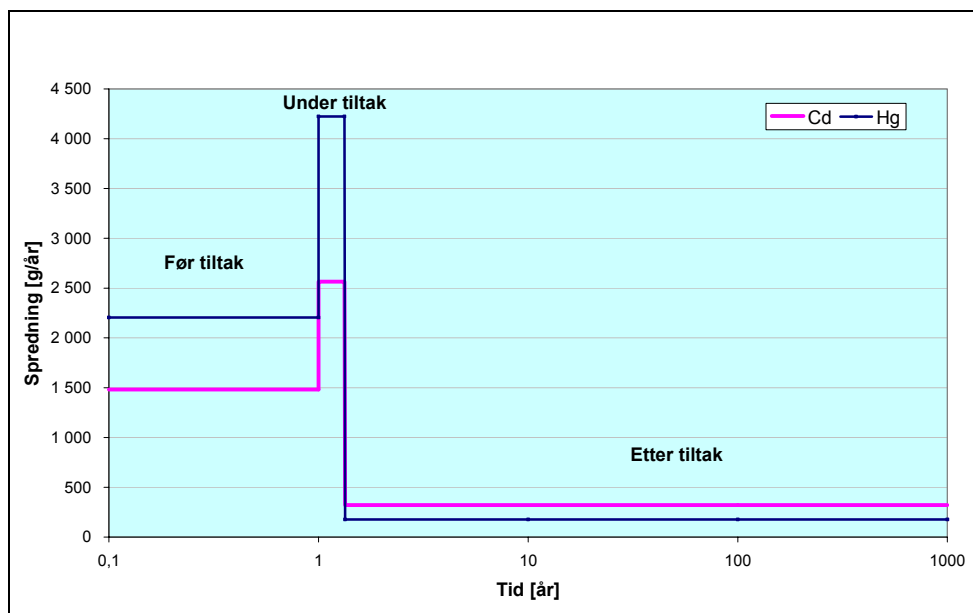
I tabell 14 er spredning i nå-tilstanden, under og etter mudring og deponering vist. Under selve tiltaksfasen vil belastningen øke midlertidig, men etter at tiltaket er gjennomført vil spredningen reduseres sterkt både fra de mudrede havneområdene og i deponiområdet.

Tabell 14 Sammenstilling av spredning av forurensninger i nå-tilstand, under og etter tiltak

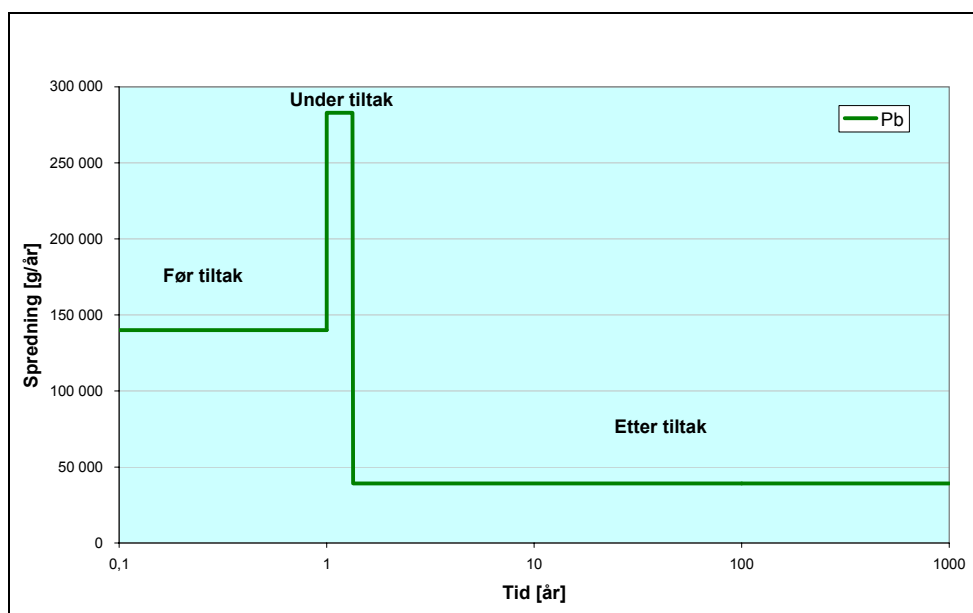
Spredningsmekanisme	Cd	Hg	Pb	PAH₁₆	b(a)p	PCB₇
Diffusjon fra sediment i områder som skal mudres (g/år)	288	176	20 252	457	69	145
Oppvirvling pga propellersjon i områder som skal mudres (g/år)	1 167	2 020	119 449	5 250	386	87
Diffusjon fra sediment i deponiområdet i nå-tilstand (g/år)	26	10	325	822	143	5,2
Sum spredning ved nå-tilstand (g/år)	1 481	2 206	140 026	6 529	598	237
Oppvirvling under mudring (g/16 mnd)	1 551	2 472	146 761	6 341	475	79
Oppvirvling under deponering (g/16 mnd)	6 700	79	27 000	3 700	30	6
Porevannsutpressing (g)	63	32	3 390	145	21	55
Diffusjon fra sediment i mudringsområder (g/16 mnd)	384	235	27 003	610	92	193
Oppvirvling i mudringsområder grunnet propellersjon (g/16 mnd)	1 556	2 693	159 265	7 000	515	116
Diffusjon fra sediment i deponiområdet (g/16 mnd)	198	121	13 898	314	48	99
Sum spredning under tiltak (g/16 mnd)	10 452	5 632	377 317	18 110	1 181	548
Spredning fra mudrede områder etter tiltak (g/år)	320	176	39 116	228	50	11,6
Spredning fra deponiområdet etter tiltak (g/år)	0,99	0,61	69,5	1,57	0,24	0,50
Sum spredning etter tiltak (g/år)	321	177	39 186	230	50	12

I figur 6 til 9 er resultatene fra miljøbudsjettet, som spredning av forurensning per år før, under og etter mudring og deponering i dypvannsdeponiet, illustrert. Linjen som viser spredning etter tiltak styres av spredningen fra havneområdene, da denne vil være 2 til 3 størrelsesordener større enn spredningen fra deponiområdene etter tiltak. En total tildekkingstykkelse på 0,3 m hvorav den kjemiske isoleringen mot diffusjon og bioturbasjon utgjør 0,25 m, vil medføre at spredningen av forurensninger fra deponiområdet i forhold til dagens situasjon reduseres med 79 - 99,8 % for de forskjellige stoffene, og

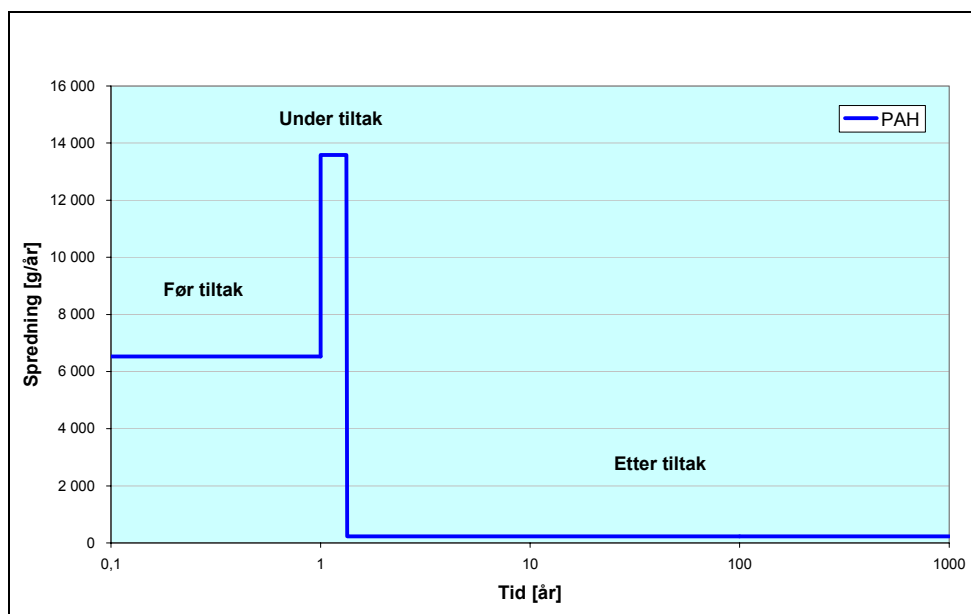
spredningen fra havneområdene reduseres med 72 – 96 % for de forskjellige stoffene.



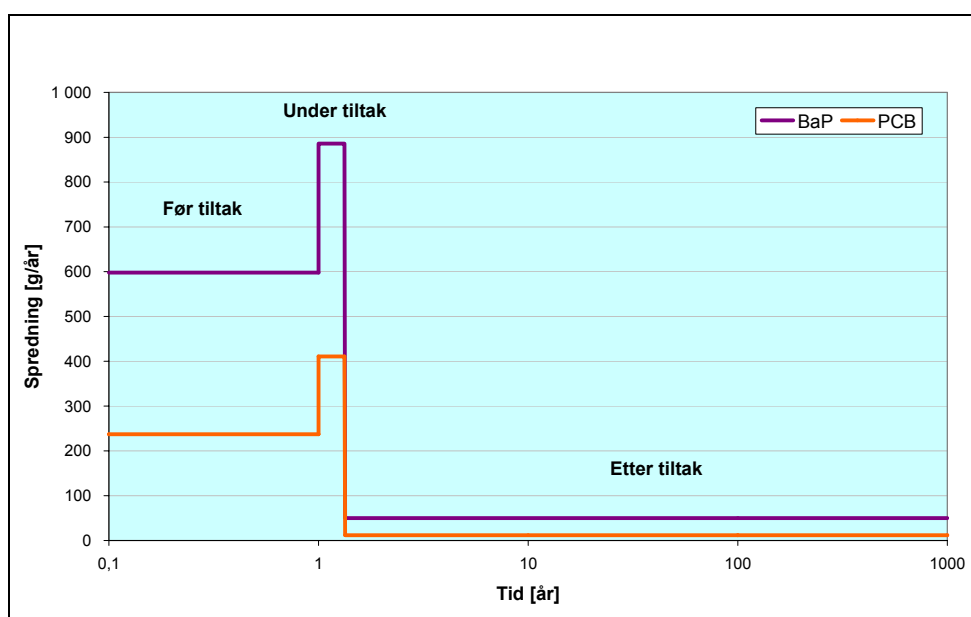
Figur 6 Spredning av kadmium og kvikksølv før, under og etter tiltak



Figur 7 Spredning av bly før, under og etter tiltak



Figur 8 Spredning av PAH₁₆ før, under og etter tiltak



Figur 9 Spredning av benzo(a)pyren og PCB₇ før, under og etter tiltak

A9 KONKLUSJON

Ut ifra de beregninger og betraktninger som er gjort og vist i figurene, vil deponering av forurensede sedimenter i dypvannsdeponiet medføre positiv miljøeffekt både for de mudrede områdene og for deponiområdet i forhold til

dagens situasjon. Av tabellen ser man at effekten etter tiltaket i særlig grad styres av spredningen fra den nye sedimentoverflaten i områdene som mudres. Spredningen fra deponiområdet etter tiltak er betydelig redusert i forhold til dagens situasjon. Dersom dypvannsdeponiet ikke godkjennes, vil ikke denne miljøforbedringen skje for dypvannsbassenget mellom Langøyene og Malmøykalven.

A10 REFERANSER

NGI 2002a

”Drammen Havn. Utfylling Holmen øst. Effekter ved dumping av masser direkte på sjøbunn”, utarbeidet for Drammen havn
NGI rapport 20011138-2, 23.10.2002

NGI 2002b

”Lysaker tankanlegg. Tiltak vedrørende forurensede sedimenter utenfor kaiområdet”, utarbeidet for Fina Norway as
NGI rapport 20011353-3, 13.12.2002

NGI 2005a

”Stabilitet i forurensede sedimenter – SIP 9. Grunnleggende kartlegging av Bispevika”
NGI rapport 20031020-2, 06.05.2005

NGI 2005b

”Anbefalinger ved prosjektering av tildekking av forurenset sediment”, utarbeidet for Norges forskningsråd. Franzefoss og NCC anlegg
NGI rapport 20021244-4, 07.06.2005

NGI og NIVA 1999

”Strømundersøkelse og sedimentkvalitet i dypbassenget vest for Malmøykalven, Indre Oslofjord”, utarbeidet for Oslo Havn KF
NGI rapport 984139-3/ NIVA rapport 4019-99, 26.02.1999

NGI og NIVA 2000

”Risiko for spredning av miljøgifter under etablering av dypvannsdeponi”, utarbeidet for Oslo Havn KF
NGI rapport 994104-1/NIVA rapport 4217-2000, 14.06.2000

NGI og NIVA 2003

”Dypvannsdeponi ved Malmøykalven. Tilleggsutredning til konsekvensutredning. Miljøgiftbudsjett, kostnader og in-situ tildekking”, utarbeidet for Oslo Havn KF
NGI rapport 20011067-1, 02.01.2003

NIVA 1995

”Vurdering av effekten av propellstrøm fra fartøy på sedimenter i Oslo Havn”,
utarbeidet for Oslo Havn KF
NIVA rapport LNR 3218-95

NIVA 2001

”Opprydding av forurensede sedimenter i Oslo havn. Etablering av
dypvannsdeponi ved Malmøykalven. Modeller og estimer for spredning av
miljøgifter”, utarbeidet for Oslo Havn KF
NIVA rapport 4438-2001

NIVA 2005

”Beregning av muligheten for oppvirvling av deponerte sedimenter på dypt
vann i Bekkelagsbassenget under en dypvannsfornyelse”, utarbeidet for Oslo
Havn KF
NIVA rapport LNR 5035

Oslo kommune 2005

”Helhetlig tiltaksplan for opprydding av forurensede sedimenter i Oslo havne-
distrikt”
Oslo kommune, 2005

SFT 2005

”Veileder for risikovurdering av forurenset sediment”
SFT veileder TA-2085