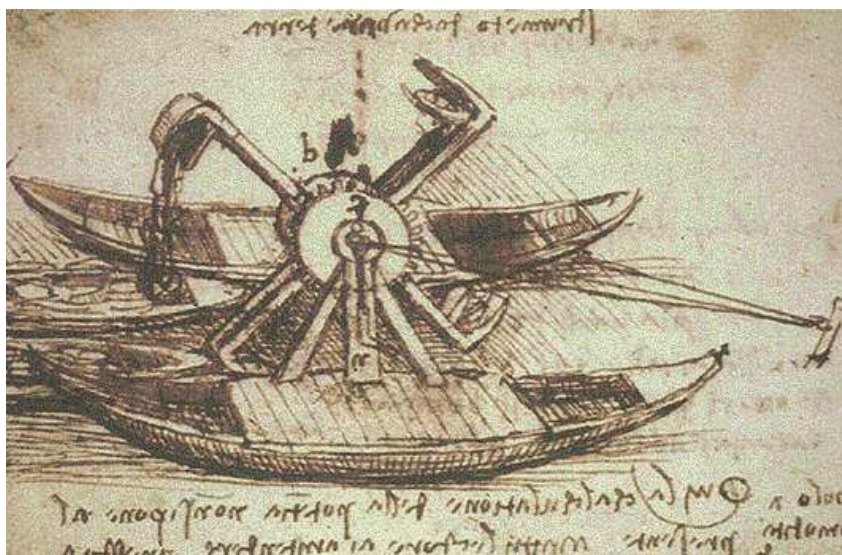




TEKNISK RAPPORT

STATENS FORURENSNINGSTILSYN

MUDRINGSMETODER FOR FORURENSET SJØBUNN



Mudderapparat for kanaler og laguner. Skisse av Leonardo da Vinci (1452-1519)

Kilde: <http://www.museoscienza.org/english/leonardo/dragalagunare.asp>

RAPPORT NR. 2008-0476

REVISJON NR. 01

DET NORSKE VERITAS



TEKNISK RAPPORT

DET NORSKE VERITAS AS
DNV Industry

Veritasveien 1
1322 Høvik
Norway
Tel: +47 67 57 99 00
Fax: +47 67 57 99 11
http://www.dnv.com
Org. No: NO945 748 931 MVA

Dato for første utgivelse: 2008-04-03	Prosjekt nr.: 47125383
Godkjent av: Erling Svendby Direktør, Offentlig virksomhet	Organisasjonsenhet: DNV Industry
Oppdragsgiver: Statens forurensningstilsyn	Oppdragsgiver ref.: Erik Høygaard

Sammendrag:

Denne rapporten er utarbeidet på oppdrag fra SFT og beskriver fordeler, ulemper og kostnader med forskjellige mudringsteknologier for fjerning av forurenset sjøbunn. Egnede avvanningsmetoder er også omtalt. Rapporten skal være en støtte når miljømyndigheter skal vurdere egnetheten av en mudringsmetode for ulike lokaliteter.

Målgruppen for rapporten er SFT og fylkesmennenes miljøvernavdelinger.

Rapport nr.: 2008-0476	Emnegruppe: M0	
Rapporttittel: Mudringsmetoder for forurenset sjøbunn		
Utført av: Jens Laugesen og Bjørn Nygård (Yarconsult) <i>Jens Laugesen</i>		
Verifisert av: Thomas Møskeland <i>Thomas Møskeland</i>		
Dato for denne revisjon: 2008-04-03	Rev. nr.: 01	Antall sider: 40

Indekseringstermer

Mudringsmetoder, sediment

- Ingen distribusjon uten tillatelse fra oppdragsgiver eller ansvarlig organisasjonsenhet, dvs. fri distribusjon innen DNV etter 3 år
- Strengt konfidensiell
- Fri distribusjon



<i>Innholdsfortegnelse</i>	<i>Side</i>
1 INNLEDNING.....	1
2 MUDRING AV SJØBUNN.....	2
3 GENERELT OM METODER FOR MILJØMUDRING OG FORDELER/ULEMPER MED RESPEKTIVE METODE.....	4
3.1 Mekaniske metoder (grabb, bakgraver etc.)	6
3.1.1 Bakgraver	6
3.1.2 Grabb	7
3.2 Hydrauliske metoder (sugemudring)	10
3.3 Mekanisk-hydrauliske metoder	12
3.3.1 Horisontal auger	12
3.3.2 Kuttersuger	14
3.3.3 Disk kutter	16
3.4 Mudring av forurenset sjøbunn på store vanddyp	17
4 VURDERING AV MILJØMUDRINGSMETODER FOR NORSKE FORHOLD.....	21
4.1 Fjerning av forurenset sjøbunn i havner	21
4.1.1 Utfordringer	21
4.1.2 Tiltak mot spredning	22
4.1.3 Anbefalte metoder for miljømudring i havner	23
4.1.4 Disponeringsløsninger	24
4.2 Fjering av forurenset sjøbunn i fjorder	24
4.2.1 Utfordringer	24
4.2.2 Tiltak mot spredning	24
4.2.3 Anbefalte metoder for miljømudring i fjorder	25
4.2.4 Disponeringsløsninger	25
4.3 Byggeprosjekter i sjø hvor fjerning av forurenset sjøbunn er en del av byggeprosessen	25
4.3.1 Utfordringer	25
4.3.2 Tiltak mot spredning	25
4.3.3 Anbefalte metoder for miljømudring i forbindelse med byggeprosjekter	26
4.3.4 Disponeringsløsninger	26
5 BRUK AV SILTGARDINER.....	27
6 AVVANNING AV FORURENSEDE MASSER ETTER MUDRING	29
6.1 Avvanningsanlegg (mekanisk avvanning)	29
6.2 Avvanning med geotekstilposer	31
6.3 Avrenning via filter til sjø	33
	Side i



TEKNISK RAPPORT



6.4	Avdamping	34
7	KOSTNADER	35
7.1	Kostnader for miljømudring	35
7.2	Kostnader for disponering av forurensede masser	35
7.2.1	Levering til godkjent deponi på land	35
7.2.2	Strandkantdeponier	36
7.2.3	Gruntvanns- og dypvannsdeponier	36
7.2.4	Renseteknologi	36
8	VEIEN VIDERE	37

Vedlegg A: Oversikt over entreprenører og utstyr for mudring av forurenset sjøbunn i Norge

Vedlegg B: Oversikt over entreprenører og utstyr for mudring av forurenset sjøbunn på verdensbasis



1 INNLEDNING

Denne rapporten er utarbeidet på oppdrag fra SFT og beskriver fordeler, ulemper og kostnader med forskjellige mudringsteknologier for fjerning av forurenset sjøbunn. Egnede avvanningsmetoder er også omtalt. Rapporten skal være en støtte når miljømyndigheter skal vurdere egnetheten av en mudringsmetode for ulike lokaliteter.

Målgruppen for rapporten er SFT og fylkesmennenes miljøvernavdelinger.

Kontaktperson hos SFT har vært Erik Høygaard.

Rapporten er skrevet av Jens Laugesen (DNV) i samarbeid med Bjørn Nygård (Yarconsult AS).

Videre har en rekke personer som arbeider med miljømudring gitt innspill om teknologier, utstyr og praktiske erfaringer til rapporten:

Gerard Hoogewerff, Royal Boskalis Westminster nv (Nederland)

Stig Røskar og Thore Kolltveit, Skanska Norge AS

Guri Kirkhaug, Secora

Terje Myrhaug og Kjell Petter Solhaug, NCC

Trond-Ingve Mølstre, Sjøentreprenøren AS

Bård Jørgensen, Scanmudring AS

Christer Hermansson, Västerviks kommun (Prosjekt Örserumsviken)

Atle Karlsvik, SeaBed Services AS

En stor takk til dere!



2 MUDRING AV SJØBUNN

Mudring i forurenset sjøbunn krever normalt større nøyaktighet og går derfor langsommere enn andre typer mudring. Mudring i forurenset sjøbunn er også ofte mer kostbart fordi massene normalt må leveres til spesielle godkjente mottak eller deponier. Overmudring hvor det mudres for dypt slik at også rene masser blir fjernet, fører til betydelig økte kostnader for disponering. Årsaken til dette kan for eksempel være at en ikke klarer å skille mellom rene og forurensete masser ved mudring.

I Norge foregår i dag mer enn 80 % av mudringen som anleggsmudring. Ved anleggsmudring er det svært sjelden mudring i områder hvor det har vært mudret i forveien. Det betyr at det mange ganger finnes etterlatenskaper i massene (skrot, arkeologisk materiale) som forsinker og gjør mudringen vanskeligere.

I Europa (les Mellom-Europa) er det mest mudring i områder hvor det vedlikeholdsmudres jevnlig for å opprettholde en seilingsdybde. Tilførselen av sedimenter og miljøgifter skjer for en stor del via elvetransport og det finnes omtrent ikke etterlatenskaper i massene som gir forstyrrelser i mudringen.



Faktarute Mudring av sjøbunn – tre viktige internasjonale begreper	
Ved mudring av sjøbunn blir mudringen normalt inndelt i tre begreper i internasjonal litteratur	
Capital dredging ("Anleggsmudring")	<p>Innebærer bygging av nye eller forbedrete anlegg som havnebassenger, fordyping av seilleder/seilrenner eller innvinning av nytt land for industri eller boligformål. Slike prosjekter er normalt karakterisert av:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Omplassering av store mengder masser • Kompakte masser • Uforstyrrede sedimentlag • Lav eller ingen forurensningsgrad • Signifikante lagtykkelser som skal mudres • Ikke-gjentatt mudringsaktivitet <p>Ref: International Association of Dredging Companies (www.iadc-dredging.com)</p>
Maintenance dredging ("Vedlikeholdsmudring")	<p>Innebærer fjerning av (i de fleste tilfeller naturlig) tilslamming av sjøbunnen for å opprettholde nødvendig dybde i seilleder/seilrenner og havner. Slike prosjekter er normalt karakterisert av:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Variable mengder av masser • Myke løsmasser • Mulig innhold av forurensning • Tynne lagtykkelser som skal mudres • Gjentatt mudringsaktivitet <p>Ref: International Association of Dredging Companies (www.iadc-dredging.com)</p>
Environmental dredging ("Miljømudring")	<p>Innebærer fjerning av forurenset sjøbunn for å bedre miljøforholdene, for eksempel i en forurenset fjord med kostholdsråd. Slike prosjekter er normalt karakterisert av:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Forholdsvis begrenset mengde masser • Myke løsmasser • Inneholder forurensning (alltid) • Tynne lagtykkelser som skal mudres • Inngår i mange tilfeller som en del av en anleggsmudring eller vedlikeholdsmudring når hele eller deler av sjøbunnen er forurenset • Ikke-gjentatt mudringsaktivitet <p>Ref: Jens Laugesen/Bjørn Nygård</p>



3 GENERELT OM METODER FOR MILJØMUDRING OG FORDELER/ULEMPER MED RESPEKTIVE METODE

Når en beskriver mudringsmetoder pleier en å dele dem inn i to hovedtyper, mekanisk mudring og hydraulisk mudring. Mekanisk mudring er som det fremgår av navnet en mekanisk fjerning av sedimentene for eksempel ved at de graves bort. Hydraulisk mudring foregår ved at sedimentene suges opp fra bunnen og utstyret fungerer som en slamsuger.

En stor del av det mudringsutstyret som finnes på markedet i dag er basert på en blanding av mekaniske og hydrauliske prinsipper. Et typisk eksempel er når sedimentene er for harde for å kunne fjernes bare ved suging, brukes en mekanisk del som først løsner materialet og siden suges det opp.

I de følgende delkapitlene er de metoder som er mest aktuelle for miljømudring i Norge beskrevet.

Det inngår også et eget delkapittel om mudring av forurenset sjøbunn på store vanddyb. Slik mudring forventes det å bli en økende fokus på i fremtiden på grunn av økende antall oppryddinger etter oljeinstallasjoner og skipsvrak.

I faktaruter beskrives hver metode med henblikk på kapasitet, vanddyb, nøyaktighet, masser som kan mudres, spredning/oppvirvling og vanninnhold/avvanning.

Nedenfor gis en forklaring til de forskjellige punktene i faktarutene:

- **Kapasitet:** Omtrentlig kapasitet for miljømudring for norske prosjekter oppgitt i faste m³. Dette refererer seg til volumene slik de er målt på sjøbunnen (in situ) før massene er tatt opp. Det er med andre ord ikke det som tas opp på land/fartøy/lekter med tilhørende ekstra vannmengde som oppgis som kapasitet i denne rapporten. Tallene på kapasitet kan derfor virke litt lave i forhold til det en finner i annen litteratur. Det er mulig å finne ut volum inkludert ekstra vann som følge av mudringen hvis en legger til informasjon om vanninnhold. Vanninnhold er et eget punkt i hver faktarute (se nedenfor). Benyttes ikke metoden i Norge i dag, er utenlandske data oppgitt. Kapasiteten er gitt pr. time og beregnet ved å ta produksjonen (antal faste m³) over en normal arbeidsdag fordelt på antall timer, dvs. at tidsbruk til stopp for forflytting, venting på lekter etc. er inkludert.
- **Vanddyb:** Vanddyb som utstyret er laget for. Det er sjelden bruk for miljømudringsutstyr som mudrer dypere enn 20 m i Norge.
- **Nøyaktighet:** Nøyaktighet ved kontroll beskrevet som avvik i forhold til planlagt dybde og utstrekning på mudringen. I dag benyttes maskinstyringssystemer for mudring basert på GPS (Global Positioning System) som gir beliggenhet i xyz-koordinater. Sensorer på utstyret følger maskinens bevegelser (lengder wire ute, armgeometri på gravemaskin etc.). Nøyaktigheten vil være avhengig av kvaliteten på sensorene og inngangsdata på arbeidsområdet. Mest sårbar er z-verdien (vertikal posisjon) for nøyaktigheten.
- **Masser som kan mudres:** Type masser som kan mudres ved miljømudring. Mudring i rent fjell (ikke egnet for norske fjellbergarter) er ikke tatt med da det ikke er relevant for forurensete masser.



- **Spredning/Oppvirvling:** Mudring fører til spredning og oppvirvling av sediment i varierende grad avhengig av metode. For hver metode beskrives hvor spredning/oppvirvling kan skje og hvilke avbøtende tiltak som kan gjennomføres.
- **Vanninnhold/Avvanning:** En meget vesentlig parameter er vanninnholdet i de masser som mudres opp. Stort vanninnhold gir i mange tilfeller et ekstra behandlingstrinn hvor massene må avvannes og vann som går tilbake til sjø må renses. Volum ekstra vann som følger med opp er beskrevet i forhold til in situ mudringsvolum (faste m³). Eksempel: 1 m tykt lag med forurenset sjøbunn fjernes som dekker 100 m² sjøbunn, dvs. et in situ volum på 100 m³. Når massene er mudret opp er det 110 m³ fordi det er tilført 10 % vann i mudringsprosessen.

Behovet for avvanning er avhengig av hvor mye vann som tilføres massene på grunn av mudringen. På grunnlag av mudringsteknologi finnes erfaringstall på tilført vannmengde som kan brukes som en første indikasjon på om det er behov for et ekstra avvanningstrinn før disponering av massene.

Metoder for miljømudring som kan være aktuelle i dag er:

- Mekaniske metoder (bakgraver, grabb, etc.)
- Hydrauliske metoder (sugemudring)
- Mekanisk-hydrauliske metoder (auger, kuttersuger, disk kutter)
- Undervannsbasert utstyr (for dypt vann)

En nærmere beskrivelse av disse metodene er gitt i de følgende delkapitlene.

For en oversikt over entreprenører og mudringsutstyr for miljømudring i Norge vises til vedlegg A.

For en oversikt over entreprenører og mudringsutstyr for miljømudring på verdensbasis (og øvrige nordiske land) vises til vedlegg B.

3.1 Mekaniske metoder (grabb, bakgraver etc.)

Mekaniske metoder som brukes for mudring av forurenset sjøbunn er:

- Bakgraver
- Grabb

3.1.1 Bakgraver

En bakgraver er i prinsipp en gravemaskin som er plassert på en lekter og graver opp sedimentene fra bunnen og plasserer dem på lekteren eller direkte i fartøyet.

Metoden er egnet for alle typer sjøbunn men har begrensninger med henblikk på vanddyp.



Figur 1. Bakgraver brukt i Oslo havn, skuffen visis hydraulisk til den er i kontakt med lokket (Secora)



Figur 2. Til venstre: Ombygget gravemaskin på lekter (www.udl.com.hk) Til høyre: Stor 14 m³ graveskuff (www.rohde-nielsen.dk)

Faktarute bakgraver	
Kapasitet	Typisk 50-150 m ³ /time (in situ volum) i Norge. Graveskuffen har normal et volum på 1,5-6 m ³ i Norge.
Vannbyp	Finnes utstyr i Norge som er egnet for mudring ned til 15-20 m vannbypde.
Nøyaktighet	+/- 10 cm i vertikalledd og +/- 10 cm i horisontalledd.
Masser som kan mudres	Stein, grus, sand, silt, leire (alle typer masser).
Spredning/Oppvirvling	Noe mer spredning må påregnes i selve gravefasen og når massene løftes opp gjennom vannsøylen sammenlignet med ved ren sugemudring. Åpne graveskuffer er ikke egnet til miljømudring. Graveskuffen må ha et lokk slik at den kan løftes lukket gjennom vannsøylen. Et avbøtende tiltak er å kontrollere at det ikke er gjenstander som holder lokket åpent før skuffen løftes fra bunnen.
Vanninnhold/Avvanning	Metoden tilfører ca. 10-20 % ekstra vann utover in situ volum. Behov for avvanning er begrenset og for de fleste disponeringsløsninger er det ikke behov for et ekstra avvanningstrinn.

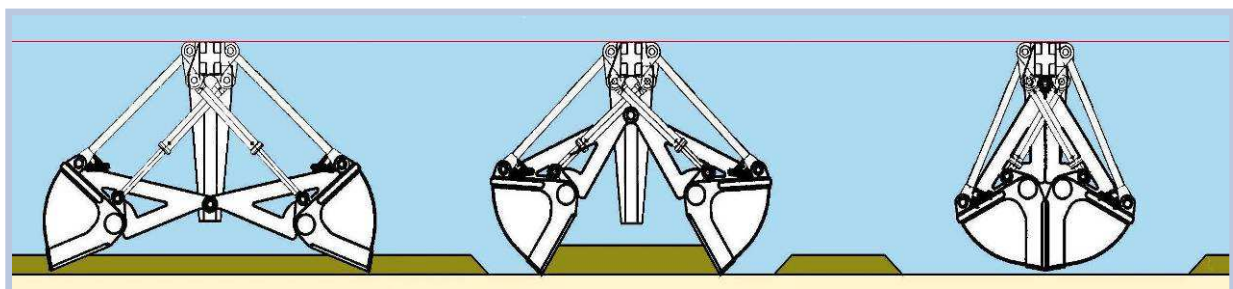
3.1.2 Grabb

Det finnes mange forskjellige typer av grabber. For miljømudring er det mest aktuelt å bruke en lukket grabb utformet som en gripeskovel.



Figur 3. Eksempel på grabb utformet som en gripeskovel

For miljømudring bør grabbens gravegeometri være slik at den etterlater en horisontalt plan flate "horizontal level cut".



Figur 4. Horisontal level cut (Boskalis)

Selve grabben kan være festet i en fast arm eller henge i en vaier. Fordelen med fast arm er at det gir bedre nøyaktighet enn hvis den henger i en vaier, men utstyrt med vaier kan grabben brukes til å mudre på betydelig større dyp.

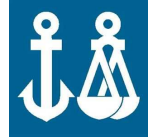
Metoden er egnet for alle typer sjøbunn men harde masser lar seg vanskelig mudre med grabb i vaier. I prinsipp har grabb i vaier ingen begrensninger med henblikk på vanddyb, men nøyaktigheten reduseres ved en økning av vanddybden.



Figur 5. Lukket grabb på vaier til miljømudring i Trondheim (Skanska)



Figur 6. Grabb med en fast arm med hydraulisk lukking (Boskalis, Nederland)



Faktarute grabb	
Kapasitet	Typisk 50-150 m ³ /time i Norge (in situ volum). Grabben har normalt et volum på 2-6 m ³ i Norge.
Vanddyb	En grabb som sitter på en fast arm kan mudre ned til ca. 25 m vanddyb. For en grabb med vaier er det mulig å mudre ned til store vanddyb men posisjoneringen av mudringen blir etter hvert unøyaktig slik at mudring av praktiske årsaker bør begrenses til rundt 50 m dyp.
Nøyaktighet	+/- 10 cm i vertikalledd og +/- 10 cm i horisontalledd for grabb med fast arm. +/- 15 cm i vertikalledd og +/- 15 cm i horisontalledd for grabb i vaier (nøyaktigheten avtar med dybden).
Masser som kan mudres	Steiner, grus, sand, silt, leire. Harde masser er vanskelig å mudre med grabb i vaier.
Spredning/Oppvirvling	Noe mer spredning må påregnes i selve gravefasen og når massene løftes opp gjennom vannsøylen sammenlignet med ved ren sugemudring. For miljømudring må det brukes en lukket grabb slik at ikke muddermasser lekker ut når de løftes gjennom vannsøylen. Et avbøtende tiltak er å kontrollere at det ikke er gjenstander som holder grabben åpen før den løftes fra bunnen.
Vanninnhold/Avvanning	Metoden tilfører ca. 10-20 % ekstra vann utover in situ volum. Behov for avvanning er begrenset og for de fleste disponeringsløsninger er det ikke behov for et ekstra avvanningstrinn.

3.2 Hydrauliske metoder (sugemudring)

Ren hydraulisk mudring foregår ved at en suger opp sedimentene direkte fra sjøbunnen med en pumpe. Forenklet kan en si at metoden fungerer på samme måte som en slamsuger. Ved sugemudring pumpes en blanding av muddermasser og vann opp gjennom et rør direkte til land eller til fartøy/lekter. Massene trekkes inn i et sugehode av en pumpe, normalt er sugehodet utstyrt med beskyttelse (gitter) for å unngå at gjenstander som kan blokkere pumpen trekkes inn. Ved denne metoden er det vann som brukes til å transportere massene fra sjøbunnen til fartøy/lekter eller landdeponi. På grunn av de store vannmengdene som genereres og den begrensede lagringsplassen på fartøy/lekter vil i de fleste tilfeller pumping til land av muddermassene bli foretrukket. Et typisk svakt punkt i mudringsoperasjonen er når gitteret tilstoppes og utstyret må løftes opp for rengjøring og da kan også en del sedimenter renne ut fra sugesiden.

Metoden er egnet for løse masser (ikke klebrige). Vanddybden er begrenset til lengden på den faste armen. Hvis utstyret er festet til vaier kan det mudres på større vanddyp men dette krever stor pumpekapasitet.



Figur 7. Pumpe for sugemudring (www.damen.nl)



Figur 8. Sugemudringsutstyr montert på en gravemaskin på lekter (Haakonssvern, Bergen, NCC)



Faktarute sugemudring	
Kapasitet	Antydningvis 50-200 m ³ /time (in situ volum).
Vannndyp	15-20 m (fast arm)
Nøyaktighet	+/- 10 cm i vertikalledd og +/- 10 cm i horisontalledd for fast arm.
Masser som kan mudres	Løse masser. Grus (avhengig av kornstørrelse), sand, silt, leire (ikke klebrig leire). Meget sårbar for skrot på bunnen.
Spredning/Oppvirvling	Litt spredning må påregnes når massene suges opp fra bunnen (mellom bunn og sugemunnstykke) men spredningen er normalt mindre enn ved mekanisk mudring (bakgraver/grabb). Den store fordelene med henblikk på spredning med denne metoden er at massene tas til overflaten i et lukket rør. Metoden er utsatt for spredning når ting setter seg fast i sugehodet og det må løftes gjennom vannmassen opp til fartøyet.
Vanninnhold/Avvanning	Metoden tilfører svært mye ekstra vann utover in situ volum, ca. 10-20 ganger in situ volum. Typisk kan slike masser inneholde 90-95 % vann. I de fleste tilfeller er det behov for avvanning før en kan foreta videre disponering.



3.3 Mekanisk-hydrauliske metoder

Mekanisk-hydraulisk mudring er en kombinasjon hvor massene løses opp mekanisk og siden suges (pumpes) opp hydraulisk fra sjøbunnen til land eller til fartøy/lekter.

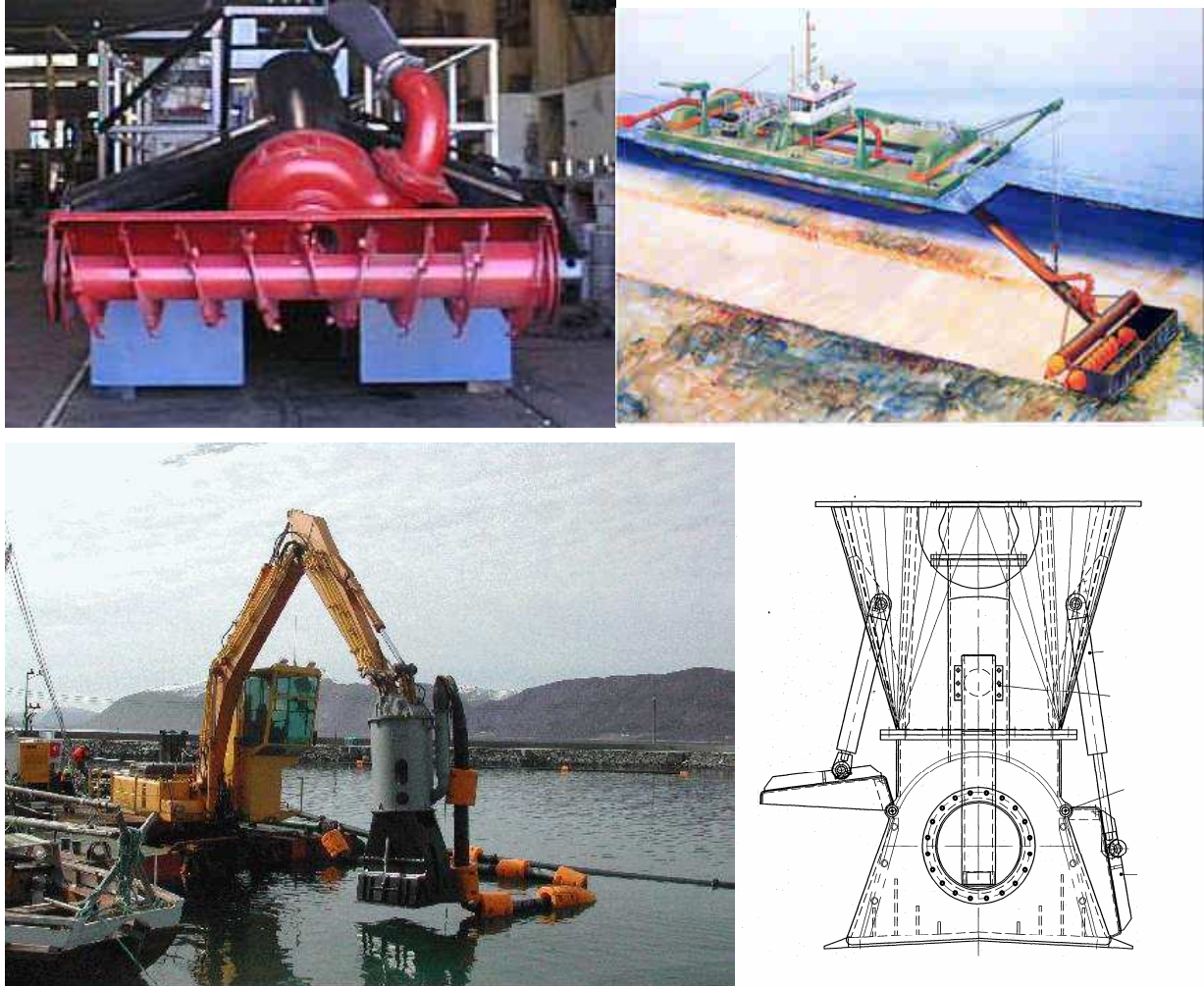
Mekanisk-hydrauliske metoder for mudring av forurenset sjøbunn som vurderes å kunne være aktuelle for norske forhold er:

- Horisontal auger
- Kuttersuger
- Disk kutter

3.3.1 Horisontal auger

En horisontal auger fjerner sedimentene med en horisontal (roterende) skrue som er laget slik at massene blir skjøvet mot midtpunktet av skruen. Ved midtpunktet finnes det en pumpe som suger opp massene og de transporteres via et rør til lekter eller direkte til land. Armen som augeren er montert på kan dreies slik at en får dekket et mest mulig stort område før fartøyet må flyttes. På mudringsfartøyer med horisontal auger er det ikke lagringskapasitet for muddermasser på selve fartøyet. For å minimere spredning finnes det også horisontale augere med et visir (lokk) som kan felles ned over skruen under selve mudringen (se Figur 9).

Metoden er egnet for sjøbunn som er relativt jevn og myk og ikke inneholder store steiner og søppel. Vanddybden er begrenset til lengden på den faste armen.



Figur 9. Øverst til venstre: Horizontal auger (www.dredge.com) Øverst til høyre: Prinsipp for mudringsfartøy med horisontal auger festet til en fast arm (www.dredge.com) Nederst: (høyre og venstre): Horizontal auger med beskyttende lokk som lukkes på motsatt side av sugesiden for å minimere spredning ved miljømudring (Secora)



Faktarute horisontal auger	
Kapasitet	Lite brukt i Norge men brukt i flere prosjekter i Sverige bl.a. ved miljømudring i Örserumsviken. Kapasiteten var 25-50 m ³ /time (in situ volum) når fiber og gytje ble mudret i Örserumsviken.
Vanddyb	Ned til ca. 15 m. Det må være minimum ca. 0,5 m vanddyb for at utstyret skal kunne brukes.
Nøyaktighet	+/- 10 cm i vertikalledd og +/- 15 cm i horisontalledd. Ikke egnet for ujevn bunn og områder med stein og søppel.
Masser som kan mudres	Homogene masser (sand, silt, leire).
Spredning/Oppvirvling	Miljømudring bør foregå med visir (lokk) over skruen. Noe spredning må uansett påregnes når massene fjernes mekanisk fra bunnen med skruen men i den påfølgende delen når massene pumpes opp i et lukket rør til overflaten vil det ikke være noen spredning. Spredningen fra en slik kombinert mekanisk-hydraulisk metode vil derfor normalt være større enn fra en ren hydraulisk metode men mindre enn fra en ren mekanisk metode. Metoden er utsatt for spredning når ting setter seg fast i skruen og den må løftes gjennom vannmassen opp til overflaten.
Vanninnhold/Avvanning	Metoden tilfører mye ekstra vann utover in situ volum, ca. til 3-5 ganger in situ volum, typisk kan slike masser inneholde 70-90 % vann. I de fleste tilfeller er det behov for avvanning før det kan foretas videre disponering.

3.3.2 Kuttersuger

En kuttersuger består av et roterende kutterhode montert på en sugestige (arm) festet til selve mudringsfartøyet. Kutterhodet løser opp massene på bunnen ved at hodet roteres og armen som hodet er montert føres horisontalt i en halvsirkelbevegelse langs bunnen. Kutterhodet sitter ved enden av et rør tilkoblet en pumpe som suger opp massene og transporterer dem via rør til fartøy/lekter eller direkte til land.

Metoden er ikke så kritisk for ujevn bunn som auger men er følsom for sjøbunn som inneholder store steiner og søppel. Vanddybden er begrenset til lengden på den faste armen.



Figur 10. Kutterhode (foto til venstre fra www.dredgebrokers.com og foto til høyre fra www.kogsubic.com)

Faktarute kuttersuger	
Kapasitet	Ikke brukt i Norge til miljømudring. Kapasitet 50-400 m ³ /time (in situ volum).
Vanddyb	Ned til ca. 15-20 m. Det må være minimum ca. 1 m vanddyb for at utstyret skal kunne brukes.
Nøyaktighet	+/- 15 cm i vertikalledd og +/- 15 cm i horisontalledd. Ikke egnet for sjøbunn med stein og søppel.
Masser som kan mudres	Lettere lagrede masser og i løsmasser (grus, sand, silt, leire). Kutterhodet brukes til å løse opp massene.
Spredning/Oppvirvling	Miljømudring bør foregå med et fast lokk over kutterhodet. Noe spredning må uansett påregnes når massene fjernes mekanisk fra bunnen med kutterhodet men i den påfølgende delen når massene pumpes opp i et lukket rør til overflaten vil det ikke være noen spredning. Spredningen fra en slik kombinert mekanisk-hydraulisk metode vil derfor normalt være større en fra en ren hydraulisk metode men mindre enn fra en ren mekanisk metode. Metoden er utsatt for spredning når ting setter seg fast i kutterhodet og den må løftes gjennom vannsøylen opp til overflaten.
Vanninnhold/Avvanning	Metoden tilfører svært mye ekstra vann utover in situ volum, typisk opp til 10-20 ganger in situ volum, slik at massene inneholder 90-95 % vann, dvs. omtrent det samme som ved sugemudring. I de fleste tilfeller er det behov for avvanning før en kan foreta videre disponering.

TEKNISK RAPPORT

3.3.3 Disk kutter

En disk kutter består av et roterende horisontalt skovlhjul med blader montert på en sugestige (arm) festet til selve mudringsfartøyet. Det roterende skovlhjulet løser opp massene på bunnen ved at hjulet roteres og armen som hjulet er montert på føres horisontalt i en halvsirkelbevegelse langs bunnen. I sentrum av skovlhjulet sitter et rør tilkoblet en pumpe som suger opp massene og disse transporteres via et rør til lekter eller direkte til land.



Figur 11. Disk kutter (Boskalis, G. Hoogewerff)

Metoden er egnet for sjøbunn som er relativt jevn og myk og ikke inneholder store steiner og søppel. Vanddybden er begrenset til lengden på den faste armen.

Faktarute disk kutter	
Kapasitet	Ikke brukt i Norge. Kapasitet antatt å være i samme størrelsesorden som for horisontal auger dvs. 25-50 m ³ /time (in situ volum).
Vanddyb	Ned til ca. 15 m. Det må være minimum ca. 1-2 m vanddyb for at utstyret skal kunne brukes.
Nøyaktighet	+/- 10 cm i vertikalledd og +/- 15 cm i horisontalledd. Ikke egnet for ujevn bunn og områder med stein og søppel.
Masser som kan mudres	Homogene masser (sand, silt, leire).
Spredning/Oppvirvling	Noe spredning må påregnes når massene kuttet mekanisk på bunnen med det roterende skovlhjulet men i den påfølgende delen når massene pumpes opp i et lukket rør til overflaten vil det ikke være noen spredning. Spredningen fra en slik kombinert mekanisk-hydraulisk metode vil derfor normalt være større en fra en ren hydraulisk metode men mindre enn fra en ren mekanisk metode. Metoden er utsatt for spredning når ting setter seg fast i skovlhjulet og det må løftes gjennom vannmassen opp til overflaten.
Vanninnhold/Avvanning	Metoden tilfører mye ekstra vann utover in situ volum, antatt ca. 3-5 ganger in situ volum, massene kan antas inneholde ca. 70-90 % vann. I de fleste tilfeller behov for avvanning før en kan foreta videre disponering.



3.4 Mudring av forurenset sjøbunn på store vanddyp

Det er i den senere tid blitt økende fokus på å få frem teknologier for å kunne sanere forurenset sjøbunn som ligger på store dyp. Store vanddyp er ikke et nøyaktig begrep men i denne rapporten vil det være hensiktsmessig å si at dyp over 50 m er store vanddyp.

Norge er et av de ledende landene innen teknologiutvikling for mudring på store dyp. Hovedårsaken til dette er olje- og gassinstallasjonene i Nordsjøen, hvor de fleste ligger i områder med vanddyp mellom 50 til 500 m. Frem til i dag har det fremst vært mudringsbehov for å kunne flytte masser på sjøbunnen. På sikt vil det også kunne være behov for å mudre for å dekke til forurensede masser (for eksempel kakshauger) rundt installasjoner eller hente opp massene fra sjøbunnen og frakte dem til land. Det finnes også skipsvrak som forårsaker forurensning av sjøbunnen hvor det kan være behov for mudring for å få fjernet de forurensede massene. Et aktuelt eksempel er vraket fra den tyske ubåten U-864 som ligger på 150 m dyp utenfor Fedje med en last av 65 tonn kvikksølv som har forurenset sjøbunnen.

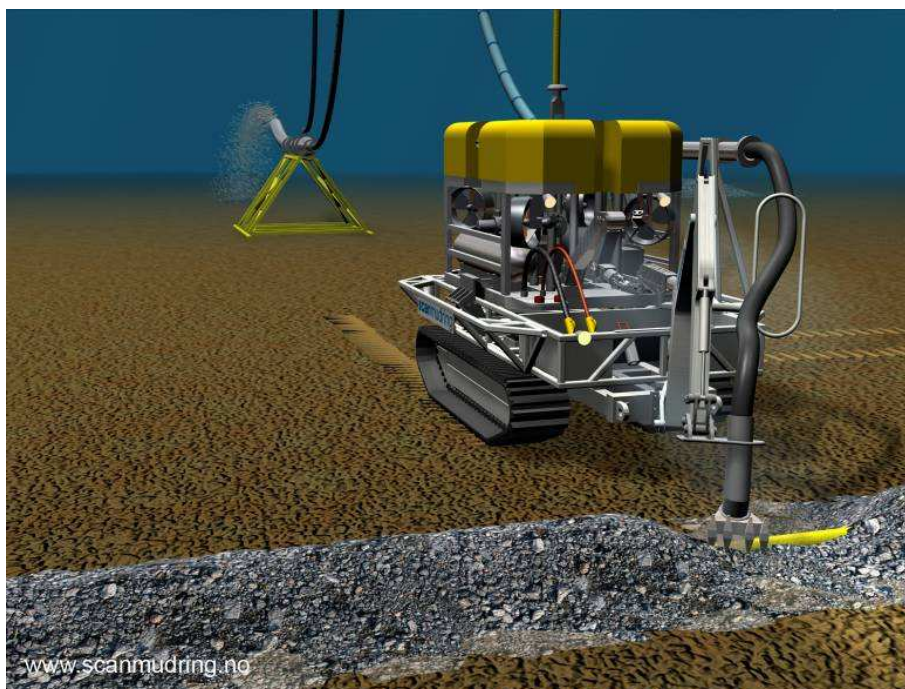
De teknologier som er beskrevet tidligere i denne rapporten er lite egnet for mudring på store vanddyp, mudring fra et skip på sjøoverflaten vil bli både for unøyaktig og komplisert i de fleste tilfeller.

For denne typen arbeider er det undervannsbasert utstyr som arbeider på sjøbunnen som vil være egnet for mudring.

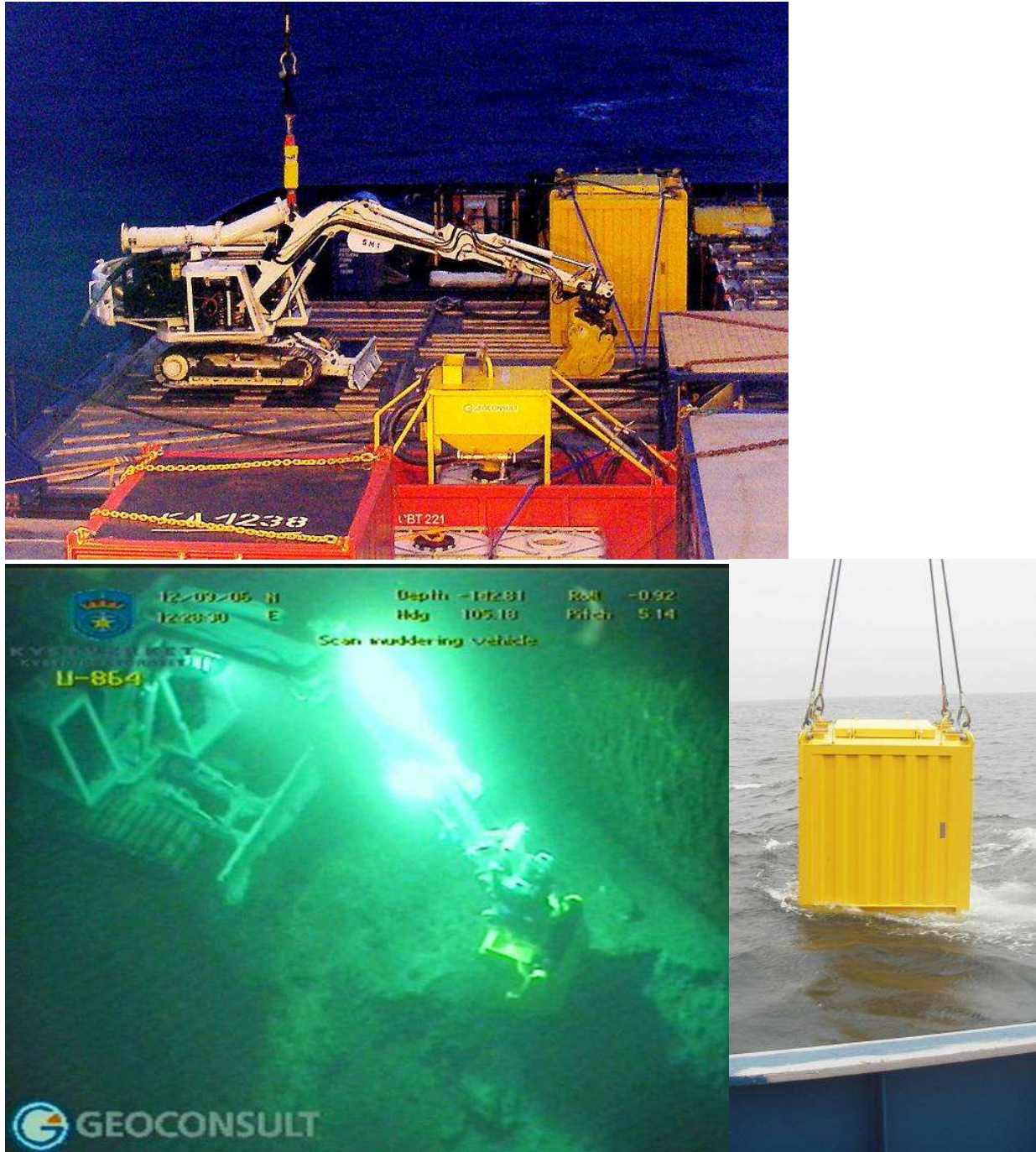
Selve mudringsmetoden kan være sugemudringsutstyr montert på ROV (fjernstyrt undervannsfarkost) eller noen type av graveaggregat (bakgraver). Selve prinsippet for disse metodene er beskrevet i foregående kapitler.

Skal massene tas opp på et fartøy kan de for eksempel plasseres i en container som er plassert på sjøbunnen og løftes opp på fartøyet når den er full, eller at massene pumpes via et rør opp til fartøyet eller til land.

Faktarute mudring på dypt vann	
Kapasitet	For mudring av forurenset sjøbunn, antydningvis 1 m ³ /time (in situ volum). Det er muligheter for å øke kapasiteten med større og kraftigere utstyr.
Vanddyb	1 000 m. Det er dette for eksempel Scanmudring dimensjonerer for i dag. Mulig å utforme utstyret også for større dyp.
Nøyaktighet	Styres via ROV (fjernstyrt undervannsfarkost). Liten erfaring med nøyaktighet for mudring av forurenset sjøbunn, antas mulig å oppnå +/- 10 cm i vertikalledd og +/- 10 cm i horisontalledd.
Masser som kan mudres	Graving: Grus, sand, silt, leire. Sugemudring: Grus (avhengig av pumpekapasitet) , sand, silt, leire (ikke kohesiv). Hvis beltegående utstyr brukes må sjøbunnens bæreevne være tilstrekkelig.
Spredning/Oppvirvling	Noe mer spredning må påregnes ved graving (mekanisk) enn ved sugemudring (hydraulisk). Mulighet for spredning hvis massene skal overføres til container som står på bunnen, mindre spredning hvis de pumpes rett opp på fartøy.
Vanninnhold/Avvanning	Ved graving: Ca. 10-30 % ekstra vann utover in situ volum. Behov for avvanning er begrenset og for de fleste disponeringsløsninger er det ikke behov for et ekstra avvanningstrinn. Ved sugemudring: Mye ekstra vann utover in situ volum, ca. 10-20 ganger in situ volum, typisk kan slike masser inneholde 90-95 % vann. I de fleste tilfeller behov for avvanning før en kan foreta videre disponering.



Figur 12. Fjernstyrt beltegående sugemudringsutstyr for store vanddyb (Scanmudring, Norge)



Figur 13. Fjernstyrt beltegående gravemudringsutstyr for store vanddyb. Over: Gravemudringsutstyret på dekk på fartøy. Nedenfor: Gravemudringsutstyret under arbeid og container hvor massene fylles i og løftes opp på fartøyet (Kystverket)



Et utviklingsprosjekt for mudring av meget klebrige kreosotholdige masser pågår ved Gilhusbukta ved Lierstranda. Den valgte løsningen består av en slede som trekkes med vaiere langs sjøbunnen fra land. Bruken av vaiere gjør det mulig å bruke utstyret for større vanddybder. Selve mudringen foregår ved at massene løsnes ved høytrykkspyling inne i et kammer og de pumpes til et sedimentasjonsbasseng på land. Evaluering av prosjektet gjenstår.



Figur 14. Mudringsutstyr brukt ved Gilhusbukta, Lier for å mudre klebrige kreosotholdige masser (Seabed Services)



4 VURDERING AV MILJØMUDRINGSMETODER FOR NORSKE FORHOLD

I dette kapitlet vurderes tre typiske tilfeller av mudring i forurenset sjøbunn i Norge:

- Fjerning av forurenset sjøbunn i havner
- Fjerning av forurenset sjøbunn i fjorder
- Byggeprosjekter i sjø hvor fjerning av forurenset sjøbunn er en del av byggeprosessen

For hvert av disse tilfellene er det beskrevet spesielle utfordringer, tiltak mot spredning, anbefalt metode for miljømudring og disponeringsløsninger.

4.1 Fjerning av forurenset sjøbunn i havner

En rekke havner i Norge har kostholdsråd i hele eller deler av havnen. Det er aktuelt med opprydding i forurenset sjøbunn i flere havner.

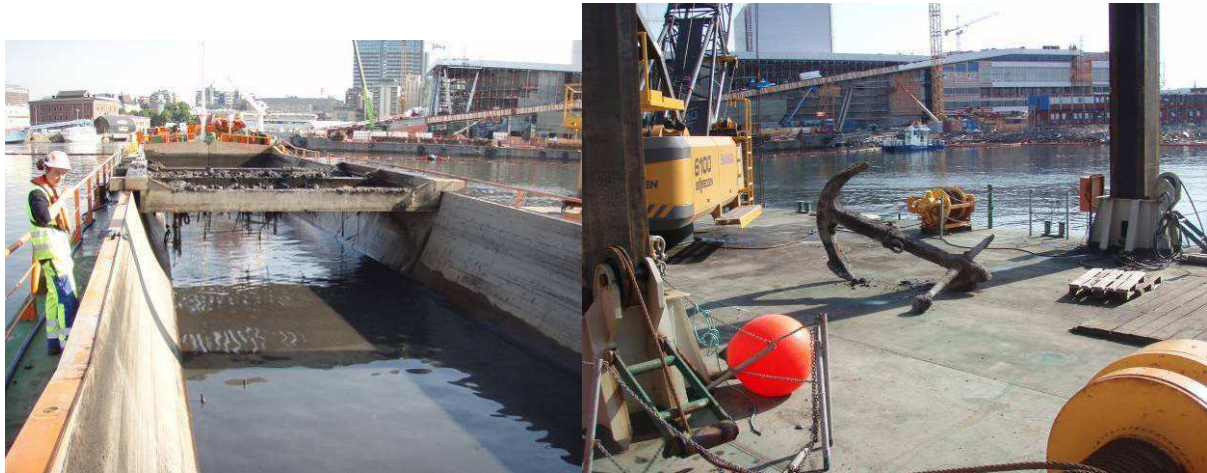
4.1.1 Utfordringer

Arkeologi

I flere havner finnes det kulturminner som det må tas hensyn til ved mudringsarbeider. Det betyr at arbeidet må overvåkes av sjøfartsmuseet (som forvalter kulturminneloven) og mudringsarbeider må gjennomføres på en slik måte at de ikke skader gjenstander av historisk verdi (se <http://www.sft.no/publikasjoner/vann/1979/ta1979.pdf>, side 43). Slike gjenstander er normalt dekket av sedimenter og svært vanskelig å kartlegge på forhånd. Mudringsmetoden må tilpasses til mulige funn av arkeologiske gjenstander, dvs. at metoder med pumper og/eller kuttere ikke bør velges. I Bjørvika er det valgt å bruke mekaniske metoder (bakgraver og grabb) for å ikke ødelegge arkeologiske funn. Med mekaniske metoder kan en ta opp sedimentene og legge massen på en rist over en lekter hvor arkeologen kan besiktige massene for å skille ut gjenstander av arkeologisk interesse. Det er selvfølgelig en mulighet for at en skader de arkeologiske gjenstandene når de fjernes fra bunnen med mekaniske metoder, men dette er så langt den beste tilgjengelige metoden for å håndtere dette ved mudring.

Skrot

I alle havneområder (også skipsverft) hvor det er lenge siden det er mudret ligger det større eller mindre mengder skrot på sjøbunnen. Skrot er til hinder for mudring, kan forårsake økt spredning og kompliserer også disponering av massene etter mudring. Erfaring viser at det er vanskelig å få ryddet all skrot i forkant av mudringen fordi skrotet ligger til dels nede i sedimentene. Det vil derfor i de fleste tilfeller være enklest å utføre fjerning av skrot som en del av mudringen. Det betyr at en må bruke mekaniske mudringsmetoder som bakgraver og grabb som både kan ta opp skrot og fjerne sedimenter. Ved hydraulisk og mekanisk-hydraulisk mudring må en først rydde sjøbunnen for synlig skrot. Under mudringen vil det oppstå stopp for å fjerne skrot som ligger under overflaten. Skrot vil sette seg fast i sugemunnstykke (kutter, augerskrue etc.) og i pumpene.



Figur 15. Venstre: Rist for utsortering av arkeologiske gjenstander. Høyre: Arkeologisk funn (Bjørn Nygård, Bjørvikaprojektet, Oslo)

4.1.2 Tiltak mot spredning

Ved miljømudring virvles det opp sedimenter og miljøgifter spres med sedimentene. Det finnes forskjellige tiltak for å redusere spredning ved miljømudring. En metode er utplassering av siltgardiner som plasseres rundt mudringsområdet. I havner er dette sjelden ønskelig fordi skipstrafikk må opprettholdes under arbeidene. I noen tilfeller er dette løst ved at siltgardinen åpnes og lukkes for skipstrafikk. Erfaringsmessig ødelegges siltgardinen relativt raskt ved hyppig åpning og lukking på grunn av den mekaniske belastningen. I tillegg vil det ved hver åpning spres forurensede masser ut gjennom åpningen samt at forurensninger vaskes av fra gardinen. En bedre løsning er å ta massene direkte på land (via rør eller lekter på innsiden av siltgardinen) istedenfor å måtte åpne siltgardinen hver gang muddermasser skal transportere ut. Siltgardin er følsom for strøm og tidevann som vil løfte gardinen og gi spredning under gardinen (se mer om siltgardiner i kapittel 5). I havner vil valg av skånsomme mudringsmetoder kombinert med et overvåkingssystem basert på grenser for miljøgiftinnhold (partikkelmengde) i vann som spres fra mudringsområdet være mer egnet enn siltgardiner.



Figur 16. Siltgardin påvirket av strøm (Geir Arne Røstum, Rambøll)

Det er i senere tid utført forsøk med boblegardiner som tiltak mot spredning i havner hvor en siltgardin i mange tilfeller er uegnet fordi den hindrer skipstrafikken, se

http://tih.no/Portals/0/pdf/pilot_Rapport_Boblegardin_m_vedlegg.pdf

En boblegardin består av perforerte rør som legges på sjøbunnen. Gjennom rørene kjøres trykkluft slik at det dannes bobler i vannsøylen. Hensikten er at luftstrømmen skal forhindre spredning av forurensede partikler fra mudringsarbeider. Metoden er fortsatt under utvikling, men bør kunne videreutvikles til et fungerende tiltak mot spredning av sediment fra mudring.



Figur 17. Uttesting av boblegardin i Trondheim havn, 2006 (Jens Laugesen, DNV)

4.1.3 Anbefalte metoder for miljømudring i havner

Tatt i betraktning utfordringer med arkeologiske funn, skrot og havnetrafikk vil det totalt sett være mest hensiktsmessig å bruke mekaniske mudringsmetoder som bakgraver og grabb. Det er disse metodene som i dag takler inhomogene masser og skrot på den beste måten. Bakgraver og grabb er også mest skånsomme overfor kulturminner fordi de kan tas opp som større gjenstander. Det er vesentlig at de spredningshindrende tiltak som finnes iverksettes (bakgraver med lokk, grabb som kan lukkes, overvåking av spredning).

I fremtiden kan en tenke seg flere tiltak for å forbedre miljømudring i havner:

- Fortsatt utvikling av nye mer miljøvennlige mudringsteknologier som gir mindre spredning
- Et ekstra trinn med sugemudring etter mekanisk mudring hvor skrot er fjernet



4.1.4 Disponeringsløsninger

Alle havner i Norge har problemer med å få disponert forurensede muddermasser.

Løsninger som finnes i dag er:

- Gruntvanns- eller dypvanndeponier
- Strandkantdeponier
- Renseteknologi
- Levering til godkjent deponi på land

Et problem som ofte oppstår er at det finnes gjenstander i muddermassene, som for eksempel metallavfall, tømmer, plastikkavfall etc. som ikke kan disponeres på samme sted som sedimentene. Dette gir behov for et ekstra sorteringstrinn og dette er mange ganger glemt bort i beskrivelsen av mudringsarbeidet.

4.2 Fjerning av forurenset sjøbunn i fjorder

En rekke fjorder i Norge har kostholdsråd i hele eller deler av fjorden. Det er aktuelt med opprydding i forurenset sjøbunn i flere av fjordene.

4.2.1 utfordringer

Forurensning som spres til fjorder vil særlig sedimentere i de dypeste områdene. I noen tilfeller vil det også være behov for å sanere forurensning som ligger på store dyp. Årsaken kan for eksempel være at forurensningen utgjør en så stor fare for miljøet at den må fjernes.

Mudring på store vanddyper tar lengre tid og stiller ekstra krav til nøyaktig posisjonering. Fartøyet som utfører mudringen har normalt ikke forankringsmulighet slik at dynamisk posisjonering må brukes (holde seg i posisjon ved hjelp av propeller).

Ved store vanddyper har de forurensede massene en lang transport gjennom vannsøylen før de kommer til overflaten. Det er derfor vesentlig at massene transporteres i en mest mulig tett beholder/rør til overflaten.

4.2.2 Tiltak mot spredning

Ved store vanddyper vil spredningen være lokal ved bunnen og tiltak mot spredning kan konsentreres til dette området i tillegg til at det sikres mot spredning når massene løftes opp.

I praksis er det ikke mulig å bruke siltgardiner og lignende fysiske hindringer på store dyp. Da må det velges en mudringsmetode som gir liten spredning.

I grunnere områder av fjorder kan utplassering av siltgardin være en mulighet, men med de samme begrensninger som er nevnt for havner.



4.2.3 Anbefalte metoder for miljømudring i fjorder

Ved store vanddyb (>50 m) vil det være aktuelt å bruke undervannsbasert utstyr for mudringen av forurensede masser. Slikt utstyr er under utvikling (og til dels allerede utviklet), se kapittel 3.4. Alternativt kan også tradisjonelt utstyr som for eksempel grabb eller sugemudringsutstyr brukes på store vanddyb hvis det er utstyrt med posisjoneringsutstyr plassert på selve grabben/sugehodet.

I fjorder (utenfor havneområder) er det mer aktuelt med hydrauliske mudringsmetoder (sugemudring) fordi det er mindre sannsynlig at en treffer på hindringer i form arkeologiske funn og skrot. Områder med større gjenstander av arkeologisk interesse og skrot kan inspiseres med ROV (Remote Operated Vehicle, fjernstyrt undervannsfarkost) før arbeidet starter. Sugemudringen vil generere store vannmengder, utfordringer knyttet til avvanning av muddermasser er beskrevet i kapittel 6.

4.2.4 Disponeringsløsninger

Disponeringsløsninger for forurensede masser fra fjorder vil være de samme som de som er nevnt i kapittel 4.1.4.

4.3 Byggeprosjekter i sjø hvor fjerning av forurenset sjøbunn er en del av byggeprosessen

Ved mange byggeprosjekter i sjø hvor mudring inngår vil hele eller deler av sjøbunnen være forurenset.

4.3.1 Utfordringer

Koordinering med øvrige arbeider

Når fjerning av forurenset sjøbunn er en del i en byggeprosess så vil mudringsdybden være gitt av prosjektets behov. Det kan bety at når en er kommet ned på prosjektert mudringsdybde så er bunnen fortsatt forurenset. Da kan det være aktuelt å tildekke bunnen med rene masser.

Bygging i sjø kan for eksempel innebære ramming av peler, spunt etc. som kan føre til spredning av forurenset sjøbunn.

Tidspress

Byggeprosjekter kan være under sterkt tidspress og det kan være vanskelig å unngå mudringsarbeider i perioden 15. mai til 15. september hvor det normalt ikke gis tillatelse til mudring, spesielt når sjøbunnen er forurenset.

I tillegg gjelder det samme om arkeologi og skrot som er beskrevet for miljømudring i havner i kapittel 4.1.1.

4.3.2 Tiltak mot spredning

Mudringen bør sluttføres før øvrige sjøarbeider som kan spre forurensning starter opp. Når mudringen er avsluttet kan det legges en geotekstil med et sandlag over. Geotekstilen vil



beskytte mot oppvirvling når for eksempel peler og spunt skal rammes. Peler og spunt lager et lokalt hull i duken hvor de går igjennom duken men den vil fortsatt beskytte mot spredning.

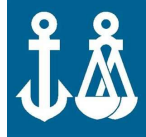
En siltgardin kan i noen tilfeller være et ytterligere beskyttende tiltak under pæling og ramming av spunt.

4.3.3 Anbefalte metoder for miljømudring i forbindelse med byggeprosjekter

Metoden må tilpasses det som skal fjernes. Ved utfordringer med arkeologiske funn, skrot og båttrafikk vil det totalt sett være mest hensiktsmessig å bruke mekaniske mudringsmetoder som bakgraver og grabb ved de fleste byggeprosjekter. Det er vesentlig at de spredningshindrende tiltak som finnes iverksettes (bakgraver med lokk, grabb som kan lukkes, overvåking av spredning, eventuelt også bruk av siltgardin).

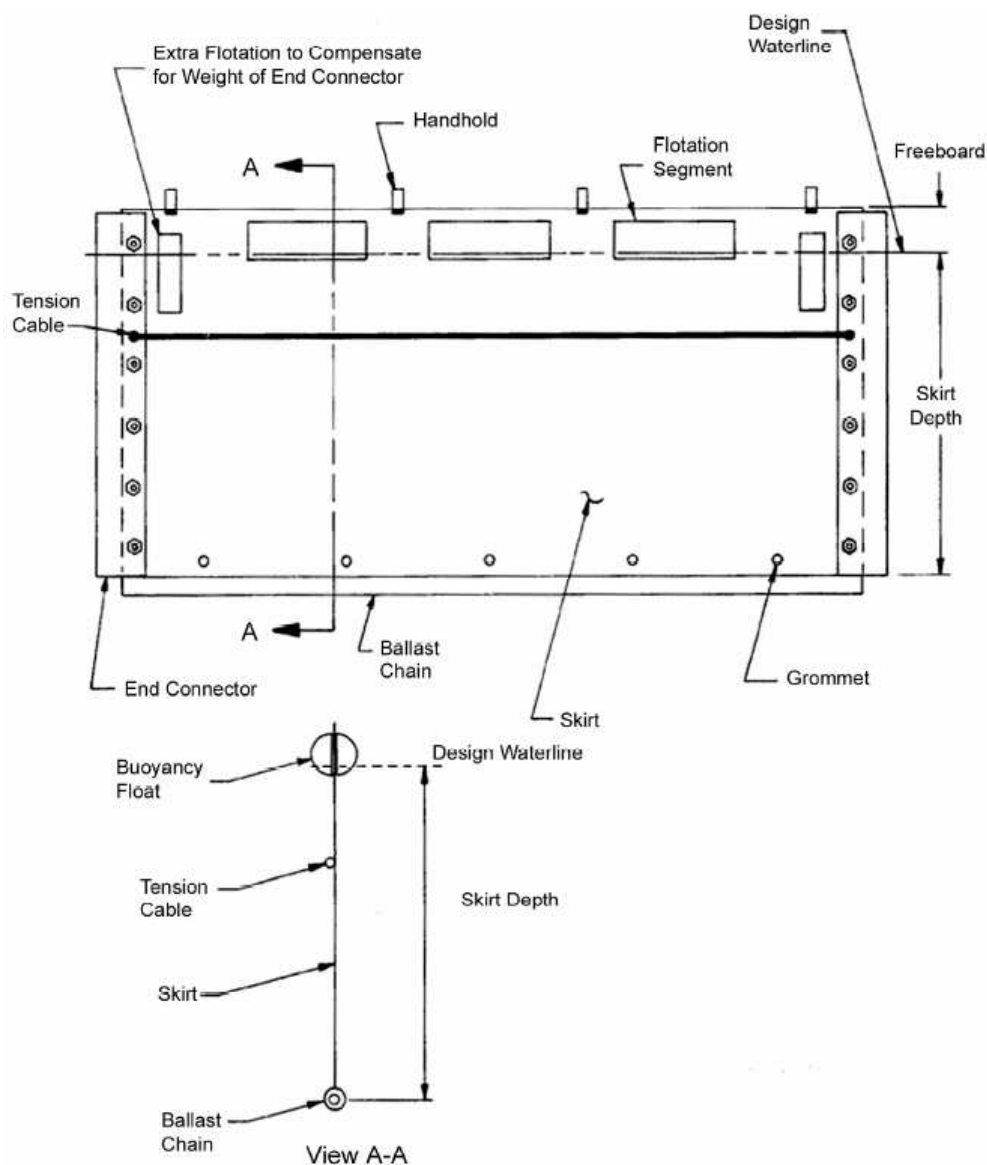
4.3.4 Disponeringsløsninger

Disponeringsløsninger for forurensede masser fra byggeprosjekter i sjø vil være de samme som de som er nevnt i kapittel 4.1.4.


DNV

5 BRUK AV SILTGARDINER

Et tiltak som brukes eller foreslås brukt i mange miljømudringsprosjekter er siltgardiner. En siltgardin er kort beskrevet en duk av geotekstil som plasseres vertikalt i vannet med flyteelementer på toppen og lodd i bunnen. Fiberduken er en vevd duk med åpninger hvor hensikten er at vannet kan passere men ikke partikler. I realiteten har duken en åpning som også gjør det mulig for fine partikler å passere. En typisk siltgardin laget av fiberduk har åpninger (porestørrelse) som er ca. 0,1 til 0,2 mm som tilsvarer kornstørrelsen til en fin sand.



Figur 18. Prinsippskisse for mulig utforming av siltgardin (fra <http://el.ercd.usace.army.mil/elpubs/pdf/doere21.pdf>)

TEKNISK RAPPORT

For at en siltgardin skal fungere må det ikke være for sterk strøm og den må kunne stå uten å måtte åpnes og lukkes. Erfaringsmessig vil en siltgardin ikke kunne stå i vann som strømmer vinkelrett på duken samtidig som den skal stoppe partikkeltransport.

Over tid vil åpningene i en siltgardin tettes av de partikler den holder igjen slik at vannet ikke lenger kan passere gjennom duken. Videre er siltgardinen utsatt for begroing. Dette medfører at duken øker i vekt og risikerer å synke, permeabiliteten forsvinner og duken mister sin funksjon. Hvis en bruker siltgardin, må den følges opp nøye og skiftes ut med ny når den ikke fungerer lenger.

Siltgardin kan ikke brukes alene som spredningskontrollerende tiltak ved miljømudring, da den er utsatt for fysiske påvirkninger. Spesielt i områder med sterk strøm, tidevann, skipstrafikk og generelt mange aktiviteter er den uegnet.

Hvis siltgardin skal brukes, må den kombineres med andre tiltak som skånsom mudring og overvåking av turbiditet.



Figur 19. Siltgardin under produksjon i pilotprosjektet i Sandefjord. Flytere er sydd inn på toppen av gardinen (til høyre) og kjetting som skal fungere som lodd skal sys inn (til venstre).

En mer interessant bruk kan være å bruke siltgardin til å beskytte omkringliggende områder som en spesielt ønsker å beskytte mot spredning fra mudringsarbeidene. Dette kan for eksempel være rene områder.



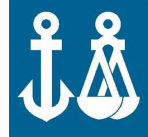
6 AVVANNING AV FORURENSEDE MASSER ETTER MUDRING

Miljømudring genererer så store vannmengder at det blir behov for avvanning av muddermassene før videre disponering (deponering, stabilisering, biologisk behandling etc.). Dette gjelder spesielt de hydrauliske og hydraulisk-mekaniske mudringsmetodene. Aktuelle avvanningsmetoder kan være:

- Avvanningsanlegg (mekanisk avvanning)
- Avvanning med geotekstilposer
- Avrenning via filter til sjø
- Avdamping

6.1 Avvanningsanlegg (mekanisk avvanning)

Et avvanningsanlegg ligner i stor grad på et kloakkrenseanlegg. Massene fra mudringen pumpes normalt inn i anlegget hvor de først passerer en grov rist for å fjerne store gjenstander og søppel. Tilsetning av flokkulanter er aktuelt i mange tilfeller for å oppnå en bedre sedimentasjon i sedimenteringsbassenget. Vann fra sedimenteringsbassenget går igjennom ytterligere ett eller to rensetrinn (for eksempel sandfilter og siden aktivt karbonfilter) før det kan slippes tilbake til sjø. Den sedimenterte massen i sedimenteringsbassenget vil i de fleste tilfeller gå til en filterpresse hvor vann presses ut slik at sedimentene ligner på en "filterkake" med et tilsvarende vanninnhold som de hadde in situ (eller enda lavere). Filterkaken (den forurensede massen) kan siden deponeres eller behandles ytterligere. Erfaringsmessig er det svakeste leddet selve filterpressen, hvor det kan komme inn uønskede gjenstander som ødelegger pressen og gir stopp i avvanningen. For de fleste mudringsprosjekter vil fremdriften på avvanningsanlegget være styrende for prosessen. For eksempel ble det brukt et avvanningsanlegg i prosjekt Örserumsviken (www.vastervik.se/templates/VVKommun_Page.aspx?id=4029), her ble det mudret ca. 8 timer pr. dag (ca. 750 m³ muddermasser inkl. vann) som det siden tok 24 timer for anlegget å avvanne (anlegget gikk døgnet rundt). I tillegg til at det er tidskrevende er også slik avvanning kostbar (i størrelsesorden 200-400 kr/m³ volum muddermasser til avvanning).



Figur 20. Avvanningsanlegg for masser mudret med horisontal auger i Örserumsviken, Sverige (Geir Arne Røstum, Rambøll)



Figur 21. Filterpresse i avvanningsanlegg for masser mudret i Örserumsviken, Sverige (Geir Arne Røstum, Rambøll)

6.2 Avvanning med geotekstilposer

En kombinert metode for avvanning og deponering er å plassere muddermassene i poser laget av geotekstiler. Posene har en filteråpning som gjør det mulig for vannet å passere samtidig som (de fleste) partiklene holdes tilbake.



Figur 22. Geotekstilpose for muddermasser

Denne metoden er bl.a. brukt i Norge i Kristiansund og i Sandefjord. I Kristiansund ble posene fylt når de lå på en lekter og siden senket ned på sjøbunnen og fiberduk og et gruslag ble lagt over. I Sandefjord ble de tomme posene plassert på sjøbunnen og fylt med muddermasser via et rør som gikk opp til vannoverflaten og til slutt ble posene tildekket med fiberduk og sand.



Figur 23. Påfyllingsrør til geotekstilpose som ligger på sjøbunnen i Sandefjord (Geir Arne Røstum, Rambøll)



I Sverige er det nylig brukt geotekstilposer i et større saneringsprosjekt ved Svartsjøarna. Her ble det etablert et deponi på land med oppsamling av drens vann fra geotekstilposene. Posene ble plassert og fylt inne deponiet og lagt lagvis. Drensvannet fra filterposene gikk via et vannrensingsanlegg før det gikk tilbake til sjø.



Figur 24. Prosjekt Svartsjøarna. Øverst til venstre: Klargjøring av bunn i deponiet. Øverst til høyre: Rensing av vann fra deponi. Nederst: Utplassering og fylling av geotekstilposer (fra http://www.hultsfred.se/templates/Page_2231.aspx)

Ulempen med utplassering av geotekstilposer på sjøbunnen som i Kristiansund og Sandefjord er at en har begrenset mulighet for å kontrollere hva som kommer ut. Dette kan for eksempel løses ved å ta posene på land i et deponi med tett bunn og innsamling og kontroll av sigevannet slik som ved Svartsjøarna.

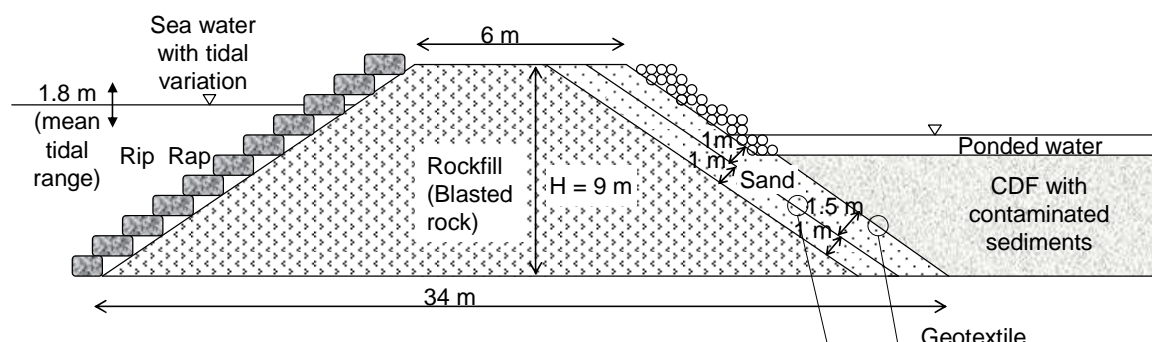
6.3 Avrenning via filter til sjø

Hvis muddermassene skal deponeres i et strandkantdeponi, kan sjeteen (voll mot sjøen) til deponiet lages som et filter slik at overskuddsvann fra deponiet går tilbake til sjøen via filteret.

Slike deponier finnes i Norge ved for eksempel Haakonsvern i Bergen, Kongsgårdbukta i Kristiansand og i Trondheim havn. Metoden er også mye brukt i utlandet.



Figur 25. Strandkantdeponi med filter som slipper overskuddsvann tilbake til sjø, Kongsgårdbukta, Kristiansand (Tor Kviljo, Terrateknikk)



Figur 26. Eksempel på filter i strandkantdeponi i Trondheim havn. CDF står for Confined Disposal Facility (Jens Laugesen, DNV)



En annen metode som har vært utprøvd er å etablere en avvanning med sandfilter og fiberduk rett ved mudringsstedet. Her kan for eksempel en lekter brukes med filterduk i bunn dekket av et filterlag av sand.

Ulempen med avvanning via filter til sjø er at en har begrenset kontroll med hva som går gjennom filteret og ut til sjø. Det betyr at dette må testes ut på forhånd før en utfører filtreringen i fullskala.

6.4 Avdamping

I varmere strøk er det også mulig å plassere muddermassene i en stor dam hvor vannet får dampe av. Dette kan brukes når muddermassene er forurenset av partikkelbundne stoffer med liten avdamping. I Norge hvor det er stor nedbør og langsom avdamping er dette en lite egnet metode.



7 KOSTNADER

Det som først og fremst skiller miljømudring fra anleggsmudring og vedlikeholdsmudring er de store kostnadene for disponeringen av de forurensede massene når de er mudret.

De viktigste faktorene som påvirker kostnaden for miljømudring er:

- Forurensningsgrad av massene – Meget forurensede masser gir økt kostnad
- Vanninnhold i mudret masse – Høyt vanninnhold gir økt kostnad fordi det genererer store volum og behov for avvanning
- Disponeringsløsning – Har normalt størst betydning, faktorer som transportavstand, deponiavgift og krav til vanninnhold ved deponering er vesentlige
- Innblanding av fremmedlegemer som må skilles ut eller disponeres på annen måte gir økt kostnad

Mudring (bare selve mudringsoperasjonen) av forurensede masser i Norge står for 10-20 % og disponeringen av de forurensede massene står for de øvrige 80-90 % av den totale kostnaden for opptak og disponering av massene.

7.1 Kostnader for miljømudring

Kostnader for miljømudring i Norge vil normalt være i størrelsesorden 50-150 kr/ m³ (in situ volum). Når mudringskostnaden for miljømudring regnes på in situ volum, vil kostnaden være forholdsvis lik uansett miljømudringsmetode som velges.

7.2 Kostnader for disponering av forurensede masser

De mest aktuelle disponeringsløsningene i Norge i dag er:

- Levering til godkjent deponi på land
- Strandkantdeponier
- Gruntvanns- og dypvannsdeponier
- Renseteknologi

7.2.1 Levering til godkjent deponi på land

Kostnader for levering til godkjent deponi på land er helt styrt av markedet i Norge i dag og varierer derfor fra prosjekt til prosjekt. Her må også kostnader for transport til deponiet inkluderes. Kostnader for levering til godkjent deponi har i de senere årene variert fra 200-400 kr/tonn, for typiske muddermasser som leveres til deponi tilsvarende dette ca. 350-700 kr/m³. Transportkostnader varierer avhengig av avstand fra mudringssted til deponiet (25-100 kr/tonn, ca. 40-170 kr/m³). Godkjente mottak opererer normalt med pris pr tonn muddermasser som mottas, slik at hvis en leverer masser med mye vann, må en også betale for vannet. I mange tilfeller vil det være lønnsomt å avvanne muddermassene før de leveres. De fleste båter kan heller ikke frakte flytende muddermasser i bulk, fordi i kraftig sjø kan en få negative effekter på grunn av fri væskeoverflate i lasterommene som kan føre til at båten kantrer.



7.2.2 Strandkantdeponier

Kostnaden for strandkantdeponier er avhengig av for hvilken kapasitet (volum) de etableres.

Kostnader for etablering av små strandkantdeponier i Norge (<100 000 m³) har vært 150 – 300 kr/m³ muddermasser (omtrent in situ volum) som plasseres i deponiet.

I noen tilfeller kan det også være behov for å stabilisere massene i deponiet for å oppnå økt bæreevne og redusert utlekking av miljøgifter. Bindemidlene er normalt sementbasert. En slik stabilisering vil gi en tilleggskostnad på 100 – 200 kr/m³ muddermasser som plasseres i deponiet. Kostnad for eventuell overvåking kommer i tillegg.

7.2.3 Gruntvanns- og dypvannsdeponier

Kostnader for levering av forurensede muddermasser til gruntvanns- og dypvannsdeponier finnes det få erfaringer med i Norge unntatt dypvannsdeponiet ved Malmøykalven.

Generelt kan en si at økende vanddybde gir en mer krevende nedføring og økte kostnader.

Per i dag vil en kunne anta en kostnad på 100-300 kr/m³ in situ volum for deponering av forurensede muddermasser i dypvannsdeponi. For gruntvannsdeponi kan en anta at kostnaden vil være noe lavere, i størrelsesorden 50-200 kr/m³ in situ volum. Kostnad for eventuell overvåking av dypvannsdeponi/gruntvannsdeponi kommer i tillegg.

Teknologien må utvikles videre og det bør bl.a. arbeides med å effektivisere nedføringen av muddermassene.

7.2.4 Renseteknologi

Det finnes i dag en rekke renseteknologier for forurensede muddermasser. De gir enten en fullrensing eller en delvis rensing av miljøgiftene. Rensegraden vil normalt være bestemmende for prisen. Fordelen med fullrensing er at massene blir så rene at de kan brukes fritt. Er massene bare delvis rensset, så vil det være en ytterligere kostnad for avhending/deponering.

I dag ses rensing fortsatt på som et altfor kostbart alternativ. I Norge er det så langt bare utført et pilotprosjekt med våtmekanisk rensing av drøyt 2 000 m³ muddermasser i Trondheim. Dette prosjektet antydte en kostnad for slik rensing på drøyt 700 kr/m³ hvis 100 000 m³ forurensede muddermasser renses. Massene som ble rensset hadde omtrent samme volum som opprinnelig in situ volum. I renskostnaden er deponering av en forurenset restfraksjon inkludert (30 % av totalt volum) men ikke kostnad for avvanning (det var ikke behov for dette i Trondheim der mudring skjedde ved bruk av miljøgrabb).



8 VEIEN VIDERE

Det er fortsatt behov for videre utvikling av både utstyr, metoder og for studier av miljøgifters ”oppførsel” i forbindelse med miljømudring. Eksempel på oppgaver det bør arbeides videre med i Norge er:

- Behov for utvikling av kostnadseffektive miljømudringsmetoder som tar opp massene i nærmest in situ tilstand og som kan håndtere problematikk med arkeologiske funn og skrot. En utfordring er å finne miljømudringsmetoder som ikke skader arkeologiske gjenstander.
- Behov for utvikling av kostnadseffektive metoder i Norge for håndtering, sluttdisponering og avvanning av forurensede masser. Fokus bør være på de relativt små prosjekter og mengder vi har i Norge i forhold til Europa/Verden forøvrig.
- Behov for å se mer på hvordan TBT (Tributyltinn) som er mye mer vannløselig enn øvrige miljøgifter oppfører seg med de mudringsmetoder og avvanningsmetoder som finnes i dag.



Vedlegg A

Oversikt over entreprenører og utstyr for mudring av forurenset sjøbunn i Norge

Listen er laget på grunnlag av kjennskap til norske firmaer som har utført mudring av forurenset sjøbunn i senere år i Norge. Det kan finnes andre firmaer som har utført enkelte oppdrag som ikke er kommet med på listen.



TEKNISK RAPPORT

Selskap	Adresse	Oppgaver/Prosjekter	Utstyr til mudring
Skanska Norge AS (4 700 ansatte hvorav 30 personer arbeider med mudring/miljø-mudring)	Drammensveien 60 Postboks 1175 Sentrum 0107 Oslo Tel. 40 00 64 00 Fax 23 27 17 30 www.skanska.no	Entreprenør med egen avdeling for sjøarbeider. Mudring av rene og forurensede masser <i>Mudring av ren og forurenset sjøbunn for E18</i> <i>Bjørvikaprojektet</i> <i>FMV Fredrikstad</i> <i>+ mange andre</i>	3 mudderfartøyer m/kran 5 splittlektere 2 (miljø) grabber Sandpumper Pongtonger
Secora (140 ansatte)	H. Chr. Størmers gate 20/22, 8300 Svolvær Tel. 99 22 00 00 Fax 76 07 77 40 www.secora.no	Mudring av rene og forurensede masser <i>Tildekking av sjøbunn</i> <i>Mudring Oslo havn + dypvannsdeponi Malmøykalven</i> <i>+ mange andre</i>	3 lektere med bakgraver (på to av lekterne kan også utstyr til sugemudring monteres) 1 fartøy med bakgraver (m/lokk ved behov) 1 fartøy med horisontell auger og mudderpumpe 1 kombinert rigg for undervannsboring og mudring med bakgraver (m/lokk) 1 fartøy med grabb på vinsj
Sjøentreprenøren AS (heleid av NCC) (18 ansatte)	Fjøsangerveien 68, 5068 Bergen Tel. 55 30 23 30 Fax 55 30 23 97 www.sjoentreprenoren.no	Mudring av rene og forurensede masser <i>Tildekking av sjøbunn</i> <i>Mudring av forurenset sjøbunn i Sandefjord + mange store mudringsprosjekter (for eksempel for Ormen Lange)</i> <i>Drammen havn</i>	2 lektere med bakgraver 2 lektere med kran og grabb 1 Pneumapumpe 2 slepebåter 4 splittlektere Pongtonger til 3-4 flexifloat-lektere 1 ROV Utstyr til et flytende fullrenseanlegg for forurensede masser + sugemudringsutstyr (fra Haakonsvernprosj.)
Agder Marine AS (12 ansatte)	Marviksveien 120, 4632 Kristiansand Tel. 38 04 22 90 Fax 38 04 22 91 www.agdermarine.no	Mudring og tildekking av forurenset sjøbunn <i>Tildekking Hannevika og Kongsgårdbukta, Kristiansand</i> <i>Mudring av forurenset sjøbunn i småbåthavn ved Nedre Gartha i Arendal.</i>	1 bakgraver på lekter, 1 grabb på lekter, 1 sugemudringsfartøy (sandpumpe), 4 slepebåter/arbeidsbåter, 3 splittlektere, 1 flatlekter, 3 dumpelektere, 9 pongtonger
Sjømiljø AS (5 ansatte)	Ferjeodden 14, Sundene, 3145 Tjøme Tel. 33 39 22 24 Fax 33 39 25 43 www.sjomiljo.no	Oppgraving og fjerning av forurenset bunnmasse. Mudringsarbeider i havneområder og innseilinger. <i>Mudring og renovering av Hortenskanalen</i> <i>Tildekking av 3 000 m² forurenset sjøbunn for Nodest Vei/Veidekke</i>	Gravelektere av forskjellig størrelse, splittlektere, og slepebåter.
Scanmudring AS (18 ansatte)	Ballastgata 3, 4515 Mandal Tel: 47 38 27 80 30 www.scanmudring.no	Spesialisert på mudring på store vanddyp (offshore). Spesialutviklet mudringsutstyr som arbeider på sjøbunnen (ned til 1 000 m dyp).	Undervannsfartøyer for grabbmudring og sugemudring



Vedlegg B

Oversikt over entreprenører og utstyr for mudring av forurenset sjøbunn på verdensbasis

Det er fire store selskaper i Europa innen mudring og disse er også dominerende i resten av verden. All de fire selskapene kommer fra Nederland eller Belgia. I tillegg er det i tabellen tatt med de største selskapene i Norden utenfor Norge.



TEKNISK RAPPORT

Selskap	Adresse	Oppgaver	Utstyr
Europa (og Verden)			
Royal Boskalis Westminster nv (8 000 ansatte)	Rosmolenweg 20 P.O. Box 43 3350 AA Papendrecht The Netherlands Tel. +31 78 69 69 000 Fax +31 78 69 69 555 www.boskalis.com	Sjøarbeider Mudring av rene og forurensede masser	Alle typer utstyr for både mudring av rene og forurensede masser, med bl.a. ca. 300 mudringsfartøyer, se www.boskalis.nl/index_vloot.php?pageID=3
DEME Dredging, Environmental & Marine Engineering (1 700 ansatte) (DEME er navnet på gruppen, det største mudringsselskapet i gruppen heter Dredging International nv)	Haven 1025, Scheldedijk 30 B 2070 Zwijndrecht, Belgium Tel.. +32 32 50 52 11 Fax +32 32 50 56 50 www.deme.be www.dredging.com (Dredging International nv)	Sjøarbeider Mudring av rene og forurensede masser	Alle typer utstyr for både mudring av rene og forurensede masser, med bl.a. ca. 80 mudrings-fartøyer, se www.deme.be/Equipment/index.asp
Jan de Nul nv (4 200 ansatte)	Tragel 60, 9308 Hofstade- Aalst, Belgium Tel. +32 53 73 17 11 Fax +32 53 78 17 60 www.jandenul.com	Sjøarbeider Mudring av rene og forurensede masser	Alle typer utstyr for både mudring av rene og forurensede masser, med bl.a. ca. 60 mudrings-fartøyer, se www.jandenul.com + "Fleet"
Van Oord nv (2 600 ansatte)	Watermanweg 64 3067 GG Rotterdam The Netherlands Tel. +31 10 44 78 444 Fax. +31 10 44 78 100 www.vanoord.com	Sjøarbeider Mudring av rene og forurensede masser	Alle typer utstyr for både mudring av rene og forurensede masser, med bl.a. ca. 70 mudrings-fartøyer, se www.vanoord.com/webfront/base.asp?pageid=191
Norden (utenfor Norge)			
Rohde Nielsen A/S (ca. 150 ansatte) Danmarks største mudringsentreprenør	Nyhavn 20 DK-1051 Copenhagen K, Denmark Tel. +45 33 91 25 07 Fax +45 33 91 25 14 www.rohde-nielsen.dk	Sjøarbeider Mudring av rene og forurensede masser	Alle typer utstyr for både mudring av rene og forurensede masser, med bl.a. ca. 15 mudrings-fartøyer, se www.rohde-nielsen.dk + "Equipment"
Terramare OY (ca. 280 ansatte) Finlands største mudringsentreprenør (eies av Royal Boskalis Westminster nv)	Laurinmäenkuja 3 A FI-00440 Helsinki, Finland Tel. +358 9 613 621 Fax +358 9 61 36 27 00 www.terramare.fi	Sjøarbeider Mudring av rene og forurensede masser	Alle typer utstyr for både mudring av rene og forurensede masser, med bl.a. ca. 15 mudrings-fartøyer, se www.terramare.fi/en/?Know-how%26nbsp%3Band Plant:Main Plant and Equipment
Boskalis Sweden AB (ca. 35 ansatte) Sveriges største mudringsentreprenør (eies av Royal Boskalis Westminster nv)	Boskalis Sweden AB Vassgatan 3 D 415 02 Göteborg, Sweden Tel. +46 31 50 73 30 Fax +46 31 51 50 39 www.boskalis.se	Sjøarbeider Mudring av rene og forurensede masser	Alle typer utstyr for både mudring av rene og forurensede masser, med bl.a. ca. 5 mudringsfartøyer, se www.boskalis.se + "Utrustning"

- o0o -