

Til: Trondheim kommune  
v/: Stein O. Brandslet  
Kopi til: Anders Beitnes  
Dato: 4. april 2014  
Rev. nr./ Rev. dato:  
Dokumentnr.: 20130339-04-TN  
Prosjekt: Trondheim kommune.  
Renere havn – Prosjektering av tiltak  
Utarbeidet av: Mari Moseid  
Prosjektleder: Mari Moseid  
Kontrollert av: Espen Eek / Kyrre Emaus

---

Hovedkontor:  
Pb. 3930 Ullevål Stadion  
0806 Oslo

Avd Trondheim:  
Pb. 1230 Sluppen  
7462 Trondheim

T 22 02 30 00  
F 22 23 04 48

Kontonr 5096 05 01281  
Org. nr 958 254 318 MVA

[ngi@ngi.no](mailto:ngi@ngi.no)  
[www.ngi.no](http://www.ngi.no)

## Kravspesifikasjon for tildekkingsmasser i Kanalen, Brattørbassenget, Nyhavna og IISvika

### Innhold

<b>1</b>	<b>Innledning</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Prosjekterte tildekkingslag</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Fysiske egenskaper til tildekkingsmateriale</b>	<b>3</b>
	3.1 Filterlag- dekkmasse	3
	3.2 Erosjonslag	5
<b>4</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>Referanser</b>	<b>11</b>

### Kontroll- og referanseside

## 1 Innledning

I fire tiltaksområder i Trondheim havn skal forurenset sjøbunn dekket til med rene masser. I Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna skal tildekking utføres etter at deler av tiltaksområdet er mudret. Tildekkingslaget skal ha et filterlag med et overliggende erosjonslag. Beregnet mektighet av tildekkingslaget og funksjonen til de ulike lagene er utførlig beskrevet i forprosjektrapport for tiltaket (NGI, 2014).

Materialet som skal benyttes til tildekking må tilfredsstillende betingelser gitt i Miljødirektoratets veiledende testprogram for masser til bruk for tildekking av forurensete sedimenter (SFT, 2006). Veilederen angir dokumentasjonskrav og beskrivelse for karakterisering av fysiske og kjemiske egenskaper. Trinnsvis karakterisering gjøres ved at kjemisk innhold bestemmes og sammenlignes med grenseverdier. Hvis det aktuelle materialet ikke tilfredsstillende grenseverdiene må en videre bestemmelse av utlekkingssegenskaper og evt. virkninger på biota bestemmes.

Steds spesifikke vurderinger omfatter beskrivelse av tildekkingsmaterialets egnethet til å hindre spredning fra sedimentet gjennom tildekkingslaget i forhold til de stedlige forhold i tiltaksområdet, og omfatter vurdering knyttet til:

- Sedimentets bæreevne og konsolideringsegenskaper
- Permeabilitet og filteregenskaper for tildekkingsmaterialet i det aktuelle tildekkingsarealet
- Erosjon av tildekkingslag

Dette notatet presenterer steds spesifikke krav til fysiske egenskaper til tildekkingsmaterialet i de fire ulike tildekkingslokalitetene.

Ved endelig valg av tildekkingsmateriale skal krav til kjemisk innhold, eventuelle utlekkingssegenskaper og påvirkning på biota sammen med krav til fysiske egenskaper, dokumenteres av leverandør.

Kravene som presenteres i denne rapporten er basert på de stedlige sedimentene som skal tildekkes. For eventuelt alternative tildekkingsløsninger enn tildekking med rene masser som er presentert i forprosjekt i Renere havn (NGI, 2014) vil det være nødvendig at tildekkingsløsningen tilfredsstillende de samme funksjoner som presentert her.

## 2 Prosjekterte tildekkingslag

I NGIs forprosjekt for Renere havn (NGI, 2014) er følgende tildekkingsløsning for ormådene Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna presentert:

	Areal: (m <sup>2</sup> )	Total tildekking (cm)	Filterlag (cm)	Erosjonslag (cm)
<b>Kanalen:</b>				
<i>Hele bassenget</i>	100.000	40 cm	30 cm	10 cm
<b>Brattørbassenget:</b>				
<i>Ytre del av bassenget:</i>	50.000	50 cm	35 cm	15 cm
<i>Indre del av bassenget:</i>	30.000	40 cm	30 cm	10 cm
<b>Nyhavna:</b>				
<i>Kai 41-43 og 46</i>	33.600	55 cm	45 cm	10 cm
<i>Kai 44 og 45</i>	14.000	65 cm	45 cm	20 cm
<i>Kai 55 og 56</i>	20.500	65 cm	50 cm	15 cm
<i>Under DORA 1</i>		30 cm	30 cm	
<b>Ilsvika:*</b>	100.000	10 cm	10 cm (tynn tildekking)	

\*ikke inkludert erosjonslag ved kai 32, Ilsvika.

I Nyhavna, kai 57, skal det legges betongmadrasser som erosjonssikring. Beregningene for dette området er derfor ikke nærmere beskrevet.

## 3 Fysiske egenskaper til tildekkingsmateriale

### 3.1 Filterlag- dekkmasse

Filterlaget tilfredsstillende følgende kriterier (SFT, 2006):

- tilstrekkelig finkornig materiale for å redusere diffusjon fra sedimentet
- tilstrekkelig fraksjonering som reduserer sammenblanding av tildekkingsmasser og underliggende sediment
- tilstrekkelig permeabilitet for å tillate en viss drenering av porevann (hindre poreovertrykk) og eventuell gass

Følgende relasjon fra formelverket i tildekkingsveilederen (SFT, 2006) gir:

$$2 * d_{15} (\text{sediment}) < d_{15} (\text{filterlag}) < 5 * d_{85} (\text{sediment})$$

Hvor:

- $d_{15}$  og  $d_{85}$  er den korndiameteren som henholdsvis 15% og 85% (vekt) av kornene er mindre enn lest fra kornfordelingskurvene for sediment og tildekkingsmateriale.

- $d_{15}(\text{filterlag}) < 5 * d_{85}(\text{sediment})$  skal sikre mot utvasking av finstoff gjennom tildekkingslaget.
- $2 * d_{15}(\text{sediment}) < d_{15}(\text{filterlag})$  skal sikre at tildekkingslaget har tilstrekkelig permeabilitet til å hindre overtrykk i sedimentet.

Verdier for  $d_{15}$  og  $d_{85}$  er avlest på kornfordlingskurver. Gjennomsnittsverdier for de ulike tildekkingsområdene er brukt i beregninger gitt i Tabell 1.

Tabell 1 Beregnede kornstørrelser i filterlag beregnet fra gjennomsnittlig  $d_{15}$  og  $d_{85}$  for delområdene.

Delområde	Prøve nr	2*d15 (mm)	Gjennomsnitt 2*d15 (mm)	5*d85 (mm)	Gjennomsnitt 5*d85 (mm)
<b>Kanalen</b>	T14-8	0.0045	0.006	0.2	0.2
	T14-9	0.012		0.3	
	T14-10	0.00025		0.1125	
<b>Brattørbassenget</b>					
<i>Indre basseng</i>	T14-4	0.0076	0.01	1.125	1.1
	T14-5	0.012		6.25	
<i>Ytre basseng</i>	T14-6	0.05	0.06	6.5	9.8
	T14-7	0.06		13	
<b>Nyhavna</b>	T14-1	0.006	0.03	0.75	1.9
	T14-2	0.06		1.5	
	T14-3	-		3.5	
<b>Ilsvika</b>	1x	0.004	0.03	0.20000	0.23
	1x	0.006		0.22500	
	2x	0.0042		0.22500	
	3x	0.06		0.20000	
	4x	0.05		0.20000	
	7x	0.05		0.30000	
	8x	0.006		0.22500	

Dette gir følgende kriterier for filterlaget for hvert delområde:

*Kanalen:*

Ved å bruke gjennomsnittet av prøvene T14-8, T14-9 og T14-10 blir følgende filterkriterier gjeldende for tildekkingsmaterialet i Kanalen:

$$0,006 \text{ mm} < d_{15}(\text{filterlag}) < 0,2 \text{ mm.}$$

Kornfordelingene beskriver massene i Kanalen som leirig silt og siltig leir. En sandfraksjon med tilstrekkelig finstoff vil da være egnet som filterlag. Anbefalt område for kornfordelingen til filterlaget er angitt med øvre og nedre grense for  $d_{15}$  i Figur 1.

### *Brattørbassenget*

For Brattørbassenget gir gjennomsnittet av  $d_{15}$  i indre basseng (T14-4 og T14-5) og gjennomsnittet av  $d_{15}$  i ytre basseng (T14-6 og T14-7) følgende filterkriterier for filterlag i bassenget:

- Indre del av bassenget:  $0,01 \text{ mm} < d_{15} \text{ (filterlag)} < 1,1 \text{ mm}$ .
- Ytre del av bassenget:  $0,06 \text{ mm} < d_{15} \text{ (filterlag)} < 9,8 \text{ mm}$

Anbefalt område for kornfordelingen til filterlaget er angitt med øvre og nedre grense for  $d_{15}$  i Firgur 1, 2 og 3.

### *Nyhavna*

I Nyhavna er snittet av kornfordelingene i alle mudreområder benyttet for å bestemme filterkriteriene. Følgene betingelser for filterlaget blir gjeldende:

$$0,031 \text{ mm} < d_{15} \text{ (filterlag)} < 1,9 \text{ mm}$$

Da er snitt av prøve T14-1, T14-2 og T14-3 benyttet for  $d_{15}$ .

Anbefalt område for kornfordelingen til filterlaget er angitt med øvre og nedre grense for  $d_{15}$  i Figur 4.

### *Ilsvika*

I Ilsvika er kornfordelinger beregninger utført for Pilottestfeltet i Fagervika (NGI, 2013) benyttet. Følgende betingelser for filterlaget blir gjeldende:

$$0,03 \text{ mm} < d_{15} \text{ (filterlag)} < 0,23 \text{ mm}$$

Anbefalt område for kornfordelingen til filterlaget er angitt med øvre og nedre grense for  $d_{15}$  i Figur 5.

I Figur 1 til Figur 5 er filterkriteriene oppgitt sammen med et foreslått område som kornfordelingen til filterlaget skal ligge innenfor. Det er imidlertid kriteriene gitt over som er styrende for filterkravene.

## **3.2 Erosjonslag**

Massene som skal benyttes til erosjonslag skal tilfredsstille følgende kriterier gitt av tildekkingsveilederen og beregnet propellerrosjon:

- Erosjonslaget skal ha tilstrekkelig partikkelstørrelse for å motstå erosjon, her beregnet fra skipsoppvirvling, oppgitt som  $d_{50}$
- Finstoffet fra filterlaget skal ikke vaskes ut gjennom erosjonslaget som gir betingelsen  $d_{15} \text{ (erosjonslag)} < 5 * d_{85} \text{ (filterlag)}$

SINTEF har beregnet oppvirvling av sediment fra båttrafikk i tiltaksområdene (NGI, 2014). Beregningene gir propellstrømmen som genereres langs bunnen for dimensjonerende båter i de aktuelle områdene og relaterer denne strømmen til en kritisk partikkelstørrelse som vil ligge i ro på bunnen. Grunnlagsdata og beregnet kritisk partikkelstørrelse er gitt i Tabell 2. I videre beregninger er partikkelstørrelse for høyt pådrag benyttet bortsett fra i indre basseng i Brattørbassenget hvor kun lavt pådrag er beregnet.

Tabell 2 Minste sedimentstørrelse ( $d_{50}$ ) som er beregnet å ligge i ro ved maksimal propellstrøm ved bunnen.

Delområde:	Kaier/ Lokalitet:	Båt	Vanndyp	Maks bunnstrøm (m/s)		Minste $d_{50}$ før suspensjon (mm)	
				Lavt motor- pådrag	Høyt motor- pådrag	Lavt pådrag	Høyt pådrag
Nyhavna	Kai 41- 43, 46	Nordvåg	-8 LAT	1,5	1,9	7	14
	Utenfor kai 44	BOA Tyr	-7 LAT	2,6	3,3	35	69
	Kai 55 - 56	With Junior	-6 LAT	2,2	2,8	24	46
	Kai 57 Norcem	Cartagena, Cork	-7,5 LAT	3,3	4,1	67	123
Brattør- bassenget	Ytre basseng	Kyst- ekspresen	-5 LAT	2,2	2,5	25	36
	Indre basseng	Princess 52 el.lign	-5 LAT	0,9	-	3	-
Kanalen		Delphia 40 e.l.	-3,5 LAT	-	0,4	N/A	0,54

Dette gir følgende betingelser for erosjon i de ulike delområdene:

*Kanalen:*

I Kanalen er det beregnet en minste  $d_{50} = 0,54$  mm. Ved å benytte  $d_{50} = 0,54$  mm for erosjonslaget i Kanalen kan denne betingelse oppfylles med samme materiale som filterlaget hvis kurven til filterlaget ligger i høyre del av området angitt i Figur 1. Erosjonsbetingelsen  $d_{50}$  er angitt i Figur 1.

*Brattørbassenget:*

I Brattørbassengets indre del er det beregnet en  $d_{50} = 3$  mm. For å tilfredsstille både filterkrav gitt i kapittel 3.1 og erosjonskrav vil det være aktuelt tildekke med eget erosjonsmateriale selv om  $d_{50}$  ligger innenfor område for filterlag som gitt i Figur 2.

I Brattørbassengets ytre del er det beregnet en  $d_{50} = 36$  mm for massene i erosjonslaget. Et materiale med  $d_{50} = 36$  mm vil sannsynligvis ikke tilfredsstille filterkriterier gitt i kapittel 3.1 og et eget erosjonslag med større partikler enn filterlaget, vist i Figur 3 må legges ut. Betingelsen for øvre partikkelstørrelse i erosjonslaget er høy slik at det kun er den nedre grense for erosjonslaget som er vist i Figur 3.

*Nyhavna:*

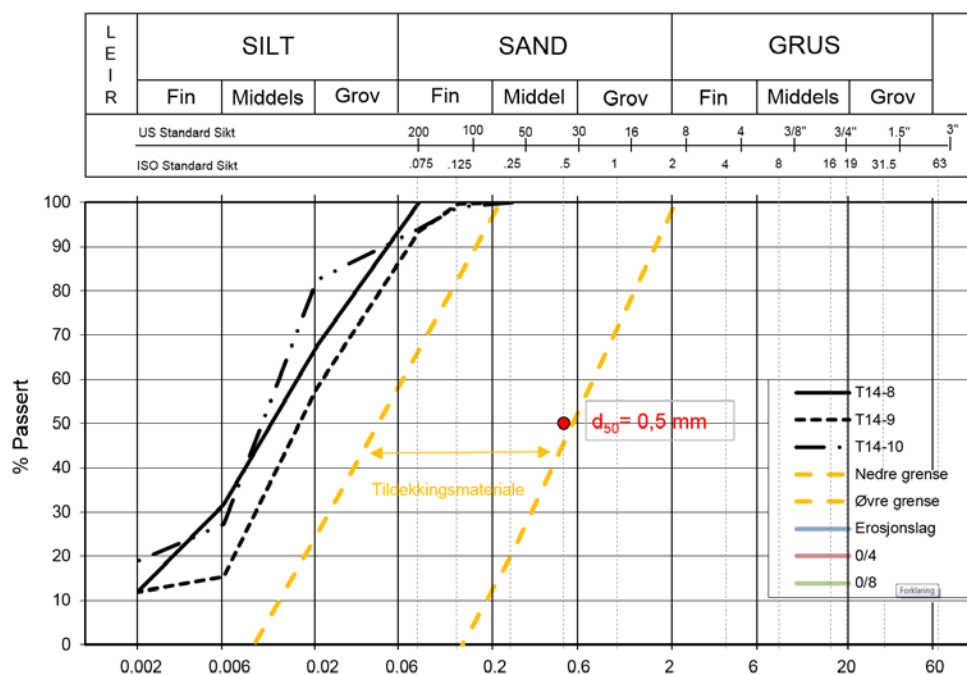
I Nyhavna er det beregnet en  $d_{50}$  fra 14 til 69 mm. Et materiale med  $d_{50} = 14$  - 69 mm vil ikke tilfredsstille filterkriterier gitt i kapittel 3.1 og et eget erosjonslag med større partikler enn filterlaget, vist i Figur 4 må legges ut.

Det er beregnet et område for kornfraksjoner i erosjonslag basert på øvre grense for filterlag, vist i Figur 4.

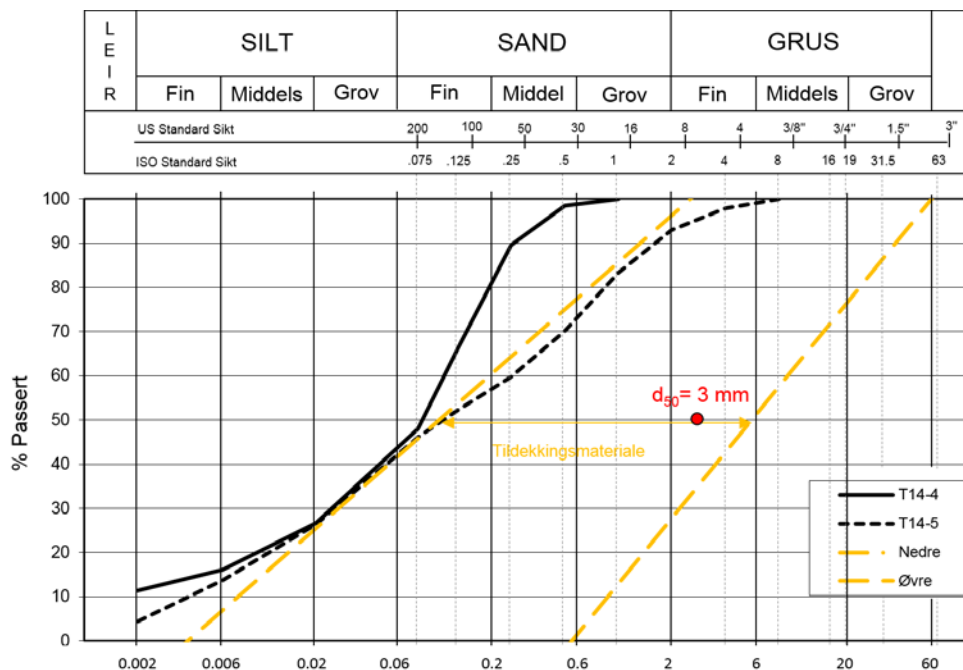
### Ilsvika

I Ilsvika er det ikke beregnet propelloppvirvling slik at kravet til erosjon er knyttet til strømvurderinger. I testfeltet er det lagt ut 0/8-masser basert på en samlet vurdering av strømførhold og om materialet er egnet til å ligge på skrånende sjøbunn (NGI, 2013).

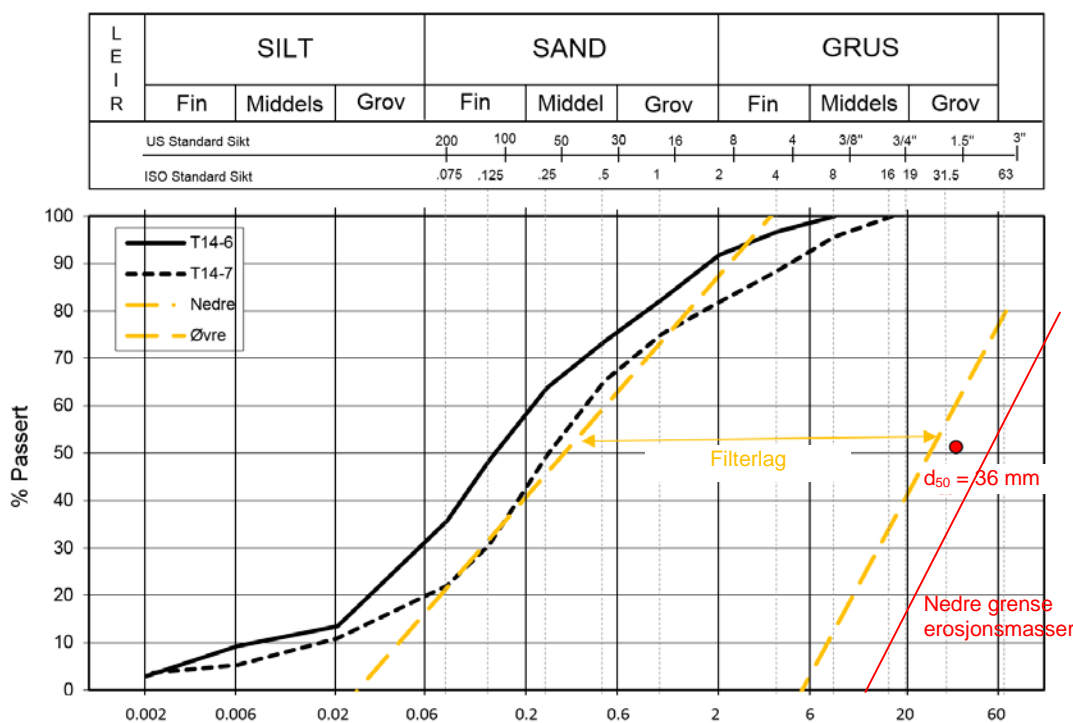
Erosjonskriteriet ( $d_{50}$ ) hentet fra SINTEFs beregninger av skipsoppvirvling er sammen med kriterier for filterlag for de ulike områdene presentert i Figur 1 til Figur 5.



Figur 1 Kornfordelinger i Kanalen (T14-8, T14-9 og T14-10) sammenstilt med filterkriterier ( $d_{15}$ ) og erosjonskrav ( $d_{50}$ ) for tildekkingsmateriale i Kanalen.

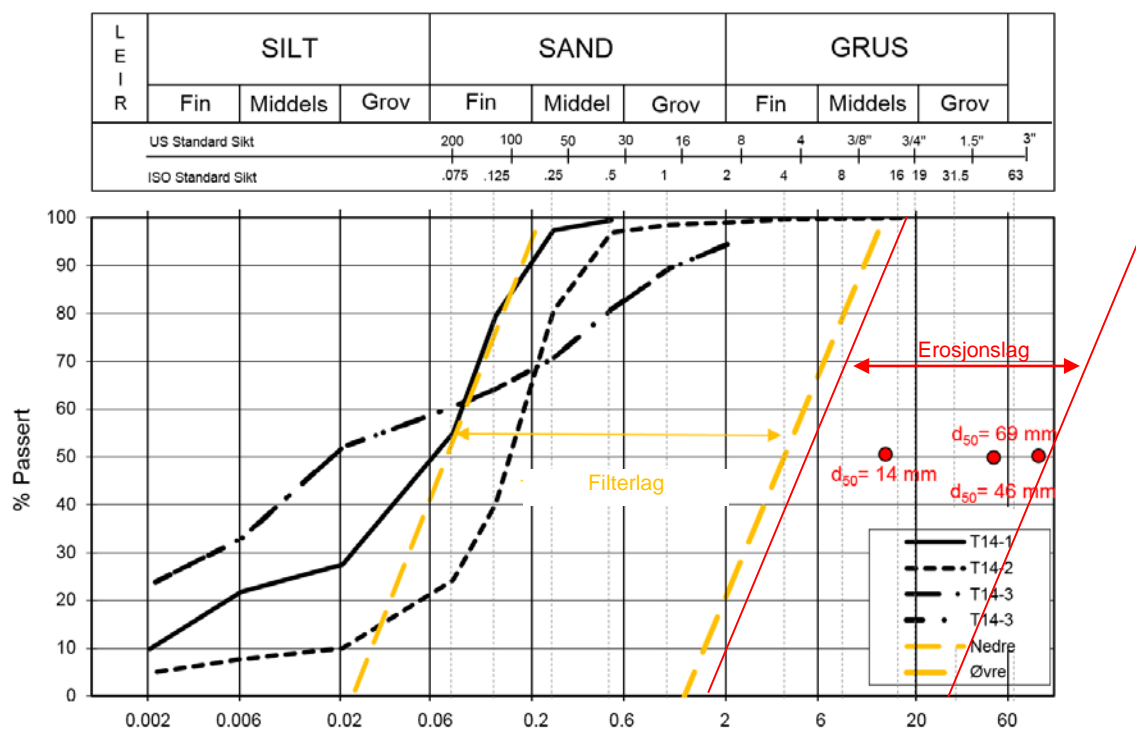


Figur 2 Kornfordelinger i Brattørbassengets indre del (T14-4 og T14-5) sammenstilt med filterkriterier ( $d_{15}$ ) og erosjonskrav ( $d_{50}$ ) for tildeckingsmateriale i indre del av Brattørbassenget

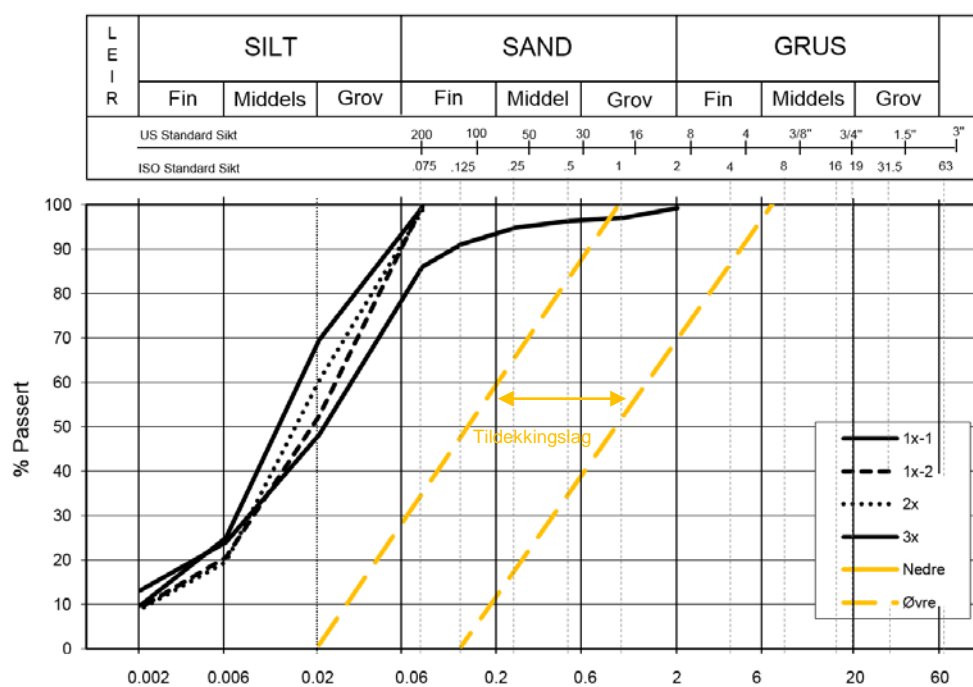


Figur 3 Kornfordelinger i Brattørbassengets ytre del (T14-6 og T14-7) sammenstilt med filterkriterier ( $d_{15}$ ) og erosjonskrav ( $d_{50}$ ) for tildeckingsmateriale i ytre del av Brattørbassenget.





Figur 4 Kornfordelinger i Nyhavna (T14-1, 2 og 3) sammenstilt med filterkriterier ( $d_{15}$ ) og erosjonskrav ( $d_{50}$ ) for tildekkingsmateriale i Nyhavna.



Figur 5 Kornfordelinger i Ilsvika sammenstilt med filterkriterier ( $d_{15}$ ) og erosjonskrav ( $d_{50}$ ) for tildekkingsmateriale Ilsvika.

## 4 Konklusjon

Vurdering av filterkriterier og erosjonskriterier for tildekkingsmasser i Kanalen, Brattørbassenget, Nyhavna og Ilsvika viser at knuste masser i kommersielle fraksjoner vist i Tabell 3 vil tilfredsstille de aktuelle kravene til filteregenskaper og erosjon gitt i kapittel 3. Endelige kornfordelingskurver fra leverandør skal vurderes i henhold til kravene.

Tabell 3 Fraksjoner og mengder beregnet tildekkingsmateriale for Kanalen, Brattørbassenget, Nyhavna og Ilsvika.

	<b>Areal: (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Total tildekking</b>	<b>Filterlag</b>	<b>Erosjonslag</b>
<b>Kanalen:</b>				
<i>Hele bassenget</i>	100.000	40 cm	30 cm	10 cm
<i>Fraksjon (mm)</i>		0-8		
<i>Volum faste masser</i>		40.000 m <sup>3</sup>		
<b>Brattørbassenget:</b>				
<i>Ytre del av bassenget</i>	50.000	50 cm	35 cm	15 cm
<i>Fraksjon (mm)</i>			0-8	0-63
<i>Volum faste masser</i>			17.500 m <sup>3</sup>	7.500 m <sup>3</sup>
<i>Indre del av bassenget</i>	30.000	40 cm	30 cm	10 cm
<i>Fraksjon (mm)</i>			0-8	0-16
<i>Volum faste masser</i>			9.000 m <sup>3</sup>	3.000 m <sup>3</sup>
<b>Nyhavna:</b>				
<i>Kai 41-43 og 46</i>	33.600	55 cm	45 cm	10 cm
<i>Fraksjon (mm)</i>			0-8	0-32
<i>Volum faste masser</i>			15.100 m <sup>3</sup>	3.400 m <sup>3</sup>
<i>Kai 44 og 45</i>	14.000	65 cm	45 cm	20 cm
<i>Fraksjon (mm)</i>			0-8	0-63
<i>Volum faste masser</i>			6.300 m <sup>3</sup>	2.800 m <sup>3</sup>
<i>Kai 55 og 56</i>	20.500	65 cm	50 cm	15 cm
<i>Fraksjon (mm)</i>			0-8	0-63
<i>Volum faste masser</i>			10.250 m <sup>3</sup>	3.000 m <sup>3</sup>
<i>Under DORA 1</i>	7.000	30 cm	30 cm	
<i>Fraksjon (mm)</i>			0-8	
<i>Volum faste masser</i>			2.100 m <sup>3</sup>	
<b>Ilsvika:*</b>				
<i>Hele bassenget</i>	100.000	10 cm	10 cm (tynn tildekking)	
<i>Fraksjon (mm)</i>			0-8	
<i>Volum faste masser</i>			10.000 m <sup>3</sup>	

\*Erosjonslag i Ilsvika ikke inkludert. Antatt å være 0-32 mm masser.



## 5 Referanser

NGI, 2014

Renere havn – Prosjektering av tiltak. Forprosjekt. Rapport 20130339-02-R, 31. januar 2014.

NGI, 2013

Pilottest tynntildekking Fagervika. Vurdering av tildekkingsmateriale. Rapport 20120405-02-R, 21. juni 2013.

SFT, 2006

Miljødirektoratet, Veiledende testprogram for masser til bruk for tildekking av forurensede sedimenter (Tildekkingsveileder). September 2006.

# Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



<b>Dokumentinformasjon/Document information</b>					
<b>Dokumenttittel/Document title</b> Renere havn. Prosjektering av tiltak. Kravspesifikasjon for tildekkingsmasser i Kanalen, Brattørbassenget, Nyhavna og Ilsvika				<b>Dokumentnr./Document No.</b> 20130339-04-TN	
<b>Dokumenttype/Type of document</b> Teknisk notat / Technical Note		<b>Distribusjon/Distribution</b> Begrenset/Limited		<b>Dato/Date</b> 2014-04-04	
				<b>Rev.</b> 0	
<b>Oppdragsgiver/Client</b> Trondheim kommune					
<b>Emneord/Keywords</b> Forurenset sediment, sedimentprøvetaking.					
<b>Stedfesting/Geographical information</b>					
<b>Land, fylke/Country, County</b> Sør-Trøndelag				<b>Havområde/Offshore area</b>	
<b>Kommune/Municipality</b> Trondheim				<b>Felt navn/Field name</b>	
<b>Sted/Location</b> Trondheim				<b>Sted/Location</b>	
<b>Kartblad/Map</b>				<b>Felt, blokknr./Field, Block No.</b>	
<b>UTM-koordinater/UTM-coordinates</b>					
<b>Dokumentkontroll/Document control</b>					
<b>Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001</b>					
Rev./Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision	Egen-kontroll/ Self review av/by:	Sidemanns-kontroll/ Colleague review av/by:	Uavhengig kontroll/ Independent review av/by:	Tverrfaglig kontroll/ Inter-disciplinary review av/by:
0	Originaldokument	MMo	EE/KE	EE	
<b>Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release</b>		<b>Dato/Date</b> 4. april 2014		<b>Sign. Prosjektleder/Project Manager</b> Mari Moseid	

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen geofagene. Vi utvikler optimale løsninger for samfunnet, og tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg.

Vi arbeider i følgende markeder: olje, gass og energi, bygg, anlegg og samferdsel, naturskade og miljøteknologi. NGI er en privat stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskap i Houston, Texas, USA.

NGI ble utnevnt til "Senter for fremragende forskning" (SFF) i 2002.

[www.ngi.no](http://www.ngi.no)

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting in the geosciences. NGI develops optimum solutions for society, and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the oil, gas and energy, building and construction, transportation, natural hazards and environment sectors. NGI is a private foundation with office and laboratory in Oslo, branch office in Trondheim and daughter company in Houston, Texas, USA.

NGI was awarded Centre of Excellence status in 2002.

[www.ngi.no](http://www.ngi.no)

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

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemand uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

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



Hovedkontor/Main office:  
PO Box 3930 Ullevål Stadion  
NO-0806 Oslo  
Norway

Besøksadresse/Street address:  
Sognsveien 72, NO-0855 Oslo

Avd Trondheim/Trondheim office:  
PO Box 1230 Sluppen  
NO-7462 Trondheim  
Norway

Besøksadresse/Street address:  
Pirsenteret, Havnegata 9, NO-7010 Trondheim

T: (+47) 22 02 30 00  
F: (+47) 22 23 04 48

[ngi@ngi.no](mailto:ngi@ngi.no)  
[www.ngi.no](http://www.ngi.no)

Kontonr 5096 05 01281/IBAN NO26 5096 0501 281  
Org. nr./Company No.: 958 254 318 MVA

BSI EN ISO 9001  
Sertifisert av/Certified by BSI, Reg. No. FS 32989