

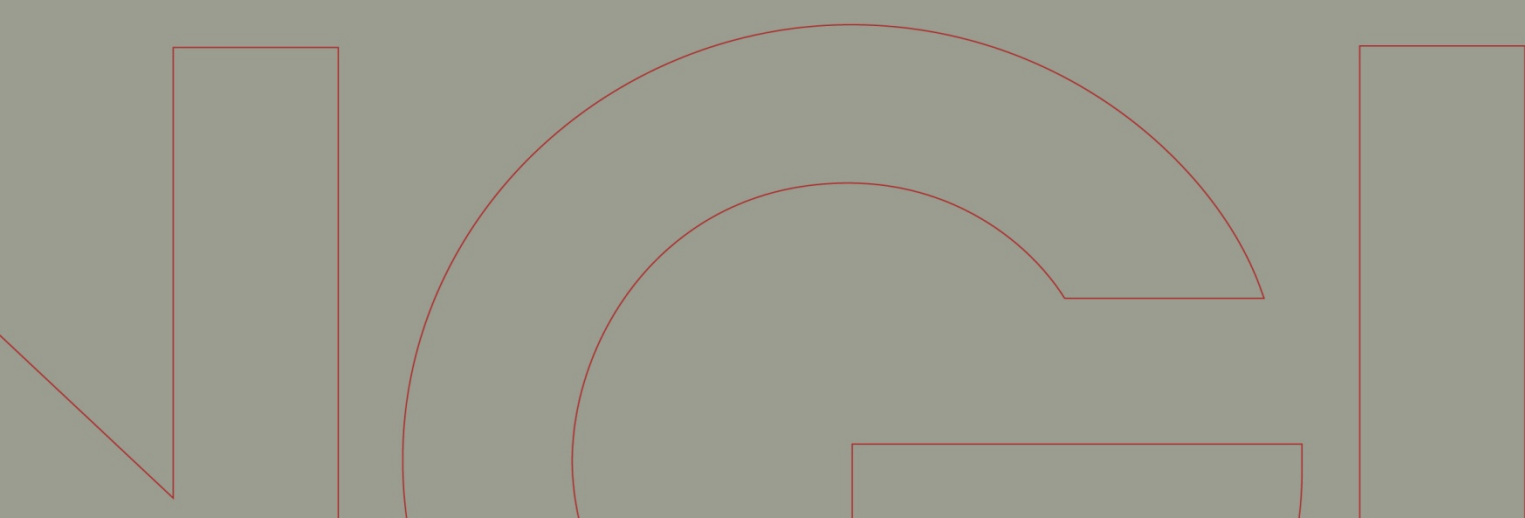


# Rapport / Report

**Trondheim kommune.  
Renere havn – Prosjektering av tiltak**

## **Prosjektering av mudring og tildekking – Fase 1**

20130339-01-R  
6. desember 2013  
Rev. nr.: 0



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 tredjemann uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGL.

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 NGL.



## Prosjekt

Prosjekt: Trondheim kommune. Renere havn –  
Prosjektering av tiltak  
Dokumenttittel: Prosjektering av mudring og tildekking –  
Fase 1  
Dokumentnr.: 20130339-01-R  
Dato: 6. desember 2013  
Rev. nr./rev. dato: 0

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)

## Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: Trondheim kommune v/Utbyggingsenheten  
Kontaktperson: Stein O. Brandslet  
Kontraktreferanse: Kontrakt datert 2013-09-20

## For NGI

Prosjektleder: Mari Moseid, NGI  
Utarbeidet av: Mari Moseid, NGI  
Marianne Kvennås, NGI  
Espen Eek, NGI  
Kyrre Emaus, NGI  
Jens Laugesen, DNV  
Grim Eidnes, SINTEF  
Magne Mehli, NGI  
Kristine H. H. Ekseth, NGI  
Kontrollert av: Gijs Breedveld, NGI

## Sammendrag

Renere havn er et samarbeidsprosjekt mellom Trondheim kommune (TK), Trondheim Havn (IKS) og Miljødirektoratet (MD). På bakgrunn av vedtatte miljømål for havnebassenget ble det i 2011 utarbeidet en helhetlig tiltaksplan for forurenset sjøbunn, hvor det i 5 av 11 delområder er identifisert behov for tiltak. Tiltaksplanen presenterer tiltak som består av tildekking av sjøbunn i to delområder, Fagervika og Ilsvika, og mudring med etterfølgende tildekking i tre delområder; Kanalen, Brattør-bassenget og Nyhavna. I tiltaksplan-arbeidet ble det også utredet mulige løsninger

# Sammendrag (forts.)



Dokumentnr.: 20130339-01-R  
Dato: 2013-12-06  
Rev. nr.: 0  
Side: 4

for lokal håndtering av mudre-masser, hvor ulike deponialternativer i Nyhavna var ett av alternativene.

Tiltaksplanen for Trondheim havn er utarbeidet av en prosjektgruppe bestående av NGI, DNV og SINTEF. Prosjektgruppen har fått i oppdrag fra Trondheim kommune å detaljprosjekttere tiltak i tre delområder, Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna, samt utarbeide søknader til miljømyndighetene. Prosjekteringen er delt inn i flere faser hvor man i tidlig fase ser på flere løsninger før valg av endelig metode som søkes utført. Prosjekteringen av tiltakene går parallelt med prosjektering av deponi i Nyhavna som utføres av Multiconsult.

Prosjektering av tiltak for opprydding av forurensede sedimenter i Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna har resultert i 2 ulike alternativer for hvert delområde. Alternativene inkluderer mudring og tildekking med rene masser eller tildekking med rene masser der det er iblandet aktivt materialer som binder forurensningen.

Basert på kost-nyttevurderinger kan følgende anbefalinger gis for gjennomføring av tiltak i de ulike delområdene:

## *Kanalen*

Alternativ 1 anbefales og omfatter:

- Mudring ca. 13.000 m<sup>3</sup>
- Tildekking av hele Kanalen med 40 cm tildekking med rene masser

I kost-nyttevurderingen er det det økonomiske aspektet som er utslagsgivende. Alternativ 2 med aktiv tildekking er 36-59 % (høyt – lavt estimat) dyrere enn alternativ 1 med rene masser. Etablering av aktivt lag medfører høye etableringskostnader og kompenseres ikke av besparelsen ved lavere tildekkingsvolum.

## *Brattørbassenget*

Alternativ 1 anbefales og omfatter:

- Mudring av sedimenter ca. 14.000 m<sup>3</sup>
- Tildekking av Brattørbassenget 50 cm tildekking med rene masser

Kost-nyttevurderingen viser at alternativ 2 med aktivt materiale er 28-49 % (høyt – lavt estimat) dyrere enn alternativ 1 med rene masser. Etableringskostnader for aktivt lag er også utslagsgivende for valg av alternativ 1.

## *Nyhavna*

Alternativ 1 anbefales og omfatter:

- Mudring av sedimenter ca. 43.000 m<sup>3</sup>
- Tildekking av deler av Nyhavna som ikke er inkludert i deponiarealet
  - 55 cm tildekking med rene materialer utenfor kai 41-43, 46
  - 65 cm tildekking med rene masser utenfor kai 44
  - 65 cm tildekking med rene masser utenfor kai 55
  - ca. 30 cm betongmatter, ved kai 57 (Norcem)



## Sammendrag (forts.)



Dokumentnr.: 20130339-01-R

Dato: 2013-12-06

Rev. nr.: 0

Side: 5

Kost-nyttevurderingen viser at alternativ 2 med aktiv tildekking er kun 10-21 % (høyt – lavt estimat) dyrere enn alternativ 1. Alternativ 1 slår best ut økonomisk, men har et seilingsdyp 5-15 cm grunnere enn forutsatt. Da endringen i seilingsdyp stedvis er marginal (5 cm) anbefales derfor alternativ 1. Det bemerkes i kost-nyttevurderingen at tildekking med betongmadrasser er 4-5 ganger dyrere enn tildekking med rene masser og en reduksjon av nødvendig tildekkingsareal vil derfor ha stor økonomisk betydning.

# Innhold

<b>1</b>	<b>Innledning</b>	<b>8</b>
1.1	....Bakgrunn	8
1.2	....Prosjekt	8
1.3	....Miljømål	8
1.4	....Operasjonelle miljømål	9
<b>2</b>	<b>Arbeidsprosess og rammebetingelser</b>	<b>9</b>
2.1	....Prosjekteringsgruppe	9
2.2	....Rammebetingelse for prosjekteringen	10
2.3	....Grensesnitt prosjektering av tiltak og deponiprosjektering	11
2.4	....Grunnlagsdata	11
2.5	....Alternativsvurderinger	12
2.6	....Detaljnivå for prosjektering	13
<b>3</b>	<b>Beregninger av mudrevolum</b>	<b>14</b>
3.1	....Oppbygging av ny terrengmodell og beregning av mudrevolum	14
3.2	....Forutsetninger for terrengmodell for Kanalen	14
3.3	....Forutsetninger for terrengmodell for Brattørbassenget	15
3.4	....Forutsetninger for terrengmodell for Nyhavna	15
<b>4</b>	<b>Mudremetoder</b>	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>Beregning av tildekkingsmektighet</b>	<b>18</b>
5.1	....Overordnet cap-design	18
5.2	....Erosjonsbeskyttelse	19
5.3	....Bioturbasjonslag	21
5.4	....Adveksjonslag	21
5.5	....Kjemisk isolasjonslag	22
5.6	....Usikkerhet konstruksjon	26
5.7	....Blandingssone mellom sediment og tildekking	26
5.8	....Tildekking med aktive tildekkingslag	26
<b>6</b>	<b>Prosjekterte tiltak i Kanalen</b>	<b>28</b>
6.1	....Generell områdebeskrivelse	28
6.2	....Bunnforhold, topografi	28
6.3	....Beskrivelse av tilstanden i sedimentene og risikovurderingen	28
6.4	....Massebeskrivelse	29
6.5	....Tiltaksbehov	30
6.6	....Framtidig arealbruk og forutsetning for seilingsdyp	30
6.7	....Skråningsstabilitet, stabilitet av kaikonstruksjoner, brygger	31
6.8	....Mudring	32
6.9	....Tildekking i Kanalen	34
6.10	..Tiltaksgjennomføring i Kanalen	36
<b>7</b>	<b>Prosjekterte tiltak i Brattørbassenget</b>	<b>39</b>
7.1	....Generell beskrivelse	39
7.2	....Bunnforhold, topografi	39
7.3	....Beskrivelse av tilstanden i sedimentene og risikovurderingen	39

7.4 ....Massebeskrivelse	40
7.5 ....Tiltaksbehov	41
7.6 ....Framtidig arealbruk og forutsetning for seilingsdyp	41
7.7 ....Skråningsstabilitet, stabilitet av kaikonstruksjoner, brygger	42
7.8 ....Mudring i Brattørbassenget	42
7.9 ....Tildekking i Brattørbassenget	43
7.10 ..Tiltaksgjennomføring i Brattørbassenget	46
<b>8 Prosjekterte tiltak i Nyhavna</b>	<b>48</b>
8.1 ....Generell beskrivelse	48
8.2 ....Bunnforhold, topografi	49
8.3 ....Beskrivelse av tilstanden i sedimentene og risikovurderingen	49
8.4 ....Massebeskrivelse	50
8.5 ....Tiltaksbehov	51
8.6 ....Framtidig arealbruk og forutsetning for seilingsdyp	51
8.7 ....Skråningsstabilitet, stabilitet av kaikonstruksjoner, brygger	52
8.8 ....Mudring i Nyhavna	52
8.9 ....Tildekking i Nyhavna	53
8.10 ..Tildekking foran og under DORA.	58
8.11 ..Tiltaksgjennomføring i Nyhavna	58
<b>9 Oppsummering av alternative tiltaksløsninger.</b>	<b>61</b>
<b>10 Kost-nyttevurdering</b>	<b>62</b>
<b>11 Usikkerhet og behov for videre utredning</b>	<b>64</b>
11.1 ..Usikkerhet mudring	64
11.2 ..Usikkerhet tildekking	65
11.3 ..Usikkerhet kost-nytte.	65
<b>12 Konklusjon</b>	<b>67</b>
<b>13 Referanser</b>	<b>68</b>

#### **Vedlegg:**

- Vedlegg A: Kartvedlegg med mudrearealer
- Vedlegg B: Situasjonsplan, snitt og prinsippskisser for volumberegning.
- Vedlegg C: Tildekking – beregningsgrunnlag
- Vedlegg D: Rapport SINTEF – Propelloppvirvling
- Vedlegg E: Rapport DNV – Kost/nytte-vurdering

#### **Kontroll- og referanseside**

## **1 Innledning**

### **1.1 Bakgrunn**

Renere havn er et samarbeidsprosjekt mellom Trondheim kommune (TK), Trondheim Havn (IKS) og Miljødirektoratet (MD). På bakgrunn av vedtatte miljømål for havnebassenget ble det i 2011 utarbeidet en helhetlig tiltaksplan for forurenset sjøbunn, hvor det i 5 av 11 delområder er identifisert behov for tiltak (NGI/DNV, 2011). Tiltaksplanen presenterer tiltak som tildekking av sjøbunn i to delområder, Fagervika og Iilsvika, og mudring med etterfølgende tildekking i tre delområder; Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna. I tiltaksplan-arbeidet ble det også utredet mulige løsninger for lokal håndtering av mudremasser, hvor ulike deponialternativer i Nyhavna var ett av alternativene. Trondheim kommune vedtok i 2011 at det skulle arbeides med gjennomføring av tiltak mot forurenset sjøbunn i havnebassenget.

### **1.2 Prosjekt**

Tiltaksplanen for Trondheim havn er utarbeidet av en prosjektgruppe bestående av NGI, DNV og SINTEF. Tiltaksplanen ble utarbeidet med bakgrunn i sediment- og biotaundersøkelser, modellering av propelloppvirvling fra båttrafikk og risikovurdering av forurenset sjøbunn som ble gjennomført av prosjektgruppen. Prosjektgruppen har fått i oppdrag fra Trondheim kommune å detaljprosjekttere tiltak i de tre delområdene Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna, samt utarbeide søknader til miljømyndighetene. Prosjekteringen er delt inn i flere faser hvor man i tidlig fase ser på flere løsninger før valg av endelig metode som søkes utført. Prosjekteringen går parallelt med prosjektering av deponi i Nyhavna som utføres av Multiconsult.

### **1.3 Miljømål**

Trondheim kommune og Trondheim Havn har oppgitt et hovedmål med prosjektet som skal ivareta nasjonale og lokale målsettinger. Den nasjonale målsettingen er å oppnå renere sjøbunn nær by, dvs. oppnå tilstandsklasse III (Klif, 2012), ned fra tilstandsklasser IV og V.

Trondheim kommunes lokale mål for havnebassenget er å:

- Stanse direkte utslipp
- Minimere diffuse kilder
- Stanse avrenning fra forurenset grunn
- Miljøgifter i sjøbunnen skal ikke hindre fiske
- Miljøgifter i sjøbunnen skal ikke spres fra områder med skipstrafikk til andre områder

Renere havn-prosjektet har i tillegg utarbeidet følgende delmål/verdimål:

- Fornuftig utnyttelse av deponi
- Følge opp kommunens miljømål om en bærekraftig by
- Heve opplevd kvalitet gjennom bedre bynære rekreasjonsområder mtp fiske, bading, etc.

## 1.4 Operasjonelle miljømål

Trondheim kommunes miljømål er retningsgivende for Renere havn-prosjektet, men sier ikke hvilke konsentrasjoner som er akseptable i sjøbunnen. Derfor er det i tiltaksplanen definert operasjonelle mål for tiltakene basert på miljøfaglige vurderinger og praktisk erfaring fra andre oppryddingsprosjekter.

De operasjonelle målene er vesentlige som grunnlag når de områder som krever tiltak skal avgrenses. Operasjonelle mål er derfor formulert slik:

<b>Krav i sjø</b>	<b>Krav på land</b>
Miljøgiftinnholdet i sedimenter i Trondheim havnebasseng skal generelt ikke overstige tilstandsklasse III. Hot spots <sup>1</sup> i havnebassenget må vurderes spesielt med henblikk på fare for spredning. Spredning fra disse til mindre forurensede områder skal stoppes.  Eventuelle restkonsentrasjoner over tilstandsklasse III etter tiltak skal også vurderes spesielt med hensyn på spredning.	Det skal ikke foregå utslipp fra land som har negativ påvirkning på miljøtilstanden i sjø. Dvs. konsentrasjon av miljøgifter i partikulært stoff og løste komponenter som tilføres sjø skal være så lave som mulig og ikke overstige tilstandsklasse III.  Krav som er stilt i Bystyrets vedtak fra oktober 2011 skal følges.

<sup>1</sup> Hot spot defineres som 2x medianverdi av sedimentkonsentrasjon før tiltak.

Tributyltinn (TBT) i sedimenter vil kreve egne mål. TBT er faset ut fra skipsmaling og konsentrasjonen i sedimentene forventes derfor å avta over tid. Miljødirektoratets veileder for risikovurdering av forurensede sedimenter (TA 2230/2007) sier at: "Mye tyder på at man ennå ikke har kontroll over kildene til TBT i det marine miljøet og det er derfor i svært mange tilfeller liten nytte i å gjennomføre sedimenttiltak bare på grunn av TBT". Høye konsentrasjoner av TBT i sedimenter skal i seg selv ikke utløse krav om tiltak, men området kan inngå i tiltak som følge av forhøyede verdier av andre parametere. Eventuelle områder med ekstremverdier med TBT vurderes som hot spots hvor spredningspotensiale vurderes spesielt.

## 2 Arbeidsprosess og rammebetingelser

### 2.1 Prosjekteringsgruppe

Prosjektering av tiltak i de tre delområdene er utført parallelt med ferdigstillelse av prosjektering av deponi. Kommunikasjon og involvering av partene for de to prosjekteringsgruppene er gjennomført gjennom jevnlig prosjekteringsmøter som er styrt av Trondheim kommune og Trondheim Havn. Følgende parter aktører er involvert i prosjektet og er representert i møtene:

- Trondheim kommune, Miljøenheten (Prosjektansvarlig Renere havn)
- Trondheim kommune, Utbyggingsenheten (Prosjektleder)
- Trondheim Havn (Repr. Hovedbruker)
- Multiconsult AS (Utredning og prosjektering deponi)
- NGI (Utredning og prosjektering av tiltak, mudring og tildekking)

I tillegg er Byplankontoret planmyndighet for prosjektet samt at Miljødirektoratet er miljømyndighet og bidrar med finansiering.

Framdriftsplaner for de to prosjekteringsgruppene er samholdt og justert mtp avhengigheter for de to delprosjektene.

## **2.2      *Rammebetingelse for prosjekteringen***

Renere havn-prosjektet har grensesnitt mot andre prosjekter, eks. byutviklings- og havneprosjekter. De ulike prosjektene vil i en viss grad gi føringer for tiltak, hvor enkelte av Trondheim Havns utviklingsprosjekter har hatt direkte innvirkning på tiltakene. Dette gjelder særlig endret arealbruk, vedlikehold og utbygging av nye kaier og kaianlegg i Brattørbassenget og i Nyhavna.

Følgende føringer er gitt som grunnlag for prosjektering av alternative tiltak i de tre delområdene Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna:

### *Kommunedelplan i Nyhavna:*

Kommunedelplan for Nyhavna gir føringer for framtidig arealbruk, og kan gi nye forutsetninger for skipstrafikk, som endring av trafikkbilde og begrensninger mtp fart og farkoster. Disse føringene er forutsatt ivaretatt av Trondheim Havns krav til seilingsdyp.

### *Leietakere:*

Trondheim Havn eier havnearealene som leies ut til ulike aktører innenfor industri, samferdsel og andre. Innspill fra leietakere knyttet til krav om for eksempel seilingsdyp er i denne fasen håndtert av Trondheim Havn, slik at prosjektgruppen ikke har kartlagt behov utover hva Trondheim Havn ønsker å tilby sine leietakere.

### *Småbåthavn i Kanalen:*

Trondheim kommunes krav til opprettholdelse av småbåthavn i Kanalen er ivaretatt av Trondheim Havns spesifisering av seilingsdyp.

Ut fra dette er følgende aspekter lagt til grunn ved vurdering av aktuell tiltaksløsning:

### *Måloppnåelse:*

Det er tatt utgangspunkt i at de foreslåtte tiltakene skal være i tråd med målsettinger i prosjektet, dvs. miljømålene for Trondheim havnebasseng samt de operasjonelle målene for prosjektet. I tillegg har Trondheim Havn og

Trondheim kommune satt verdimål for prosjektet som skal ivaretas i prosjekteringen, se avsnitt 1.3.

#### *Seilingsdyp:*

Krav til seilingsdyp i de tre delområdene er gitt av Trondheim Havn. Seilingsdypet ligger som en fast forutsetning for prosjektering av tiltaksløsning i de tre delområdene. Det er derfor ikke foreslått tiltaksløsninger som ikke oppfyller kravet til seilingsdyp.

#### *Stabilitetsforhold:*

Trondheim havn har i hvert delområde angitt sårbare områder og konstruksjoner med tanke på stabilitet. Her er det ikke gjort nye vurderinger da det er omforent at disse områdene og konstruksjonene må behandles med spesiell aktsomhet. Dette gjelder området "Gryta" i Kanalen, Brattørkaia i Brattørbassenget, samt flere kaier i Nyhavna. Disse er spesifisert for hvert delområde. Det samme gjelder for fysiske begrensninger som konstruksjoner (rør, kulvert, faste installasjoner) innenfor de ulike delområdene.

### **2.3 Grensesnitt prosjektering av tiltak og deponiprosjektering**

NGI har prosjektert tiltak i delområdene Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna. SINTEF har beregnet stedsspesifikk skipsoppvirvling og beregnet erosjon. DNV har utført kost-nyttevurdering av de prosjekterte tiltakene.

I Nyhavna prosjekterer Multiconsult deponiløsning for mudremasser fra Nyhavna og de to andre delområdene. Prosjekterte deponiløsning vil være en kombinasjon av sjøbunnsdeponi og strandkantdeponi. NGI har prosjektert tildekking av områder rundt og inntil deponiene. I tillegg skal NGI prosjektere tildekkingsløsning for sedimenter som ligger i ubåtbunkerne i DORA 1 og området rett på utsiden av DORA 1, som ikke er en del av deponiløsningen.

NGI har utført beregning av mudrevolum i alle tre delområder. Beregnet mudrevolum danner grunnlag for Multiconsults beregning av deponikapasitet.

Avsluttende tildekking på valgte deponiløsning er ansett å være en del av deponiløsningen og er derfor prosjektert av Multiconsult. SINTEF har imidlertid bidratt i vurdering av erosjon av deponitildekkingen ved å gjennomføre en tilsvarende metodikk for beregning av propellerrosjon som for tiltaksprosjekteringen i de tre delområdene.

Det har vært nødvendig med tett dialog mellom de to prosjekteringsgruppene og dette har vært ivaretatt ved jevnlig prosjekteringsmøter.

### **2.4 Grunnlagsdata**

NGI har mottatt følgende digitalt kartgrunnlag for beregning av mudrevolum:

- Digitalt kartgrunnlag fra Trondheim Havn;

- Oppmålingsdata fra nye målinger utført i 2013 og tidligere oppmålingsdata er mottatt fra Geo Subsea. Data er levert som SOSI-format. Alle kotehøyder er relatert til LAT.
- Digitalt kartgrunnlag fra Trondheim kommune;
  - Lokalisering av flytebrygger i Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna.
  - Landdata for Trondheim i EU89 UTM (Sone 32) LAT i SOSI format.
- Utskrift fra havnetrafikkregisteret fra Trondheim Havn
- Søk i båttyperegister
- Grunnlagsdata for enkelte båter fra Trondheim Havn

Følgende tegninger er mottatt fra Trondheim Havn:

- Jernbanebru
- Brattørbrua
- Brattørmolo
- Planlagt ny kai søndre kai, Brattørbassenget. Grunnlag fra Norconsult
- Bolverk i Kanalen (flere tegninger)
- Brygge Fjordgata 34-54
- Bolverk trekaier i Brattørbassenget
- Snitt forsterkning Molohode Brattøramoloen, utføres høst 2013
- Profil St. Olavs Pir
- Kai 57 (Norcem) i Nyhavna
- Profil Strandveikaia, Nyhavna

Følgende rapporter er mottatt fra Trondheim Havn:

- Kartlegging, Renere havn, Trondheim havn, Nyhavna. GeoSubsea 266-13-B
- Profiler og areal- volumberegninger, Renere havn, Trondheim havn, Kanalen, Gryta, Ytre basseng. GeoSubsea. 264-13-B
- Renere havn, Ytre basseng, Profiler ny kaifront. GeoSubsea, 264-13-B
- R864-Trondheim havn-Kai 57. Ladehammeren. Trondheim kommune 24.04.1992

I tillegg har prosjektgruppen gjennom møter med Trondheim Havn fått oppgitt spesifikke krav til seilingsdyp, samt angitt områder hvor det ikke er aktuelt å mudre av flere årsaker. Krav til seilingsdyp og forutsetninger fra Trondheim Havn er gitt i eget notat (TH, 2013) og detaljert i NGI-notat 20130339-01-TN (NGI, 2013).

## **2.5 Alternativsvurderinger**

Tiltaksplanen for havnebassenget skisserer løsninger mot forurenset sediment for de ulike delområdene (NGI, 2011). Etter at tiltaksplanen ble utarbeidet har Trondheim kommune og Trondheim Havn arbeidet videre med en planprosess for Nyhavna, samt at bruken av havneareal og krav til framtidig seilingsdyp i alle delområder er klarlagt. Dette har dannet grunnlag for en diskusjon og spesifisering av krav og rammer (pkt 2.1 til 2.3) for videre prosjektering av tiltak. Dette gir følgende forutsetninger for prosjektering:



### *Måloppnåelse*

Det er ikke foreslått tiltaksløsninger som ikke oppfyller miljømål nevnt i kap. 1.3 og 1.4.

### *Seilingsdyp*

Trondheim Havn har oppgitt ønsket seilingsdyp for de ulike delområdene, som skal ivareta framtidig arealbruk. Seilingsdypet ligger som en fast forutsetning for prosjektering av tiltaksløsning i de tre delområdene.

### *Mudredyp*

Behov for mudring angis ut fra om det er tilstrekkelig dyp i området også etter tildekking. I prosjektering av tildekkingslag er det opprinnelige mudredypet på 0,5 m dypere enn seilingsdyp ikke endret for beregning av mudrevolum, men i kost-nytte vurderingen er i imidlertid en eventuell reduksjon i mudrevolum pga. reduksjon av opprinnelig fastlagt tildekkingsbehov (< 0,5 m) diskutert.

### *Mudremetoder*

Prosjekterte deponiløsning tar utgangspunkt i at masser som skal legges inn i deponiet har lavt vanninnhold. Aktuelle mudremetode i de ulike delområdene vil derfor være en form for mekanisk mudring. Under vurdering av mudremetoder er likevel de mest kjente metodikkene beskrevet da det kan være aktuelt med annen metode enn mekanisk mudring i områder med spesielle tekniske utfordringer eks. Ravnkløpet. Utredning av ulike mudremetoder for hvert delområde inngår derfor ikke som en del av alternativløsningsforslag, og er kun diskutert der det er aktuelt.

Ut fra overnevnte gitte rammer for prosjekteringen har alternativs-vurderingen for de tre delområdene dermed hovedsakelig omfattet ulike tildekkingsløsninger med eller uten mudring.

## **2.6     *Detaljnivå for prosjektering***

Forprosjektering for tiltak i de 3 delområdene er basert på de generelle forutsetningene som gitt over; seilingsdyp gitt av Trondheim Havn, innledende stabilitetsvurderinger for kai- og brukonstruksjoner, molo og fyllinger, samt avslutning mot land.

Ulike mudremetoder er presentert og diskutert ved å angi fordeler og ulemper ved de ulike metodene.

Det er lagt til grunn mudringsskråninger som vurderes stabile i permanent fase etter tildekking og som ikke vil svekke stabilitet av eksisterende konstruksjoner. Volumberegninger baseres på høydeforskjell mellom dagens sjøbunn og ny modellert sjøbunn. Det er ikke grunnlag for å beregne volum utenfor områder hvor det ikke finnes oppmålingsdata. I Kanalen er det imidlertid gjort en estimering av dette volumet da det pga. Kanalens lengde antas at dette volumet er betydelig.

Tildeckingsprosjektering gir en vurdering av aktuell tykkelse for tildekkingslaget for å oppfylle krav til erosjon og isolering. Utleggingsmetodikk er ikke angitt i denne fasen og skal detaljeres i neste faser av prosjektet. For å nå miljømål er det prosjektert tildekking i alle mudreområder.

### **3 Beregninger av mudrevolum**

#### ***3.1 Oppbygging av ny terrengmodell og beregning av mudrevolum***

For å beregne seilingsdybde i Trondheim Havn, i delområdene Kanalen, Nyhavna, Brattørbassenget, er det laget en terrengmodell som grunnlag for mudringsdybder. Som grunnlag for modellen er oppmålingsdata fra GeoSubsea som viser nåværende sjøbunnsdybde i LAT benyttet. Trondheim Havns spesifikke krav til enkelte delområder er inkludert i modellen (TH, 2013b), samt plassering av flytebrygger og enkelte bygningsmessige anlegg. En terrengmodell av ønsket situasjon ble produsert i programvaren ESRI Arc MAP 10.0 ved bruk av 3D Analyst-ekstensjonen. Metodikken som ble fulgt var å konstruere ønsket situasjon, med dybder til -0.5 m dypere enn sluttsituasjon for å ta høyde for et tildekkingslag på 0,5 m. I Kanalen ble seilingsdybde i seilingsled satt til kote -3.5 m LAT, slik at konstruert kotebilde får seilingsdyp kote -4.0 m LAT. Som bakgrunn for konstruksjonen av kotene forelå bakgrunnsdata i form av kart og ortofoto, samt FKB-data fra kommunen. I enkelte områder og i bakkant av flytebrygger ble det konstruert skråninger på 1:3 for med bakgrunn i stabilitetsmessige forhold, se nærmere beskrivelse under stabilitetskapitler. Ferdig konstruerte koter ble interpolert til en terrengmodell via koter til TIN-modell, og TIN til raster. Hvert områdes terrengmodell ble klippet til kaikant ved hjelp av et polygon, slik at kun sjøbunnsdata ble tatt med i beregning av volum og slik at ingen polygoner for enkeltdelområder overlapper. Terrengmodell fra konstruert og nåtidig situasjon ble så brukt som grunnlag for funksjonen "Cut Fill" i ArcMap. Cut Fill beregner volumendring fra dagens situasjon (oppmålte dybder) til ønsket situasjon (etter tiltaksgjennomføring). Kart over områdene er gitt i vedlegg A.

#### ***3.2 Forutsetninger for terrengmodell for Kanalen***

I Kanalen ble områdene Jernbanebrua-Gryta, Jernbanebrua-Ravnkloa, Ravnkløløpet, Ravnkloa, samt Ravnkloa-Skansen konstruert hver for seg. Dette på grunn av ulike forutsetninger for de ulike delområdene, men samtidig med krav til at seilingsdyp og dybde ut mot kaikantene i nord og sør skal harmonisere. Polygoner for hvert delområde ble konstruert slik at det ikke blir overlapp mellom delområdene med medfølgende overlapp i eventuelt volum som skal fjernes. I overgangen fra Ravnkløløpet til Kanalen manglet det data, slik at resultatet i søndre del av Ravnkløløpet er basert på en interpolasjon mellom datagrunnlag fra Kanalen og Ravnkløløpet. I områder langs land hvor det ikke finnes data er det ikke utført samme interpolasjon. Dette fordi dette vil gi store usikkerheter avhengig av om det er strandkant, kaikanter eller fyllinger i disse områdene. For disse områder er det derfor gjort en egen vurdering beskrevet i kapittel for prosjekterte tiltak i Kanalen.

### **3.3 Forutsetninger for terrengmodell for Brattørbassenget**

I Brattørbassenget ble steinfyllinger langs kaier, samt mot St. Olavs pir, og nye fyllinger/fundamenter for kaier for hurtigbåtene fjernet fra beregningene. Langs Brattørmoloen er det konstruert en antatt skråning på molo-fylling basert på gamle tegninger. Det ble konstruert koter fra 0 m LAT langs ytterkant av utstikkere på moloen til -5.5 m LAT i forhold 1:3 fra langs hele Brattørmoloen. I indre del av Brattørbassenget beholdes dagens dyp. I ytre del av bassenget er grunnlaget for modellen gitt et dyp på kote -5.5 m LAT.

### **3.4 Forutsetninger for terrengmodell for Nyhavna**

I Nyhavna ble området delt i to, hhv østre og vestre basseng. I øst var ønsket situasjon kote -6 m LAT ferdig dyp. Her ble det konstruert en terrengmodell med høyde kote -6.5 m LAT. For Vestre basseng ble det konstruert et grunnlag med høyde mellom kote -7.5 m LAT og kote -8.5 m LAT (for ønsket ferdig dyp kote -7 og kote -8 m LAT). Fyllinger langs land i innseilingen til Nyhavna samt langs kai 44 er tatt ut av beregningene.

## **4 Mudremetoder**

For vurdering av aktuelle mudremetoder i de tre delområdene er erfaringer fra utførte prosjekter sammen med momenter og data i veileder for mudremetoder (DNV, 2008) benyttet. Eventuelle begrensninger knyttet til materialets beskaffenhet i de ulike delområdene er kommentert for hvert delområde. Det er ikke gitt føringer eller begrensninger til anleggsarbeidet mtp arkeologiske objekter, derfor er ikke dette hensyntatt i vurdering av mudremetode. Faktorer som vurderes i valg av metode er gitt i Tabell 1.

Det vil i alle delområdene være nødvendig med en grundig opprydding og fjerning av avfall på sjøbunnen før mudrearbeidene starter. De ulike mudremetodene har ulik følsomhet og tåleevne knyttet til avfall, men erfaringsmessig vil en rydding i forkant gi færre stopp og mindre nedetid for mudrefartøyet under utførelse.

Mudremetoden har stor innvirkning på det endelige vanninnhold i masser som skal deponeres. Det er som diskutert over gitt føringer for beskaffenheten til masser som skal legges i deponiet, som vil ha betydning for valg av mudremetode. Ved valg av mudremetode som genererer store vannvolum vil det være nødvendig med et avvanningsanlegg. Slik deponiene er konstruert er det ikke aktuelt å bruke disse som avvanningsområder. Multiconsult har i sin deponiprojektering tatt høyde for at noe av mudringsmassene kan leveres med høyt vanninnhold, men dette volumet vil være begrenset (MC, 2013). Kravet til bestandigheten av massene vil derfor være det mest utslagsgivende for valg av mudremetode.

De ulike mudremetodene gir ulik påvirkning knyttet til spredning av forurensning under utførelse. Det vil være mulig å sette opp partikkelsperrer i flere av tiltaksområdene under utførelse, for å unngå spredning fra mudreområdet. Det vil normalt

stilles samme krav til overvåkingsregime av mudrearbeidet ved både mekanisk og hydraulisk mudring. Spredningen trenger derfor ikke å være utslagsgivende for valg av mudremetode.

Faktorer som oppgir mengder og nøyaktighet vil i dette prosjektet være underordnet i valg av metode for mudring, da kravet til beskaffenheten av masser vil være styrende for metode. Mekanisk mudring utpeker seg derfor som den mest aktuelle mudremetode i områder det ikke er strenge krav til spredning internt i mudreområdet eller det skal mudres innunder kaikonstruksjoner o.l.

Under en mudreoperasjon vil det dannes et resuspensjonslag på toppen av sedimentene. Mektigheten av resuspendert materiale avhenger av blant annet metode, hastighet og vannstrøm. Hydraulisk mudring (sugemudring) kan f.eks. i slike tilfeller være aktuelt som metode for å mudre dette resuspensjonslaget. For de aktuelle mudreområdene i Trondheim havn skal områdene tildekkes med rene masser etter ferdig mudring. Dermed vil det resuspenderte materiale fra mudreprosessen, som i andre tilfeller har blitt remudret, bli tildekt og dermed bedre tilfredsstillende måloppnåelsen.

Tabellen nedenfor er tilpasset arbeidsforholdene i områdene som skal mudres i Trondheim Havn og aktuelt utstyr for arbeidene. Det er små forskjeller på teknisk driftssikkerhet mellom utstyret.

Tabell 1: Hovedmetoder for mudring med steds spesifikk vurdering for lokaliteter i Trondheim havn.

Metode	Mekanisk mudring	Hydraulisk/mekanisk mudring
<b>Beskrivelse</b>	Mekanisk mudring utføres med grabbapparat eller bakgraver. Grabb / graveskuff tilpasses arbeidet som skal utføres.	Ved hydraulisk mudring benyttes vann til å transportere mudringsmassene. Metoden består av ren suging av løse masser eller suging i kombinasjon med mekanisk løsgjøring av massene.
<b>Skrot/avfall på sjøbunnen</b>	Lite sårbar for skrot/avfall på bunnen. Krever ingen eller begrenset opprydding av skrot før arbeidet påbegynnes.	Metoden er svært sårbar for skrot på og i sjøbunnen. Krever omfattende arbeid med rydding av skrot på sjøbunnen før arbeider igangsettes.
<b>Utstyr/massetyper</b>	Bakgraver kan benyttes på alle massetyper.  Grebbeapparat kan benyttes på løst til noe fast lagrede masser. Vekt på grabb er avgjørende for hvor harde masser som kan mudres.	Sugeutstyr kan benyttes på løst lagrede masser. (Suction Dredge, Trailer Hopper Dredge og "Seabed utstyr").  Horisontal Auger montert på grave-maskin kan også være aktuelt.  Kuttersuger er ikke egnet til arbeidene på grunn av små volumer og trange arbeidsforhold.
<b>Spredning/oppvirvling</b>	Spredning i gravefasen ved sjøbunn og ved transport til overflaten. Fare for større spredning dersom gjenstander blokkerer for lukking av grabb/skuff.	Aktuelt utstyr gir beskjeden spredning ved sjøbunn og ingen spredning ved transport til overflaten.
<b>Nøyaktighet ved posisjonering av utstyr</b>	5 – 10 cm. Toleransene krever nøyaktig posisjoneringsutstyr.	10 – 20 cm. Toleransene krever nøyaktig posisjoneringsutstyr.
<b>Kapasiteter</b>	50 – 150 m <sup>3</sup> /time	50 – 200 m <sup>3</sup> /time
<b>Innblanding av vann</b>	Ca. 10 – 20 %. Avvanning ikke nødvendig.	80 – 95 %. Avvanning nødvendig. Kan for eksempel skje i deponi eller ved bruk av geotubes.
<b>Transport til deponi</b>	Lektertransport eller transport på bil.	Kan pumpes til deponi eller om bord i båt for transport til deponi.

## 5 Beregning av tildekkingsmektighet

Tildekking over forurensede sedimenter skal beskytte organismene som lever på sjøbunnen mot miljøgiftene i sedimentet og hindre spredning til vannet over tildekkingen. For å ivareta denne funksjonen må tildekkingen oppfylle følgende funksjoner:

- Hindre at tildekkingslaget eroderer
- Hindre at bølger og vannstrøm gir økt forurensningstransport gjennom hele tildekkingslaget og virker ned i det forurensede sedimentet
- Hinder organismene som lever på sjøbunnen å komme i direkte kontakt med det forurensede sedimentet under tildekkingen
- Redusere transporten gjennom tildekkingen slik at miljømålet for overflate sedimentet overholdes

Samt ta høyde for:

- At det er økt transport i deler av tildekkingslaget på grunn av bioturbasjon
- At deler av det forurensede sedimentet blandes med tildekkingsmassen ved utleggingen
- Usikkerhet og variasjon i konstruert tildekkingstykkelse sammenlignet med designet tykkelse

I vurderingen av anbefalt tykkelse på tildekkingslaget er det tatt utgangspunkt i at sjøbunnsoverflaten etter tiltaket skal ha et innhold av miljøgifter tilsvarende klasse III eller bedre og at normal bruk av området ikke skal endre dette.

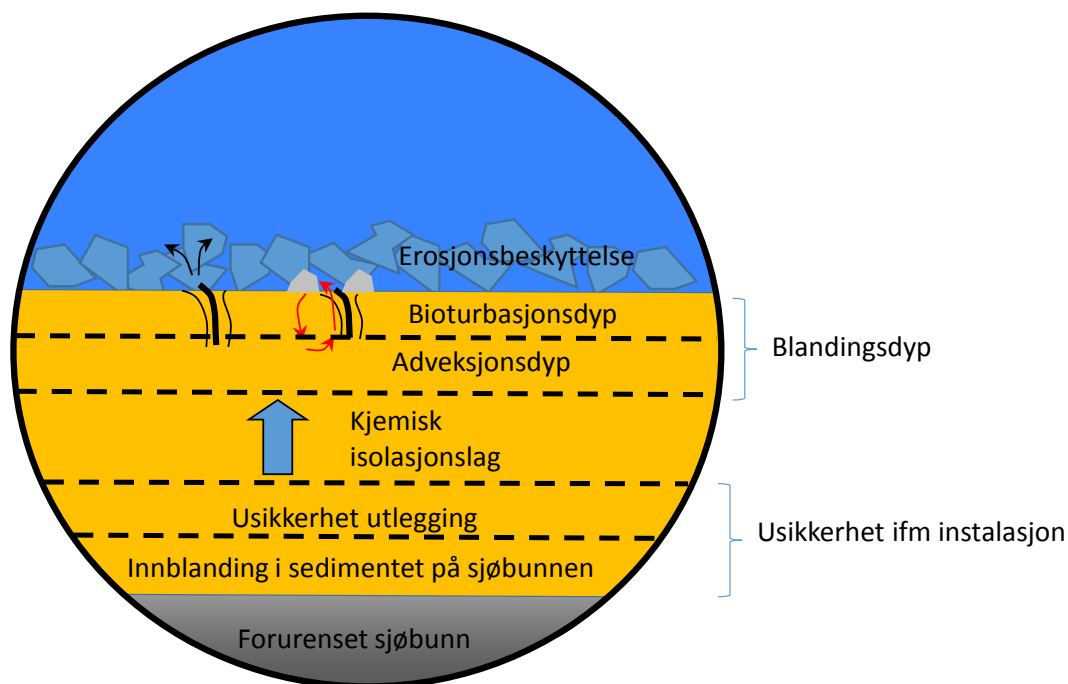
### 5.1 Overordnet cap-design

For å ivareta alle funksjonene beskrevet ovenfor kan designet av tildekkingen bygges opp slik som illustrert i Figur 2.

I denne fasen vil ikke lagene som utgjør "usikkerhet ifm installasjon" tas med i endelig prosjektert tykkelse. Dette vil være avhengig av metode og leverandør. Estimater av disse lagene er i det videre kun nevnt til orientering.

Den totale tildekkingstykkelsen basert på tykkelsen av de ulike lagene blir da:

$$h_{cap\_design} = h_{erosjon} + h_{bioturbasjon} + h_{adveksjon} + h_{kjemisk\_isolasjon} + h_{installasjon}$$



Figur 2: Prinsipp illustrasjon for prosjektering av tildekkingslag

## 5.2 Erosjonsbeskyttelse

For at tildekkingen ikke skal erodere bort må den øverste delen av tildekkingen ha en kornstørrelse som ikke eroderes under de strømforholdene som kan forventes i området.

Det er tidligere anbefalt at tykkelsen på laget for å beskytte mot erosjon skal være minimum 10 cm tykt (NGI, 2005). Dersom det er behov for stein med diameter over 2 – 5 cm vil et lag på 10 cm bestå av bare 2 – 5 x diameteren på steinen. Det anbefales derfor at det erosjonsbeskyttende lagets tykkelse skal være minimum 3 x  $d_{50}$  for de massene som brukes i erosjonsbeskyttelseslaget.

Forventet maksimal (signifikant) strømhastighet ved sjøbunnen som følge av båttrafikk (propellstrøm) er estimert av SINTEF, basert på skipstyper som skal anvendes i de ulike delområdene gitt i Tabell 2. I tillegg er det beregnet en dimensjonerende partikkelstørrelse for erosjonslaget. Dette er oppgitt som den minste sedimentstørrelse ( $d_{50}$ ) som er beregnet å ligge i ro ved maksimal propellstrøm. Beregningene er beskrevet i vedlegg D.

Tabell 2: Beregnet propellstrøm for båter i de ulike delområdene gitt i SINTEFs vurdering vedlegg D. Propellstrømmen er brukt for å vurdere behov for erosjonsbeskyttelse.

Delområde:	Nyhavna				Brattør-bassenget	Kanalen
<b>Kaier/lokalitet</b>	Kai 41-43, 46	Utenfor kai 44	Kai 55 (og 56)	Kai 57, Norcem-kai	Ytre basseng	
<b>Båt</b>	Nordvåg	BOA Tyr	With Junior	Cartagena, Cork	Kyst-ekspressen	Delphia 40 e.l.
<b>Dypgående (m)</b>	5,2	5	5,3	6,8	2	2,2
<b>Propelldyp (m)</b>	3,4*	3,7	3,5	4,5*	1	0,8
<b>Motoreffekt (kW)</b>	2237	2 x 1640	1840	2 x 2500	2 x 2320	30
<b>Propelldiameter</b>	2,5	2,5	3,2	3,4*	0,71	0,3
<b>Vannndyp</b>	-8 LAT	-7 LAT	-6 LAT	-7,5 LAT	-5 LAT	-3,5 LAT
<b>Motorpådrag (%)</b>	30 og 60	30 og 60	30 og 60	30 og 60	40 og 60	70
<b>Makshastighet lavt motorpådrag (m/s)</b>	1,5	2,6	2,2	3,3	2,2	N/A
<b>Makshastighet høyt motor-pådrag (m/s)</b>	1,9	3,3	2,8	4,1	2,5	0,4
<b>Minste d50 før suspensjon ved lavt pådrag (mm)</b>	7	35	24	67	25	N/A
<b>Minste d50 før suspensjon ved høyt pådrag (mm)</b>	14	69	46	123	36	0,54

\*Estimat ingen sikre data funnet

I deler av Nyhavna og i Brattørbassenget er båttypen som er dimensjonerende for strømforholdene og vannndypet slik at den dimensjonerende vannstrømmen langs bunnen blir 2,5 m/s eller større. Størrelsen på stein som er nødvendig for å hindre



erosjon blir derfor veldig stor. For å legge ut et erosjonsbeskyttende lag som skal gi høy grad av sikkerhet mot erosjon over lang tid er det derfor nødvendig med et erosjonslag på mer enn 20 cm mektighet. Dette vil bety en betydelig større tildekkingsstykkelse enn i andre områder og kan derfor medføre behov for større mudredyp for å opprettholde seilingsdyp. Alternative måter å håndtere dette på kan være:

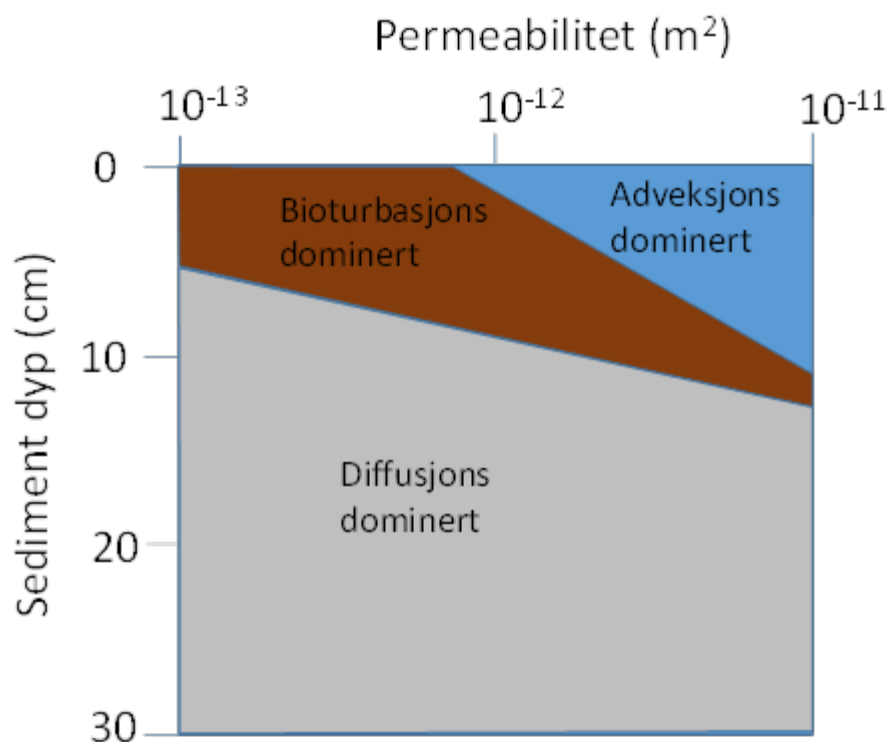
1. Benytte beregnet erosjonslag men redusere tykkelsen på isolasjonslaget, og dermed akseptere at det kan bli en noe dårligere effekt i de delene av tiltaksområdene som påvirkes i særlig grad av de største båtene.
2. Øke mudringsdypet i forhold til forutsatt dyp for å gi plass til erosjonsbeskyttelse med stein og samtidig opprettholde gitt seilingsdyp i de mest erosjonsutsatte områdene.
3. Alternativ til erosjonsbeskyttelse med stein, kan erosjonsbeskyttelsen eventuelt bygges opp av betongmatter med mindre mektighet.

### **5.3 Bioturbasjonslag**

Organismer som lever på sjøbunnen kan grave seg relativt dypt ned i sedimentet. Det er imidlertid vanlig å anta at den delen av sedimentet der det skjer en aktiv blanding av sedimentene er mindre enn 10 cm tykk.

### **5.4 Adveksjonslag**

Strømmende vann over ujevnheter på sjøbunnen kan gi trykkforskjeller over tildekkingen og dermed adveksjon (vannstrøm) i de øverste lagene av tildekkingen. Dette indikerer at bare de øverste 10 cm av sedimentet (permeable) er påvirket av adveksjon. Andre studier har sett effekt ned til 25 cm (Loeff, 1980), se Figur 3. Denne effekten vil påvirke bioturbasjonslaget og erosjonsbeskyttelsen og eventuelt tildekkingslagene under dette. I tildekkingsdesignet er det derfor lagt til et lag for adveksjonsbeskyttelse slik at summen av dette laget, erosjonslaget og bioturbasjonslaget blir 20 cm ved lav strømhastighet (< 1 m/s) og 25 cm ved høyere strømhastighet. I de områdene der tildekkingen utsettes for særlig høy strømhastighet (deler av Nyhavna) anbefales det at tykkelsen for å beskytte underliggende del av tildekkingen gis ekstra tykkelse som ekstra sikkerhet i forhold til adveksjon som følge av propellstrøm. Tykkelsen av erosjonsbeskyttelsen, bioturbasjonslaget pluss ekstra tykkelse for å redusere adveksjon bør da være til sammen 40 cm (25 cm x 1,5).



Figur 3: Fra Huettel and Webster 2001, opprinnelig fra Huettel and Gust 1992 MEPS

## 5.5 Kjemisk isolasjonslag

### 5.5.1 Beregning av tykkelse kjemisk isolasjonslag

Tykkelsen av isolasjonslaget i tildekkingen (tildekkingsmasse der diffusjonstransport dominerer) skal være slik at transport av miljøgifter gjennom tildekkingen ikke fører til at konsentrasjonen i sedimentet i overflaten overskrider miljømålet.

I forbindelse med risikovurderingen som ble gjort av alle delområdene i Trondheim havn er det målt konsentrasjon av metaller, TBT, PAH og PCB i porevannet. Disse målingene er brukt som grunnlag for beregning av transport gjennom tildekkingslaget.

Beregning av tykkelse for isolasjonslaget gjøres for de stoffene som gir størst overskridelse i risikovurderingen. For Nyhavna er dette stoffene arsen, kobber, sink, TBT, PCB og en rekke PAH-forbindelser. For Brattørbassenget (Brattøra Nord) er det stoffene arsen, kadmium, kvikksølv, PAHer, PCB og TBT som gir størst overskridelse. Mens for Kanalen er det stoffene arsen, kvikksølv, PAH, PCB og TBT som gir høyest risiko i risikovurderingen. Spredningsvurderingen for arsen er meget konservativ slik at arsen ikke benyttes for å dimensjonere tildekkingen. For å beregne PAH transport brukes to styrende komponenter, pyren som er en forbindelse med høy mobilitet og benzo(a)pyren (BaP) som har betydelig toksisk effekt.

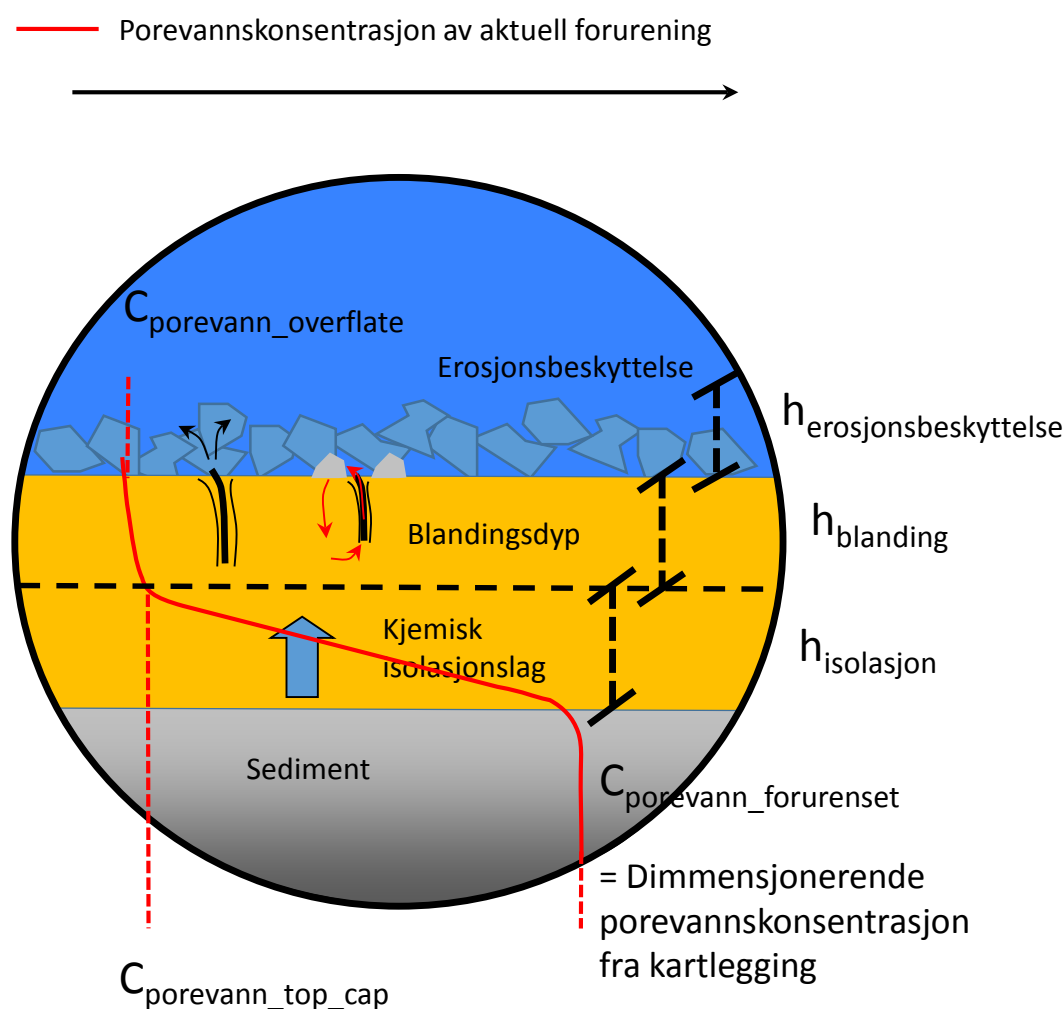
Beregningene for PCB7 gjøres basert på PCB52 som er en relativ mobil komponent. Inputparametere benyttet i beregningene er gitt i Tabell 3.

Tabell 3: Inputparametere for beregning av kjemisk isolasjonslag.

<b>Egenskaper til det forurensende stoffet</b>	
Fordelingskoeffisient for fordeling mellom tildekkingsmateriale og vann, $\log K_d$	Veileder for risikovurdering av forurenset sediment (Miljødirektoratet TA 2802 2011)
Diffusjonskoeffisient i vann, $D_w$	Veileder for risikovurdering av forurenset sediment (Miljødirektoratet TA 2802 2011)
Nedbrytningshastighet	0
<b>Egenskaper til Sediment/Bioturbasjonslag</b>	
Porevannskonsentrasjon i forurenset sediment, $C_o$	Målt i sedimentet i det aktuelle området eller beregnet fra totalkonsentrasjon målt i sedimentet i det aktuelle området. Data hentet fra risikovurderingen av området (NGI, 2011 b)
Gjennomstrømming (adveksjon) i isolasjonslaget	0
Sedimentasjon	0
Tykkelse av bioturbasjonslaget	10 cm
Biodiffusjonskoeffisient for vann, $D_{bio}^{pw}$	0 cm <sup>2</sup> /år
Biodiffusjonskoeffisient for partikler, $D_{bio}^p$	5 cm <sup>2</sup> /år
Transport koeffisient, $k_{bt}$	0,75 cm/t
<b>Tildekkingsegenskaper</b>	
Dyp der isolasjonslaget legges	Bioturbasjonsdyp + tykkelse isolasjonslag
Type tdekkingsmateriale -granulært (G) or Konsolidert silt/leire (C)	G
Konsolidering av tildekkingen	0
Konsolidering av underliggende sediment	0
Porøsitet, e	0,4
Partikkel densitet, $\rho_p$	2,6

### 5.5.2 Beregning av kjemisk transport gjennom isolasjonslag

Miljømålet for Trondheim havn er at konsentrasjonene i sedimentet skal være tilsvarende klasse III eller lavere. Beregning av transport gjennom tildekkingslaget er gjort med en modell utarbeidet av Prof. Reible (Lampert og Reible, 2009). Denne modellen beregner transport gjennom et isolasjonslag, et bioturbasjonslag og fra tildekkingsoverflaten og ut i vannet. Modellen beregner også konsentrasjonen i bioturbasjonslaget som oftest er de øverste 10 cm av sjøbunnen. Nødvendig tykkelse av isolasjonslaget beregnes ved å justere denne tykkelsen til konsentrasjonen er i klasse 3 eller bedre.



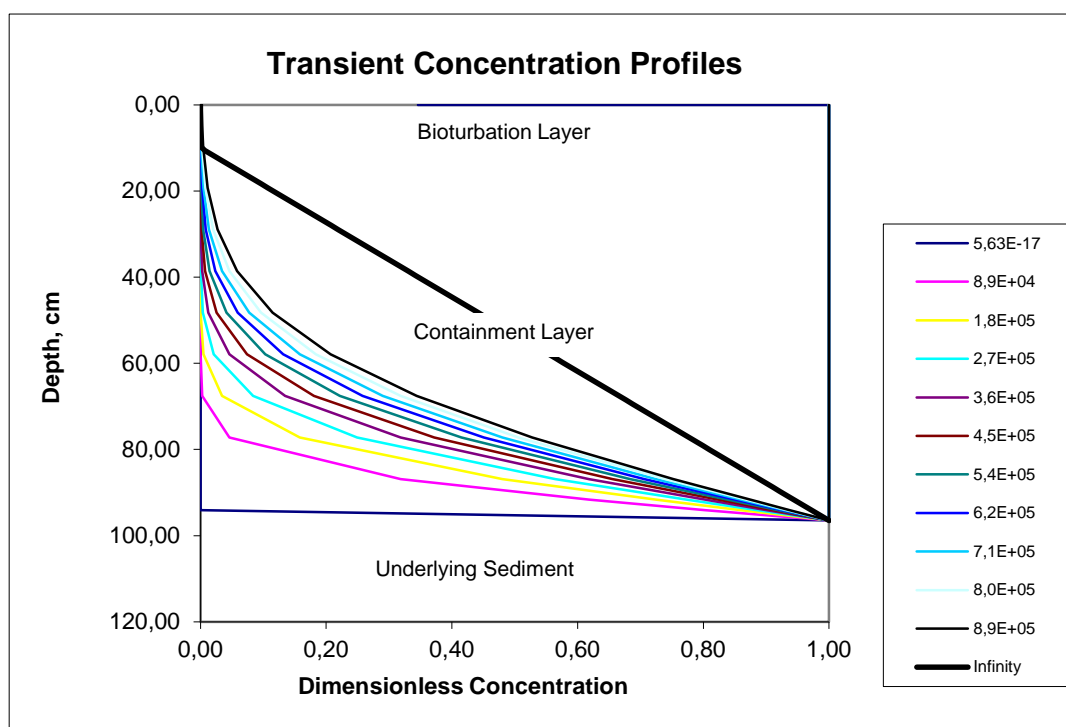
Figur 4: Illustrasjon av konsentrasjonsgradient og transport gjennom tildekking

I den delen av tildekkingslaget som ikke påvirkes av bioturbasjon eller vannstrøm og trykkforskjeller (isolasjonslaget) vil diffusjon være den viktigste mekanismen for transport av forurensing i tildekkingslaget. Hastigheten av diffusjonen gjennom tildekkingen vil bestemme hvor mye miljøgifter som tilføres overflatesedimentet der bunnfauna lever og hvor mye som lekker ut fra tildekkingen til vannet over.

Før miljøgifter lekker ut av tildekkingen vil tildekkingen binde opp disse i tildekkingslaget, mens det etableres en konsentrasjonsgradient gjennom tildekkingen som styrer utlekkingen på veldig lang sikt ("steady state"). Tiden det tar før miljøgifter har fylt opp bindingskapasiteten i tildekkingen kan ta svært lang tid. Tykkelsen på tildekkingen er beregnet slik at den skal oppfylle kravene til å beskytte overflatesedimentet (Klasse III) også etter at bindingskapasiteten i tildekkingen er brukt opp. I denne fasen er det bare den forlengede diffusjonsveien gjennom tildekkingen som begrenser transporten og dermed konsentrasjonen i overflate sedimentet.

I tillegg til isolasjonstykkelsen legges lag/tykkelse for bioturbasjon, erosjonsbeskyttelse, adveksjon, utleggingspresisjon, innblanding i underliggende masser og masser nødvendig for stabilitet.

Tykkelse som tilfredstiller miljømålet er beregnet med en analytisk modell utviklet av Prof. Danny Rieble ved Texas Tech University (Lampert og Reible, 2009). Det er beregnet nødvendig tykkelse ved å bruke konsentrasjon i porevannet i de enkelte delområdene som ble målt i forbindelse med risikovurderingen av Trondheim havn.



Figur 5: Estimerte konsentrasjonsgradienter i tildekkingslaget på ulike tidspunkt etter en tildekking. Svart tykk linje viser konsentrasjonsprofilen ved maksimal spredning gjennom isolasjonslaget. Isolasjonslaget er designet slik at konsentrasjonen i bioturbasjonslaget skal holde seg i klasse III eller lavere også ved maksimalspredning.

## 5.6 *Usikkerhet konstruksjon*

Erfaringer fra tynntildekking i forskningsprosjektet Opticap (NGI-rapporter 20071139-00-123-R og 20071139-120-R og NIVA-rapport 5775-2009) viste at usikkerheten ved utlegging av tynne lag (2 – 5 cm) var 30 – 60 % av tykkelsen. Erfaring fra utlegging av fyllinger i forbindelse med utlegging av rørledninger offshore er at høyde forskjellen mellom furene som dannes ved utlegging med rør (trempipe) er 30 cm. Gitt det relativt beskjedene vanddyper i områdene som skal dekkes til vurderes 10 cm usikkerhet som et realistisk estimat på reell usikkerhet. Denne usikkerheten legges til tykkelsen i tildekkingsdesignet og gir dermed redusert risiko for at konstruert tykkelse blir mindre enn designet. Tap av masse under utleggingen er ikke lagt inn i designet.

## 5.7 *Blandingssone mellom sediment og tildekking*

Det kan antas at ved forsiktig utlegging av tildekkingsmassene vil disse blandes inn i sedimentet under i en sone som tilsvarer maksimum 2 – 3 x største kornstørrelse. Den delen av tildekkingen som er blandet med forurenset sediment vil ikke fungere som en del av isolasjonen av forurensningen og må derfor legges til designtykkelsen. Kornstørrelsen for massene som benyttes antas å være mindre enn 20 mm (i massene som brukes i de nederste delene av tildekkingen). Vanddyper i havnebassenget gjør også at det er mulig å legge ut tildekkingen forsiktig slik at innblanding i de forurensete sedimentene minimeres. Tykkelsen på blandingssonen antas derfor å være 5 cm.

## 5.8 *Tildekking med aktive tildekkingslag*

I tillegg til en tildekking med passive materialer der virkemåten er å forlenge diffusjonsveien fra forurensningen på sjøbunnen og ut i vannet, kan også hele eller deler av tildekkingen bestå av massene som har spesielle egenskaper som øker effekten av tildekkingen.

To viktige typer aktive tildekkingsmasser kan være aktuelle:

- Masser med lav permeabilitet
  - Et lag med slike masser over det kjemiske isolasjonslaget kan bidra til å redusere vannbevegelser i tildekkingen som følge av vannstrøm, bølger og tidevann. Dette vil fungere som et optimalt adveksjonslag, og kan kanskje gjøre at denne tykkelsen kan reduseres. En slik tildekking kan bestå av for eksempel leiretildekking, en "Clay liner" eller av betongmatter og kan være aktuelt under erosjonsbeskyttelseslaget og bioturbasjonslaget, særlig i områder der sjøbunnen vil bli utsatt for sterk propellstrøm.
- Et lag med masser med høy sorpsjonskapasitet for de aktuelle miljøgiftene
  - Et lag med slike masser vil binde miljøgifter som er på vei opp (som følge av diffusjon) gjennom tildekkingen og kan dermed øke tiden før gjennombrudd av miljøgifter gjennom tildekkingslaget. På lang sikt (uendelighetsperspektivet/"steady state") vil den teoretiske

transporthastigheten imidlertid være lik som for passive materialer. Tiden dette tar kan bli så lang at andre prosesser som for eksempel ny sedimentasjon (eller andre geologiske endringer) vil være avgjørende for resultatet.

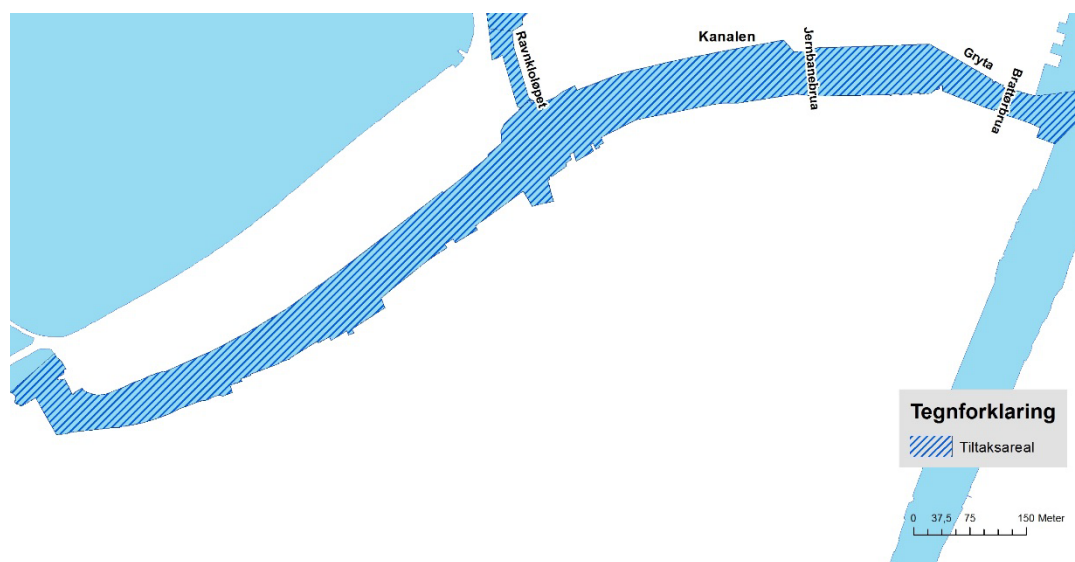
- En aktiv tildekking vil også redusere transporten gjennom tildekkingen dersom andre effekter er undervurdert i designet av tildekkingen. Eksempler på dette kan være dersom bioturbasjonen blander masser dypere i tildekkingen enn forutsatt eller adveksjon påvirker porevannstransporten dypere enn forutsatt som eksempel. På denne måten kan aktiv tildekking gi økt sikkerhet mot transport gjennom tildekkingen.

Med et aktivt materiale, som for eksempel aktivt kull, kan man anta at et lag på 10 cm (aktiv tildekking) kan erstatte følgende tykkelser i tildekkingsdesignet: Bioturbasjonslaget, adveksjonslaget, isolasjonslaget og innblandingslaget. For at en slik tildekking skal være langsiktig er det særlig viktig at det aktive laget ikke eroderer. Derfor er det lagt inn et 5 cm tykt ekstra overgangslag mellom erosjonsbeskyttelsen og den aktive tildekkingen.

## 6 Prosjekterte tiltak i Kanalen

### 6.1 Generell områdebeskrivelse

Delområdet Kanalen ligger i den sørlige delen av Trondheim havn mellom Brattøra og bykjernen (Figur 6). Kanalen er ca. 1500 m lang og ca. 60 m bred, og har et areal på ca. 100.000 m<sup>2</sup> (inkl. Ravnkløpet og utenfor Tavern). Kanalen går fra Skansen bru gjennom et område bebyggt med brygger og kaier, hvor mange av kaiene er av bolverk som er i dårlig stand. Mange av de gamle bryggene står på trepåler. Kanalen er preget av småbåttrafikk. Byggingen av ny tunnelkulvert ved Skansen bru i vei-prosjektet Nordre avlastningsvei har gitt begrensninger for dypgående for båter inn i Kanalen.



Figur 6: Delområde Kanalen, med Ravnkløpet. Tiltaksområdet er skravert.

### 6.2 Bunnforhold, topografi

Store deler av Kanalen har lite seilingsdyp fordi det har vært lite vedlikeholdsmudring i området grunnet den dårlige stabiliteten i kaikonstruksjoner og brygger. Dybdene i Kanalen varierer fra kote -2 til -7 LAT. Nordre del av kanalen har hovedsakelig dypere sjøbunn enn søndre del. Dette fordi det flere steder langs og under brygger på sørsiden av løpet er strand som går i slak helning ut til midten av Kanalen. I nordre del av Kanalen er det bryggerekker, dels av spunt og dels av tre (bolverk). Inntil bolverk er det innfylt masser av stabilitetsmessige hensyn, slik at sjøbunnen dette område har mindre dyp og har slakere helning mot sør. Bunntopografien er vist på kart gitt i kartvedlegg A-1 og vedlegg B-1.

### 6.3 Beskrivelse av tilstanden i sedimentene og risikovurderingen

Sedimentene i hele delområdet har høyt innhold av metaller, spesielt kobber og delvis kvikksølv i tillegg til høyt innhold av PAH. I Kanalen er det påvist



sedimentkonsentrasjoner tilsvarende tilstandsklasse IV for PAH, kvikksølv, bly, kobber, PCB og TBT. Det er i tillegg påvist PAH og kvikksølv i klasse V. Helt vest i Kanalen ved Skansen bru er det i tillegg høyt innhold av bly i sedimentene. Organiske miljøgifter (PAH) ligger hovedsakelig i den vestlige halvdel av Kanalen, mens TBT er påvist i høye konsentrasjoner i hele Kanalen.

Sedimentundersøkelsene viser at det er en gradvis sakte forbedring av tilstanden i sedimentene, og de høyeste konsentrasjonene er påvist litt dypere ned i sedimentene. Undersøkelsene viser også at partikler i vannfasen inneholder sedimentkonsentrasjoner tilsvarende tilstandsklasse IV for kobber, PAH og TBT. Det forurensede sedimentlaget har en betydelig mektighet fordi kloakk fra gammelt av ble sluppet direkte i Kanalen. I dag går kloakken til renseanlegg, men overvann fra byen går fortsatt til Kanalen. Konsentrasjoner klassifisert iht til tilstandsklasser for sediment (Klif, 2012a).

Beregningene fra risikovurderingen (NGI, 2011b) viser at det foregår spredning av særlig arsen, bly, kobber, krom, nikkel og sink fra delområdet og derved også muligheter for at det kan spres ut av Kanalen. For human risiko er det arsen og PAH-forbindelsen benzo(a)pyren som overskrider tolerabel risiko. For økologisk risiko er det arsen, PAH-forbindelsen pyren og TBT (store overskridelser) som overskrider tolerabel risiko.

Tabell 4: Gjennomsnitt- og maks konsentrasjoner i sedimenter i Kanalen (NGI, 2011b).

Stoff	PCB (sum7)	PAH (sum16)	B(a)p	TBT	As	Pb	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Zn
	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	µg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
Maks	1,2	89	2,800	81	20	246	3,6	110	120	3,44	91	440
Gjennomsnitt	0,10	12,8	0,517	54	9	73	1,1	63	48	0,80	35	202

#### 6.4 Massebeskrivelse

Massebeskrivelser fra undersøkelser utført i 2011 for Kanalen viser at mudremasser i Kanalen vil bestå av gytjemasser som har høyt finstoffinnhold (NGI, 2001a). I NGIs undersøkelser fra 2010 gir kornfordelinger høyt finstoffinnhold, men det er også innslag av grusmateriale. Grabbprøver inneholdt gytje, med innslag av gruskorn. Det er kun kornfraksjon under 2 mm som er kvantifisert, men feltbeskrivelser og foto angir synlige gruskorn i materialet. Materialet som er klassifisert fra sedimentundersøkelsene er tatt fra prøvepunkter hovedsakelig midtre del av Kanal-løpet. Mudremasser i strandsoner mot land antas å inneholde en større andel grovfraksjon som sand og grus, pga. naturlige avsetningsprosesser. Det forventes at det i forbindelse

med stabilitetsmessige tiltak kan være innfylt grovere masser inntil kaikanter. I tillegg vil det pga. brøyting av snø være grovere masser i områder hvor det har vært naturlig å losse brøytesnø ut fra kaikantene.

Tabell 5: Kornfordelinger fra sedimentundersøkelser (NGI, 2011a)

Prøvepunkt	<2 µm (%TS)	<16 µm (%TS)	<45 µm (%TS)	<63 µm (%TS)	<125 µm (%TS)	<250 µm (%TS)	<500 µm (%TS)	<1000 µm (%TS)	<2000 µm (%TS)
T144	8.2	19.9	26.5	33.1	36.6	37.2	37.5	37.7	37.9
T146	9	24.4	37	43.1	47.9	49.2	49.9	50.4	50.9



Figur 7: Grabbprøver i Kanalen

## 6.5 Tiltaksbehov

I tiltaksplanen foreslås tildekking av Kanalen for å nå det operasjonelle målet for området, samt at det må påregnes mudring i for å unngå redusert seilingsdyp ved tildekking av sedimentene. Siden det bl.a. har vært utslipp av kloakk til Kanalen forventes det forurensede laget å ha en stor mektighet, og det vil ikke være hensiktsmessig å fjerne hele laget ved mudring. Ved mudring vil også dypereliggende sedimenter med høyere konsentrasjoner kunne eksponeres og medføre spredning. Siden man med stor sannsynlighet mudrer seg ned i mer forurenset sediment er det gitt at mudreområdene må tildekkes for at sjøbunnen skal bli renere.

## 6.6 Framtidig arealbruk og forutsetning for seilingsdyp

Dagens seilingsdyp i Kanalen er begrenset i enkelte områder, og en tildekking av sedimentene vil medføre reduksjon i seilingsdyp. Trondheim kommune har som mål å fortsatt tilby småbåthavn i Kanalen. Trondheim Havn har gitt føringer for seilingsdyp som skal ivareta dette ved en gitt dybde i seilingsled og ved flytebrygger. Dette legger føringer for framtidig bruk. Vurderinger av dybder for avslutning mot land er beskrevet under kapitlet geoteknisk stabilitet. Følgende kriterier er lagt til grunn for de ulike delområdene i Kanalen:

### *Skansenløpet til Ravnkloa*

Dagens seilingsled går langs den nordre del av Kanalen. Seilingsleden skal opprettholdes og ha et minimumsdyp på kote -3,5 LAT. Leden skal gå ut til midten av Kanalen. På sørsiden av Kanalen skal det på innsiden av flytebryggene være et minimums dyp på kote -2 LAT etter tiltak.

### *Ravnkloa - Ravnkløløpet*

I Ravnkloa er det flytebrygger med båter som går i rutetrafikk til Munkholmen samt fiskebåter. Det ligger flytebrygger i Ravnkloa i dag. Flytebrygge med rutetrafikk skal ha seilingsdyp på minimum kote -3 LAT på hver side av brygga.

### *Ravnkloa til Jernbanebrua*

Seilingsleden skal ligge midt i Kanalen og skal ha en minimumsbredde på 10 m og minimum seilingsdyp kote -3,5 LAT. På innsiden av flytebrygger skal det være kote -2 LAT.

### *Jernbanebrua til Gryta*

Seilingsleden skal ligge midt i Kanalen og minimums skal ha en minimumsbredde på 10 m og minimum seilingsdyp kote -3,5 LAT. På innsiden av flytebrygger skal det være kote -2 LAT. Mot Gryta og bolverk skal det gjøres tilpasninger for å unngå å påvirke stabiliteten av bolverket negativt.

### *Gryta og Tavern*

Eksisterende kaikanter består hovedsakelig av eldre bolverk. For å unngå å redusere stabiliteten av disse trekonstruksjonene og bevare disse slik de er i dag, er det ikke aktuelt å øke seilingsdypet i dette området. Det er ikke aktuelt med mudring for så å tildekke, da mudringsprosessen kan innvirke på stabiliteten under utførelse. I dette området skal det derfor kun tildekkes. Trondheim Havns vurdering av stabiliteten av bolverket er ikke overprøvd i denne prosjekteringen og havnas vurdering er derfor lagt til grunn for prosjekteringen. Området utenfor Tavern har også bolverk. Dette området har tilstrekkelig dyp i dag og vil være avslutningsområde for tildekkingen som gjøres i Kanalen.

Trondheim havn har ikke særskilte krav til dybde i manøvreringsområder eller mellom utliggere på flytebrygger. Her er det derfor for beregning av mudringsvolum modellert en skråning basert på eksisterende dyp, krav til dyp på innside flytebrygger samt dyp i seilingsled.

## **6.7 Skråningsstabilitet, stabilitet av kaikonstruksjoner, brygger**

Fremlagte bunnprofiler viser at skråninger på sjøbunnen i hovedsak ligger med helning 1:3 og slakere. I volumberegningene er det antatt permanente mudrings-skråninger med helning 1:3 for å sikre stabilitet etter tildekking. Inn mot eksisterende konstruksjoner er helning og mudringsdybde valgt ut fra ønske om ikke å svekke stabilitet av konstruksjonene. Dette vil bli mer detaljert i senere fase.

## 6.8 Mudring

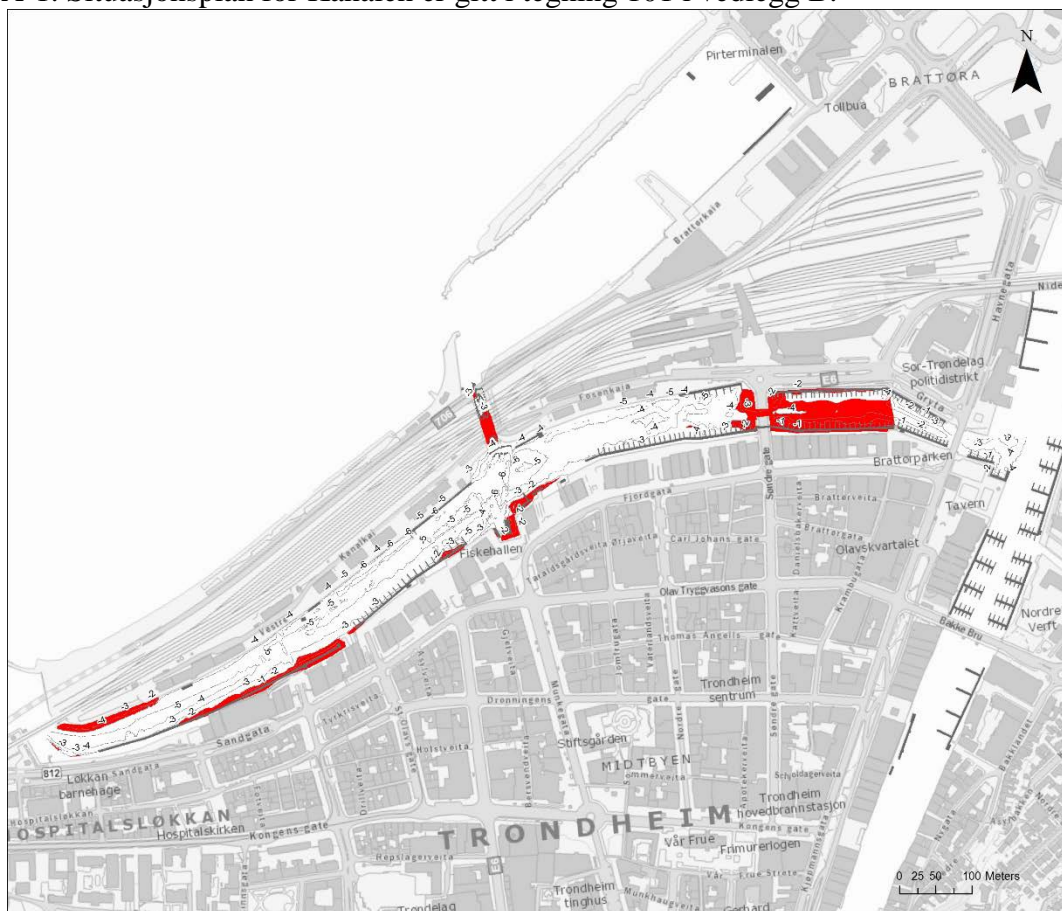
### 6.8.1 Mudreområder

Vurdering av hvilke områder som skal mudres er basert på vurdering av mulighet for mudring ut i fra stabilitetshensyn samt forutsetninger for seilingsdyp gitt for hvert delområde. I tillegg er Trondheim Havns ønske om ikke å mudre i Gryta pga. usikkerheten knyttet til stabilitet av eldre kaikonstruksjoner tatt hensyn til. Havnas krav til seilingsdyp er brukt som spesifisering for å lage en ny terrengmodell av ønsket dyp etter at tiltak er gjennomført. I terrengmodellen er det i denne fasen av prosjekteringen forutsatt et tildekkingslag på maks 0,5 m.

Oppsummert er følgende lagt til grunn:

- Langs flytebrygger, innside mot kai/brygger/land, kote -2 LAT
- Ravnkloa, flytebrygger, langs kai kote -3 LAT
- Seilingsled, fra Ravnkloa til Gryta: 10 m bred, kote -3,5 LAT
- Seilingsled, Skansen til Ravnkloa: Bredde fra nordre kant til midt i løpet, kote -3,5 LAT.

Mudreområder er skravert med rødt i Figur 8 og vist i større målestokk i kartvedlegg A-1. Situasjonsplan for Kanalen er gitt i tegning 101 i vedlegg B.



Figur 8: Områder hvor det skal mudres i Kanalen

### 6.8.2 Beregning av mudrevolum i Kanalen

Basert på grunnlagsdata og gitte forutsetninger for seilingsdyp fra Trondheim havn, samt stabilitetsvurderinger er det beregnet et mudrevolum i Kanalen på 13.000 m<sup>3</sup> faste masser, hvorav Ravnkløløpet utgjør ca. 200 m<sup>3</sup>.

I områder langs land i Kanalen hvor det ikke finnes dybdata, er det ikke grunnlag for å beregne mudrevolumer som beskrevet i kapittel 3. Dette gjelder særlig ut mot kantene av kanalen, og resulterer i et uavklart volum inn mot kaifrontene/bryggene pga. manglende grunnlag. Figur tegning 201 i vedlegg B illustrerer hvor det er data og hvordan usikker volum i områder uten data er beregnet i Kanalen. Figuren viser et konstruert profil plassert noe øst for Jernbanebrua.

Slik som det prosjekterte minimumsdypet for kanalen er definert til nå (før tildekking), ser det ut til at det er et betydelig massevolum utenfor det området som er dekket med dybdata som det ikke er gjort rede for se figur i tegning 201 i vedlegg B. Ved definering av minimumsdypet er det tatt utgangspunkt i en dybde på -2,5 LAT på innsiden av flytebryggene, ref. kapittel 3. Flytebryggenes plassering er gitt av kommunens kartgrunnlag for plassering av flytebrygger. Dette vil føre til en undergraving av eventuelle fundamenter under bryggene og man fjerner noe av trepelens sidestøtte. Dette kan ikke aksepteres. Det er derfor konstruert en skråning i området mellom gitte dybde-data for sjøbunn og land. Vurderinger er basert på visuelle observasjoner av tidevannsplanet ved gitte tidspunkt sammenlignet med kjente data i tidevannstabeller for å estimere nåværende sjøbunnsnivå i det området vi mangler data. Dette har resultert i følgende forutsetninger:

- Områder nærmere enn 3 m fra bryggerekker på trepeler skal ikke mudres.
- Mudringsskråning fra 3 m fra bryggerekker skal ikke være brattere enn 1:3

Som vist i vedlegg B vil disse forutsetningene føre til at det usikre volumet mot bryggerekkene reduseres, men flytebryggene må trolig flyttes lenger ut i kanalen. Inn mot kaiene på motsatt side (nord) av kanalen vil det være noe økning i volumet, men dette vurderes å være mindre enn estimert reduksjon inn mot bryggene. Volumet som er estimert i den "usikre" delen av kanalen, dvs. utenfor oppmålt område, vurderes derfor å ligge innenfor det totale, angitte mudringsvolum i kanalen på ca. 13 000 m<sup>3</sup>.

Områdene som i dag ikke er kartlagt bør måles inn før detaljprosjekteringen. Størrelsen på volumet vil kunne endres under detaljprosjektering eller ved endrede forutsetninger som kommer fram under prosjekteringen.



## 6.9 Tildekking i Kanalen

### 6.9.1 Tildekkingsområder

Etter mudring skal sedimentene i hele Kanalen tildekkes med rene masser etter mudring. Avslutning av tildekkingen mot land under brygger og tilsvarende må vurderes i detaljprosjekteringen.

### 6.9.2 Dimensjonerende partikkelstørrelse – propellersjon

For hvert av delområdene er det beregnet stedsspesifikk propellersjon på bakgrunn av hvilke typer båter som benytter området. I Kanalen er det tatt utgangspunkt i en større småbåt, med gitt propellstørrelse og motorkraft. Trondheim Havn har oversendt grunnlag og vært med i utvelgelse av type båt som skal representere området. SINTEF har ut fra sin modell beregnet strømhastigheter og minste kornstørrelse ( $d_{50}$ ) som ikke eroderes ved denne strømhastigheten (Tabell 6).

Tabell 6: Beregnet hastighet ved sjøbunn for dimensjonerende båt og dimensjonerende partikkelstørrelse ( $d_{50}$ ) for Kanalen.

Delområde	Kanalen
Båt	Delphia 40 e.l.
Dypgående (m)	2,2
Propelldyp (m)	0,8
Motoreffekt (kW)	30
Propelldiameter (m)	0,3
Vanddyp (m)	-3,5 LAT
Motorpådrag(%)	70
<b>Makshastighet høyt motorpådrag (m/s)</b>	<b>0,4</b>
<b>Minste <math>d_{50}</math> før suspensjon ved høyt pådrag (mm)</b>	<b>0,5</b>

Masser i sand eller grusfraksjonen med  $d_{50} > 0,6$  mm kan brukes som tildekkingsmasse i hele tildekkingens mektighet, også i øvre del av tildekkingen som skal sørge for erosjonsbeskyttelse.

### 6.9.3 Beregnet tildekkingsdesign for Kanalen

Basert på målte konsentrasjoner i sedimentet og informasjon om dimensjonerende strømhastighet, samt systematikken beskrevet i kapittel 5, er det her beskrevet en anbefalt tildekkingsstykkelse med aktive og rene masser, for delområdet Kanalen.

#### Alternativ 1: Tildekkingsdesign med rene masser

Tabell 7: Alternativ 1: Tildekkingsdesign med rene masser i Kanalen.

Tildekkingslag	Anbefalt tildekkingsstykkelse for delområde Kanalen	Kommentar
Erosjonslag	10 cm	Små båter i området betyr at et 10 cm tykt lag med $d_{50} < 0,54$ mm gir nok beskyttelse
Bioturbasjonslag	10 cm	Basert på Miljødirektoratets veileder (TA 2802 2011)
Kjemisk isolasjonslag	5 cm	Beregningene viste behov for $< 5$ cm for alle stoffene med høy risiko i risikovurderingen
Adveksjonslag	$(20 - 20 \text{ cm}) = 0 \text{ cm}$	Dette laget er tilstrekkelig dekket av erosjonslaget og bioturbasjonslaget
Usikkerhet konstruksjon	10 cm	Vurdert som beskrevet i kapittel 5.6
Blandingslag	5 cm	Vurdert som beskrevet i kapittel 5.7
<b>Total prosjektert tykkelse</b>	<b>40</b>	

Ekstra masser nødvendig for å dekke eventuelt tap av masser ved utlegging er ikke tatt med.

Basert på beregningene vil et uforstyrret isolasjonslag alene redusere utlekkingen av forurensing fra de forurensede sedimentene med mer enn 90 %. Den øvrige delen av tildekkingslaget vil redusere utlekkingen ytterligere. Den reelle reduksjonen vil være avhengig av den endelige bioturbasjonsaktiviteten og strømhastigheter i området.

Sand eller grusmasser med  $d_{50}$  mellom 0,6 og 10 mm kan brukes til hele tildekkingen i dette delområdet. Egnethet av massene som skal brukes til tildekking må vurderes i forhold til kravene Miljødirektoratets veileder for testing av masser for tildekking (SFT, 2006). Oppbygging av tildekkingslag og utleggingsmetodikk detaljeres i neste fase.

#### Alternativ 2: Tildekkingsdesign med aktive materialer

Siden det ikke forventes store strømhastigheter i dette området er ikke en permeabilitetsbarriere (et lag med lav permeabilitet) aktuelt her. De miljøgifter som utgjør størst miljørisiko i dette området kan alle bindes i masser med aktivt materiale. Et

aktivt materiale (eks. aktivt kull) kan man anta at et lag på 5 - 10 cm aktivt materiale blandet med bæremasser kan erstatte følgende tykkelser i prosjektert tildekkingsstykkelse: Bioturbasjonslaget, adveksjonslaget, isolasjonslaget og innblandingslaget. For at en slik tildekking skal være langsiktig er det særlig viktig at det aktive laget ikke eroderer. I detaljprosjekteringen kan man derfor vurdere om det er områder som trenger noe tykkere lag eller større d50 i erosjonsbeskyttelsen.

Tabell 8: Tykkelser med aktiv tildekking i Kanalen.

Tildeckingslag	Anbefalt tildekkingsstykkelse for delområde Kanalen, aktivt materiale
Erosjonslag	10
Bioturbasjonslag	0 cm
Adveksjonslag	0 cm
Kjemisk isolasjonslag	5
Usikkerhet konstruksjon	10 cm
Blandingslag	0 cm
<b>Total tykkelse design</b>	<b>25</b>

Dersom alternativet med aktiv tildekking velges så må detaljprosjekteringen se på hvilke bærematerialer for de aktive massene som er aktuelle og hvordan filteregenskapene for massene skal ivaretas i overgangen mellom ulike typer masser.

Egnet av massene som skal brukes til tildekking må vurderes i forhold til kravene Miljødirektoratets veileder for testing av masser for tildekking (SFT, 2006). Oppbygging av tildeckingslag og utleggingsmetodikk detaljeres i neste fase.

## 6.10 Tiltaksgjennomføring i Kanalen

### 6.10.1 Trafikklogistikk i Kanalen i tiltaksperioden

I Kanalen er det i all hovedsak småbåter/fritidsbåter som benytter flytebryggene. I Ravnkloa er det trafikk av fiskebåter, samt at Munkholmbåtene går tur/retur Ravnkloa Munkholmen i sommerhalvåret. I tillegg ligger det eldre båter (restaurantbåter, husbåter og forfalne båter) langs vestre side av Kanalen fra Jernbanebrua og sørover mot Skansen bru. Adkomst til Kanalen er via Skansen bru, Ravnkløløpet eller via Brattørbrua og Jernbanebrua. En kort beskrivelse av krav til høyde og dypgående på båter som passerer de ulike broene er gitt i Tabell 9.



Tabell 9: Beskrivelse av broer som må passeres ved adkomst til Kanalen

Bru	Type bru	Seilingshøyde	Seilingsdyp
Skansen bru	Hevbar jernbane bru	4,0 m	2,8 m
Ravnkløløpet	Kjørebru og jernbanebru	4,9 m	7,0 m
Brattørbrua	Kjørebru med bevegelige bruklaffer	4,5 m	4,0 m
Jernbanebrua	Hevbar kjørebru	4,6 m	4,7 m



Figur 9: Bruer i Kanalen; Skansen bru (øverst til venstre), Ravnkløløpet (øverst til høyre), Brattørbrua (nederst til venstre) og Jernbanebrua (nederst til høyre)

I forbindelse med utførelse av mudring og tildekking i Kanalen, kan det være aktuelt å stenge Skansenløpet, Ravnkløløpet og Brattørøløpet i perioder for å redusere partikkelspredning ut i havnebassenget.

Det vil være behov for å flytte flytebyggene med tilhørende småbåttrafikk under tiltaksperioden. Båtene som ligger langs vestre side av Kanalen fra Jernbanebrua og sørover mot Skansen bru kommer ikke i konflikt med tiltaksarbeidene og kan trolig bli liggende gjennom tiltaksperioden.

Fiskebåtene som går til Ravnkloa må i forbindelse med mudring av Ravnkløløpet og Ravnkloa passere Skansen bru og legge til sør for Ravnkloa.

#### *6.10.2 Vilkår for mudring i Kanalen*

I Kanalen skal det hovedsakelig mudres i områder som ligger åpent og tilgjengelig, bortsett fra under Jernbanebrua midt i Kanalen, samt i Ravnkløløpet. Det skal ikke mudres under kaikonstruksjoner eller bryggerekker. Arealet i Ravnkløløpet er begrenset, men det kan være aktuelt med annen type mudring i dette området, hvis det viser seg at mekanisk mudring ikke lar seg gjennomføre. Vurdering av dette vil inngå som en del av detaljprosjekteringen.

Seilingsdypet i Kanalen er begrenset for store fartøyer. Det er mulig å stenge av Kanalen under mudrearbeidet, og dermed mulighet for fysiske sperrer mot partikkelspredning. Partikkelsperren kan settes opp for hele Kanalen, ved å plassere partikkelsperre ved utløpene, eller i seksjoner.

Beskrivelse av utførelse av mudringen som inkluderer en vurdering av logistikken rundt utførelsen er en del av detaljprosjekteringen.

## 7 Prosjekterte tiltak i Brattørbassenget

### 7.1 Generell beskrivelse

Brattørbassenget er ca. 80.000 m<sup>2</sup> og er avgrenset av Brattørmoloen i nord/nordvest, (Figur 10) St. Olavs Pir med Ravnkløløpet i vest samt fylling mot Pirterminalen i øst og kaifront mot Jernbanen i sør. I bassenget trafikkerer hovedsakelig hurtigbåter, men det er også noe småbåttrafikk. Det pågår i dag bygging av ny hurtigbåtterminal i sentrale deler av bassenget, mens det på innsiden av ny terminal planlegges småbåthavn (gjestehavn) samt trapp i fyllingsfront lengst øst. Det prosjekteres en ny kai/promenade langs Brattørkaia i forbindelse med etablering av ny terminal.



Figur 10: Tiltaksareal i Brattørbassenget

### 7.2 Bunnforhold, topografi

Topografien i Brattørbassenget skråner inn mot midten av bassenget fra Brattørmoloen, Pirterminalen og kaier i sør. I tillegg skråer sjøbunnen fra midtre del av bassenget ut mot utløpe av bassenget i vest. Dybdekart viser erosjon fra hurtigbåter ved dagens hurtigbåtkai innerst i bassenget. Etablering av en ny pir for ny hurtigbåtterminal har i anleggsfasen medført ny seilingsled for hurtigbåter nærmere Brattørmoloen og dermed mulighet for at nye områder har blitt erosjonspåvirket.

### 7.3 Beskrivelse av tilstanden i sedimentene og risikovurderingen

I sedimentene i Brattørbassenget er det påvist sedimentkonsentrasjoner tilsvarende tilstandsklasse IV og V for PAH og TBT. Sedimentene i delområdet inneholder generelt lave konsentrasjoner av metaller. Metaller er påvist i tilstandsklasse IV for

bly, kobber og kvikksølv. Sedimentene med noe forhøyet innhold av bly, kobber og kvikksølv ligger helt i sørvest i delområdet ved forbindelsen inn til Kanalen. Gjennomsnitt- og maks konsentrasjoner er klassifisert iht tilstandsklasser for sedimenter og er gitt i Tabell 10.

Beregningene fra risikovurderingen i tiltaksplanarbeidet omfatter et større delområde enn kun Brattørbassenget. Denne viser at det foregår spredning av særlig arsen, bly, kobber, krom, nikkel og sink fra områder grunnere enn 20 m i delområdet, hvor store deler av arealet grunnere enn 20 m ligger inne i Brattørbassenget. For human risiko er det arsen (store overskridelser), kadmium, krom og kvikksølv som overskrider maksimal tolerabel risiko i områder grunnere enn 20 m. For økologisk risiko er det arsen, PAH-forbindelsen pyren og TBT som overskrider tolerabel risiko i områder grunnere enn 20 m. Porevannskonsentrasjonen i sedimentprøvene fra området overskrider PNEC tilsvarende tilstandsklasse II (arsen, bly, kadmium, nikkel, sink og TBT) og tilstandsklasse III for kobber.

Tabell 10: Gjennomsnitt- og maks konsentrasjoner for prøver i Brattørbassenget.

Stoff	PCB (sum7)	PAH (sum16)	B(a)p	TBT	As	Pb	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Zn
	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	µg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
Maks	0,079	31	1,700	292	15	130	1,40	130	72	1,1	44	260
Gjennomsnitt	0,024	13	0,674	86	7	44	0,71	47	43	0,3	28	111

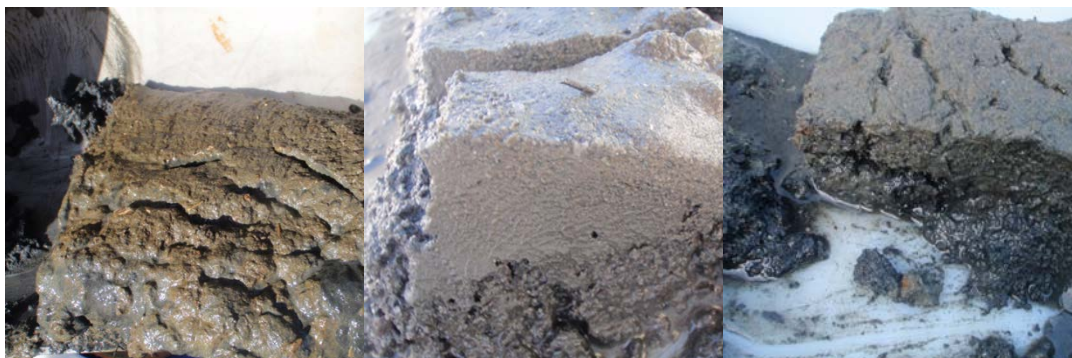
#### 7.4 Massebeskrivelse

Massebeskrivelser er hentet fra undersøkelser utført i 2010 (NGI, 2011a). Mudremasser i Brattørbassenget vil dels bestå av masser med et høyt finstoffinnhold. Prøver analysert i 2010 har partikkelstørrelse <2000 µm på hhv 82,7 % og 90,3 %. Visuelle beskrivelser av materialer viser et finstofflag over gråsvart feit silt over noe grovere siltmasser.

Tabell 11: Kornfordelinger fra sedimentprøver i Brattørbassenget (NGI, 2011a).

Prøvepunkt	<2 µm (%TS)	<16 µm (%TS)	<45 µm (%TS)	<63 µm (%TS)	<125 µm (%TS)	<250 µm (%TS)	<500 µm (%TS)	<1000 µm (%TS)	<2000 µm (%TS)
T132	7.6	23.1	44.6	54.6	69.5	75.8	78.7	80.7	82.4
T134	1	2.3	4	5.7	16.1	52.3	81.8	89	90.3





Figur 11: Grabbprøver i Brattørbassenget

## 7.5 Tiltaksbehov

I Brattørbassenget er det i tiltaksplanen foreslått mudring langs kaier og molo med etterfølgende tildekking for ikke å redusere seilingsdypet. Mulighet for mudring begrenses av stabilitet av molo samt kaier. Innerst i bassenget skal det etableres en trapp ut i sjøen, det er ikke avklart nøyaktig hvor langt ut i sjø denne skal gå, men det er planlagt at den vil dekke hele bredden av bassenget. Under trappen skal sjøbunnen isoleres/tildekkes. Miljøtilstanden i sedimentene i de sentrale deler av hurtigbåtbasenget er ikke dokumentert.

## 7.6 Framtidig arealbruk og forutsetning for seilingsdyp

### *Brattørkaia – område fra hurtigbåtpir til St Olavs pir*

Ytre del av Brattørbassenget som inkluderer kai og manøvreringsområde for hurtigbåter skal ha seilingsdyp på kote -5 LAT.

Parallelt med denne prosjekteringen pågår prosjektering av en strandpromenade med lett trekai på trepeler. Området inn mot denne har ikke spesifikke krav til seilingsdyp.

I forlengelsen av strandpromenaden mot Ravnkløløpet er gamle kaikonstruksjoner stabilisert med masser som ikke skal fjernes. Dette området vil ha tilstrekkelig seilingsdyp etter tildekking av 0,5 m. Videre nærmere Ravnkløløpet er det fylling som ikke skal mudres, da det ikke er behov for større seilingsdyp i dette området. Trondheim Havn ser derfor ikke behov for mudring her.

Utløpet av Ravnkløløpet vil ha tilstrekkelig seilingsdyp etter tildekking av 0,5 m. Trondheim Havn ser derfor ikke behov for mudring i dette området.

### *Brattørkaia – område fra hurtigbåtpir til hotellet*

Trondheim Havn opplyser at dybde i dag er tilstrekkelig for fremtidig bruk som gjestehavn og at det dermed kun er nødvendig med tildekking.

### *Innside Brattørmolo*

På innsiden av Brattørmoloen skal det være flytebrygger langs hele moloen. Seilingsdyp skal være kote -2 LAT på innsiden av flytebrygger mot land. Trondheim Havn

har ikke krav til avstand fra land ut til flytebrygger, men ønsker at flytebrygger skal plasseres så nært molo som mulig. Stabilitet for molo skal være styrende for mudring. Det er ikke aktuelt å mudre ned i fylling som inngår i molokonstruksjonen. Tegningsgrunnlaget for eksisterende molokonstruksjon er mangelfullt. Det er derfor knyttet store usikkerheter til hva som er mulig å oppnå av mudredyp uten å berøre konstruksjonen.

## **7.7 Skråningsstabilitet, stabilitet av kaikonstruksjoner, brygger**

Fremlagte bunnprofiler viser at skråninger på sjøbunnen ligger i hovedsak med helning 1:3 og slakere. I volumberegningene er det antatt permanente mudringskråninger med helning 1:3 for å sikre stabilitet etter tildekking. Inn mot eksisterende konstruksjoner er helning og mudringsdybde valgt ut fra ønske om ikke å svekke stabilitet av konstruksjonene. Dette vil bli mer detaljert i senere fase.

Ut fra gamle tegninger for Brattørmoloen ligger foten av blokkmuren på kote 0 referert til høyde "Trondheim lokal", dvs. ca. kote +0,84 LAT. Blokkmuren er fundamentert på underliggende steinfylling med skråning 1:3 inn mot Brattørbassenget. Ut fra dagens nivå på topp mur ser det ut (som forventet) at moloen har satt seg betydelig og at foten av blokkmuren i dag ligger på ca. kote 0 LAT. I volumberegningene er mudringskråningene lagt med helning 1:3 fra 1,4 m utenfor antatt topp blokkmur for å unngå mudring i steinfyllingen som er fundament for blokkmuren.

## **7.8 Mudring i Brattørbassenget**

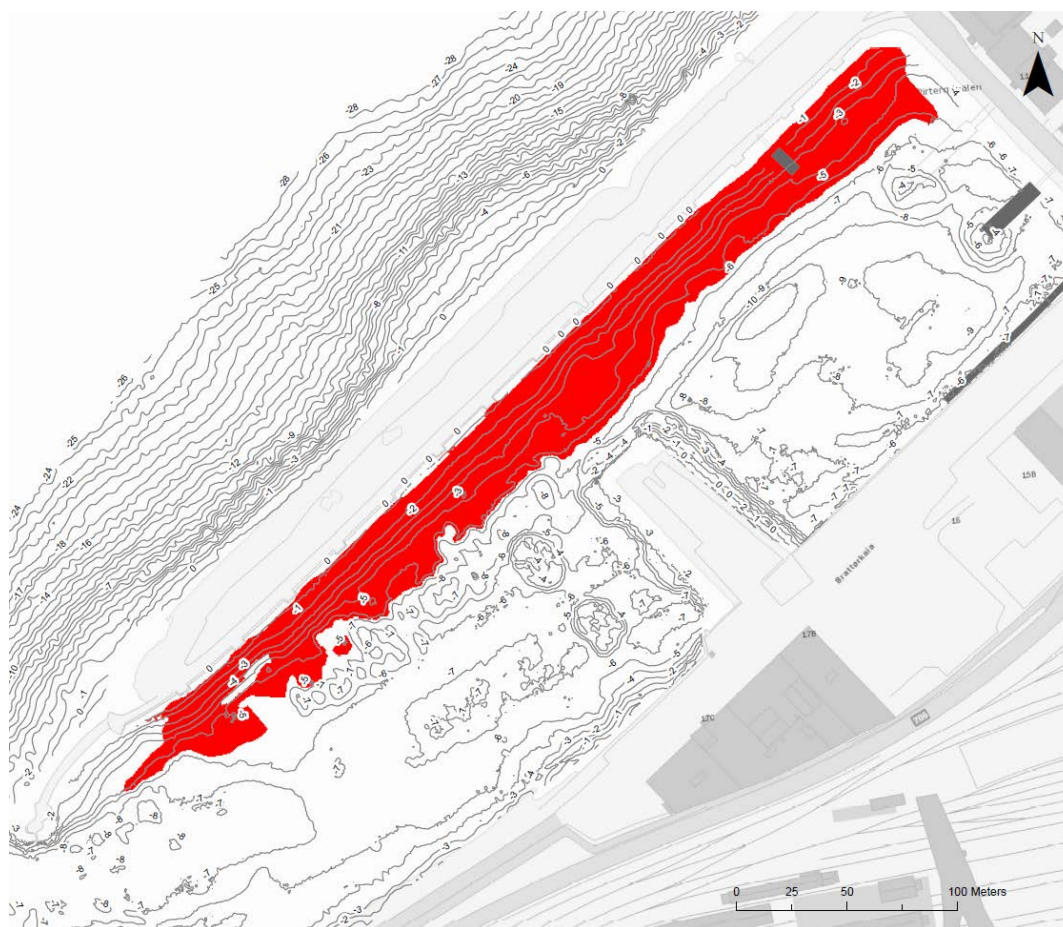
### **7.8.1 Mudreområder**

Vurdering av hvilke områder som skal mudres er basert på vurdering av mulighet for mudring ut i fra stabilitetshensyn samt forutsetninger for seilingsdyp gitt i kapittel 4.3. Havnas krav til seilingsdyp er brukt som spesifisering for å lage en ny terrengmodell av ønsket dyp etter at tiltak er gjennomført. I terrengmodellen er det i denne fasen forutsatt et tildekkingslag på maks 0,5 m.

Oppsummert er følgende lagt til grunn:

- Innside av flytebrygger langs Brattørmolo, kote -2 LAT
- Ytre del av bassenget ved Hurtigbåtpir, kote -7 LAT
- Indre del av bassenget har tilstrekkelig dyp inkl. tildekkingslag på 0,5 m

Mudreområder i Brattørbassenget er vist i Figur 12, og er vist i større målestokk i kartvedlegg A-2.



*Figur 12: Mudreområder i Brattørbassenget*

### 7.8.2 Beregning av mudrevolum i Brattørbassenget

Basert på grunnlagsdata og gitte forutsetninger for seilingsdyp fra Trondheim Havn, samt stabilitetsvurderinger er det beregnet et mudrevolum i Brattørbassenget på 14.000 m<sup>3</sup> faste masser. Størrelsen på volumet vil kunne endres under detaljprosjektering eller ved endrede forutsetninger som kommer fram under prosjekteringen.

## 7.9 Tildekking i Brattørbassenget

### 7.9.1 Tildekkingsområder

Miljøtilstanden i sedimentene i de sentrale deler av hurtigbåtbassenget er ikke dokumentert. Ved tildekking av hele området ivaretas mål om reduksjon av sedimentkonsentrasjon for hele delområdet, samt at eventuell spredning av forurensete masser fra propelloppvirvling pga. ny endret seilingsled under bygging av ny pir for terminalbygg ivaretas. Tildekkingsarealet er vist i Figur 10.

### 7.9.2 Dimensjonerende partikkelstørrelse - propellersosjon

For hvert av delområdene er det beregnet stedsspesifikk propellersosjon. I Brattørbassenget er det tatt utgangspunkt i at Kyst-ekspressen vil være dimensjonerende for strøm langs sjøbunnen. Trondheim Havn har oversendt grunnlag og vært med i utvelgelse av type båt som skal representere området. SINTEF har ut fra sin modell beregnet strømhastigheter og minste kornstørrelse ( $d_{50}$ ) som ikke eroderes ved denne strømhastigheten.

Tabell 12: Beregnet hastighet ved sjøbunn for dimensjonerende båt og dimensjonerende partikkelstørrelse ( $d_{50}$ ) for Brattørbassenget.

Sted	Brattørbassenget
Delområde	Ytre basseng
Båt	Kystekspresen
Dypgående (m)	2
Propelldyp (m)	1
Motoreffekt (kW)	2 x 2320
Propelldiameter	0,71
Vanddyp	-5 LAT
Motorpådrag (%)	40 og 60
<b>Makshastighet høyt motorpådrag (m/s)</b>	<b>2,5</b>
<b>Minste <math>d_{50}</math> før suspensjon ved høyt pådrag (mm)</b>	<b>36</b>

Masser i grusfraksjonen med  $d_{50} > 40$  mm kan brukes i erosjonsbeskyttelseslaget. Noe finere masser bør velges for lagene under det øverste laget for erosjonsbeskyttelse. I detaljprosjekteringen må filteregenskapene til massene i oppbyggingen av tildekkingslaget hensyntas (SFT, 2006).

### 7.9.3 Beregnet tildekkingsdesign for Brattørbassenget

Basert på målte konsentrasjoner i sedimentet og informasjon om dimensjonerende strømhastighet er systematikken beskrevet i kapittel 5, er en anbefalt tildekkings-tykkelse med rene masser og med aktive materialer, for delområdet Brattørbassenget beskrevet her.



## Alternativ 1: Tildekkingsdesign med rene masser:

*Tabell 13: Beregnet tildekkingsdesign for rene materialer i Brattørbassenget.*

<b>Tildeckingslag</b>	<b>Anbefalt tildekkingsstykkelse for delområde Brattørbassenget</b>	<b>Kommentar</b>
Erosjonslag	15	Behov for større kornstørrelse og betyr også behov for noe tykkere lag til erosjonsbeskyttelse i Brattørbassenget enn i Kanalen
Bioturbasjonslag	10	Basert på Miljødirektoratets veileder (TA 2802 2011)
Adveksjonslag	(30 – 25 cm) = 5 cm	Høyere dimensjonerende strømhastighet øker også effekt av adveksjon i tildekkingen. Tykkelse av laget økes til 30 cm
Isolasjonslag	5	Beregningene viste behov for <5 cm for alle stoffene med høy risiko i risikovurderingen
Usikkerhet konstruksjon	10 cm	Vurdert som beskrevet i kapittel 5.7.
Blandingslag	5 cm	Vurdert som beskrevet i kapittel 5.6.
<b>Total prosjektert tykkelse</b>	<b>50 cm</b>	

Ekstra masser nødvendig for å dekke eventuelt tap av masser ved utlegging er ikke tatt med her.

Basert på beregningene vil et uforstyrret isolasjonslag alene vil redusere utlekkingen av forurensing fra de forurensete sedimentene med mer enn 90 %. Den øvrige delen av tildekkingslaget vil redusere utlekkingen ytterligere. Den reelle reduksjonen vil være avhengig av den endelige bioturbasjonsaktiviteten og strømhastigheter i området.

Egnethet av massene som skal brukes til tildekking må vurderes i forhold til kravene Miljødirektoratets veileder for testing av masser for tildekking (SFT, 2006). Oppbygging av tildekkingslag og utleggingsmetodikk detaljeres i neste fase.

## Alternativ 2: Tildekking med aktive materialer

Siden det forventes betydelige strømhastigheter i dette delområdet kan det være aktuelt med et lag med et materiale med lav permeabilitet som hindrer adveksjon av vann nedover i tildekkingsmassen.

Alle stoffene som utgjør størst miljørisiko i dette området bortsett fra Cd, kan bindes i masser med aktivt kull. Aktivt kull er derfor et aktuelt som aktivt materiale for tildekking i dette delområdet. Med et slik aktivt materiale kan man anta at et lag på 5 - 10 cm aktivt kull blandet med bæremasser kan erstatte følgende tykkelser i prosjektert tildekkingsstykkelse: Bioturbasjonslaget, adveksjonslaget, isolasjonslaget

og innblandingslaget. For at en slik tildekking skal være langsiktig er det særlig viktig at det aktive laget ikke eroderer. I detaljprosjekteringen kan man derfor vurdere om det er områder som trenger noe tykkere lag eller større d50 i erosjonsbeskyttelsen. Dersom alternativet med aktiv tildekking velges, så må detaljprosjekteringen se på hvilke bærematerialer for de aktive massene som er aktuelle og hvordan filteregenskapene for massene skal i vare tas i overgangen mellom ulike typer masser.

Egnethet av massene som skal brukes til tildekking må vurderes i forhold til kravene Miljødirektoratets veileder for testing av masser for tildekking (SFT, 2006).

*Tabell 14: Tildekkingsdesign for aktive materialer*

<b>Tildeckingslag</b>	<b>Brattørbassenget</b>
Erosjonslag	15
Bioturbasjonslag	0 cm
Adveksjonslag	0 cm
Isolasjonslag	5
Usikkerhet konstruksjon	10 cm
Blandingslag	0 cm
<b>Total tykkelse design</b>	<b>30 cm</b>

## **7.10 Tiltaksgjennomføring i Brattørbassenget**

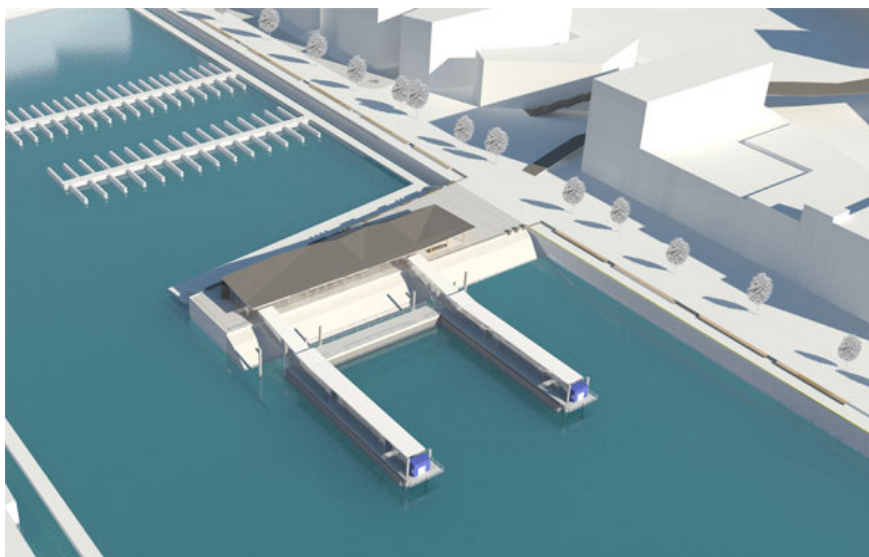
### *7.10.1 Trafikklogistikk i Brattørbassenget under tiltaksperioden*

#### *Ny hurtigbåtterminal*

I Brattørbassenget er det nå under bygging en ny hurtigbåtterminal. Den etableres som en direkte forlengelse av gangbrua "Sjøgangen" ut fra kaikant i sør. Dette betyr at rutetrafikken som i dag går fra indre del av bassenget flyttes til ytre del av bassenget. Den nye hurtigbåtterminalen vil dermed bli en del av et det viktigste kollektivknutepunktet i Trondheim for tog, buss, båt og drosje. Terminalen er planlagt å stå ferdig våren 2014, og skal derfor tas i bruk før tiltakene i Brattørbassenget er planlagt igangsatt.

Kystekspresen har med dagens trafikk ca. 20 avganger/anløp pr dag. I området fra ny terminal og til utløpet av bassenget skal det kun utføres tildekkingsarbeider. Når tildekkingen foregår må trafikken ved hele ytre del av bassenget flyttes. Det er usikkert om det nye manøvreringsarealet for hurtigbåtene når ny Pir tas i bruk ligger

innenfor det planlagte mudre- og tildekkingsarealet langs Brattørmoloen. Dette må avklares nærmere for å vurdere om det kan foregå mudrearbeider ved moloen samtidig som hurtigbåtene trafikkerer bassenget. Det vurderes som hensiktsmessig at tildekkingsarbeider langs molo sees i sammenheng med øvrig tildekking i ytre del av bassenget og dermed krever trafikkomlegging tilsvarende som for området ved hurtigbåtpir.



Figur 13: Ny hurtigbåtterminal og småbåthavn (Lusparken arkitekter).

#### *Søndre kai – ny kaipromenade*

I ytre del av bassenget skal det etableres en ny trekai og promenade langs søndre kai. Utenfor denne kaia er det planlagt tildekking av sjøbunnen. Etablering av kai er planlagt ferdigstilt før tiltakene ved de øvrige områdene i Brattørbassenget gjennomføres. Dagens sjøbunn under kai vil isoleres i forbindelse med kai-prosjektet. Tildekking utenfor kai gjøres i sammenheng med tildekkingen ved ny hurtigbåtterminal. Eventuell trafikk i dette området må flyttes.

#### *Brattøra molo og kaier langs molo*

Langs hele vestre del av Brattørbassenget, langs Brattøra molo, skal det når ny terminal er tatt i bruk etableres flytebrygger for gjestehavn, charterbåter og tilsvarende båttrafikk. Langs molo er det planlagt mudring for å oppnå tilstrekkelig dyp ved flytebrygger etter tildekking. Innerst i Brattørbassenget, langs hotellet og Pirterminalen er det planlagt en sjøtrapp for publikum. Etablering av flytebrygger og sjøtrapp skal utføres etter at mudre- og tildekkingsarbeider i Brattørbassenget er gjennomført. Det vil derfor være begrenset hvilke båter og båttrafikk som vil være påvirket av tiltaks-gjennomføringen i de indre deler av bassenget.

#### *Ny småbåthavn i indre basseng*

I området fra hotellet ut til ny hurtigbåtterminal skal det kun utføres tildekkingsarbeider. Området er lite trafikkert og det vil derfor være begrenset hvilke båter og båttrafikk som vil være påvirket av tiltaksgjennomføringen i de indre deler

av bassenget. Langs molo er det planlagt mudring for å oppnå tilstrekkelig dyp ved flytebrygger etter tildekking. Innerst i Brattørbassenget, langs hotellet og Pirterminalen er det planlagt en sjøtrapp for publikum. Etablering av flytebrygger og sjøtrapp skal utføres etter at mudre- og tildekkingsarbeider i Brattørbassenget er gjennomført. Det er krav til at sjøbunnen under sjøtrapp skal isoleres.

### *7.10.2 Vilkår for mudring i Brattørbassenget*

I Brattørbassenget er det prosjektert mudring langs Brattørmoloen for å oppnå tilstrekkelig seilingsdyp langs flytebrygger som skal plasseres langs moloen. Tegningsgrunnlaget for Brattørmoloen er dårlig og konstruksjonen har satt seg, slik at det vil være usikkerheter knyttet til mulig mudredyp langs moloen, som diskutert i kap. 7.8.

Avslutning av mudring innerst ved Pirterminalen må avklares mot planer for sjøtrapp i en detaljprosjekteringsfase, og grensesnitt for disse prosjektene må synliggjøres.

Brattørbassenget er et lukket basseng, med et utløp til fjorden, samt at Kanalen har et inn og utløp. Her er det ved behov mulig å gjennomføre sette opp partikkelsperrer for å redusere spredning fra mudringsarbeidene til andre deler av havna.

### *7.10.3 Forskuttet oppstart i Brattørbassenget.*

Tiltakene i Brattørbassenget omfatter mudring. En forskuttering av tiltak i Brattørbassenget krever at deponiløsning for mudremassene er på plass. Tildekking i Brattørbassenget bør utføres etter at all mudring er ferdig. Alternativt kan man kun dekke til i området og sløyfe mudringen langs Brattørmoloen. Dette er noe som vil medføre noe dårligere seilingsdyp i dette området. Disse alternativene inngår ikke i alternativløsninger, eller i kost-nyttevurderingen.

## **8 Prosjekterte tiltak i Nyhavna**

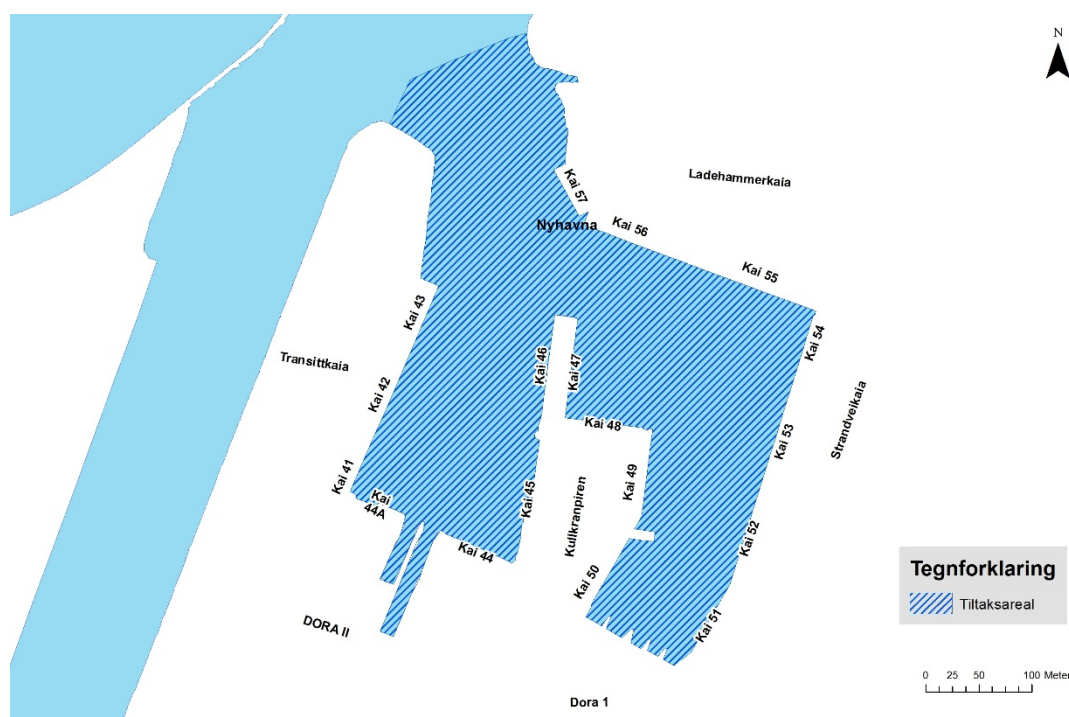
### *8.1 Generell beskrivelse*

Delområdet ligger i den østlige delen av Trondheim havn rett øst for utløpet av Nidelva (Figur 14). Havneområdet består av to basseng, vestre og østre basseng. Innerst i Nyhavna, i østre basseng, ligger Dora I og II som opprinnelig er to tyske ubåtbunkere fra andre verdenskrig. Dora II har etter krigen vært benyttet til verftsdrift og Dora I til arkiv, kulturvirksomhet etc. I Nyhavna-området har det tidligere også foregått metallbearbeiding, forsinking, fornikling og fortinning. Utløpet fra Ladebekk-kulverten lå tidligere i den indre delen av Nyhavna. Nyhavna er i dag en industrihavn med tilhørende båttrafikk. Ved Kullkranpiren (østre basseng) er det en småbåthavn.

Trondheim kommune har gjennom et grundig planarbeid for området lagt føringer for framtidig arealbruk. I planarbeidet har bevaring av Dora I og II med tilhørende konstruksjoner vært sentrale. Parallelt med tiltaksprosjekteringen i de tre delområdene det skal mudres i, prosjekterer Multiconsult deponiløsning for mudremasser i Nyhavna. Foreslått deponi for mudremasser er lokalisert i østre basseng. Valg av

deponiløsning avhenger av mudrevolumet, da deponialternativene som er utredet består av kombinasjoner av sjøbunnsdeponi og strandkantdeponi. Valg av deponiløsning vil ha konsekvenser for seilingsdyp og tildekkingsarealer. Trondheim kommune og Trondheim Havn har gjennom valg av løsning for håndtering av forurensete sedimenter i lokalt deponi lagt føringer for og begrensninger for trafikk gjennom reduksjon av seilingsdyp.

Grensesnittet for tiltaksprosjekteringen er at tiltaksprosjekteringen beskriver tiltak i alle områder i Nyhavna som ikke omfatter deponiet. Multiconsult har derfor prosjektert den totale deponiløsning inkludert avsluttende tildekking av deponiet.



Figur 14: Nyhavna med tiltaksareal skravert

## 8.2 Bunnforhold, topografi

Deler av vestre basseng i Nyhavna ble mudret i 2004. Mudremasser ble lagt i et strandkantdeponi ved Pir 2 i Trondheim Havn. Området som ble mudret er flatt og ligger på kote -6 til -7 LAT bortsett fra langs vestre kaifront hvor dagens dyp er noe dypere. Langs kaifronter lengre øst er kaiene tilfylt av for å øke stabiliteten. I østre basseng er det et nærmest rektangulært "dyphull" hvor det tidligere har vært en flytedokk. Bunn av dokken ligger på ca kote - 10. Resterende områder i østre basseng ligger hovedsakelig i dag på kote -6 LAT.

## 8.3 Beskrivelse av tilstanden i sedimentene og risikovurderingen

Sedimentene i hele delområdet inneholder høye konsentrasjoner av metaller, spesielt kobber. Innholdet av organiske miljøgifter (PAH og TBT) er også høyt. Sedimentene

i Nyhavna viser konsentrasjoner av TBT, bly, kobber i klasse V, samt sink, PAH og PCB i klasse IV. De høyeste konsentrasjonene er påvist i den vestlige delen av Nyhavna. Konsentrasjoner er oppsummert i Tabell 15 hvor gjennomsnitt- og maksimalkonsentrasjoner er klassifisert iht tilstandsklasser for sediment.

Sedimentfeller utplassert i området viste i 2010 høye konsentrasjoner av kobber (klasse IV) og TBT (klasse V), samt PAH i østre basseng. Beregningene fra risikovurderingen viser at det foregår spredning av særlig arsen, bly, kobber, krom, nikkel, sink og PAH fra delområdet. For human risiko er det PAH (spesielt benzo(a)pyren hvor det er meget store overskridelser) og PCB som overskrider tolerabel risiko. For økologisk risiko er det arsen, nikkel, sink, PAH (pyren har den største overskridelsen) og TBT (store overskridelser) som overskrider tolerabel risiko. Porevannskonsentrasjonen i sedimentprøver fra området overskrider PNEC tilsvarende tilstandsklasse II for arsen, nikkel, PAH og TBT, samt sink i en prøve. PNEC tilsvarende tilstandsklasse III blir også overskredet for PAH og TBT og så vidt for arsen i en prøve.

Tabell 15: Gjennomsnitt- og maksimalkonsentrasjoner i Nyhavna (NGI; 2011a)

Stoff	PCB (sum7)	PAH (sum16)	B(a)p	TBT	As	Pb	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Zn
	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	µg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
Maks	1,5	250	13	10000	113	440	5,4	2780	218	2,31	94	3280
Gjennomsnitt	0,157	22,4	1,36	1081	13	77	0,9	199	59	0,32	34	430

#### 8.4 Massebeskrivelse

Massebeskrivelser er hentet fra undersøkelser utført i 2010 (NGI, 2011a). Mudremasser i Nyhavna vil bestå av masser med høyt et finstoffinnhold. Prøver analysert i 2010 har partikkelstørrelse <2000 µm på hhv 63 % og 84.3 %. Det er få kornfordelinger fra masser i delområdet, og det antas at det fra for eksempel snøbrøyting vil være grovere masser langs kaier. Visuelle beskrivelser av materialer viser et finstofflag over gråsvart feit silt over noe grovere siltmasser, se Figur 15. I østre basseng ble det observert gytjemateriale i stor mektighet. Dette området er en del av det prosjekterte deponiarealet. Prøvetatte masser under Dora viser gytjemasser. I området hvor det ble mudret i 2004, ble det i 2008 systematisk kartlagt gjenværende forurensede masser etter mudring og rekontaminering. Dette viste at det i denne delen av Nyhavna er et gjenværende forurenset lag som er løst lagret over noe forurenset sediment og noe silt (RL, 2009).



Tabell 16: Kornfordelinger fra sedimentprøver i Nyhavna (NGI, 2011a).

Prøvepunkt	<2 µm (%TS)	<16 µm (%TS)	<45 µm (%TS)	<63 µm (%TS)	<125 µm (%TS)	<250 µm (%TS)	<500 µm (%TS)	<1000 µm (%TS)	<2000 µm (%TS)
T155	12.1	32.3	49.2	56.5	61.1	61.8	62.2	62.7	63
T156	3	9.2	14.3	22.9	52.5	80.3	83.7	84	84.3



Figur 15: Grabbprøver fra Nyhavna

## 8.5 Tiltaksbehov

Tiltaksplanene for havnebassenget beskriver at tiltak på land i Nyhavna er nødvendig, men det er i tillegg viktig at kilder til forurensning fra land stoppes. Tiltakene i sjø har vært avhengig av valgte deponiløsning som prosjekteres, samt krav til seilingsdyp. Behovet for mudring er knyttet til seilingsdypet. Sanering kun i enkelte deler av delområdet vil med stor sannsynlighet medføre spredning av forurensning fra ikke sanerte områder til sanerte områder. De skisserte tiltak i tiltaksplanene omfatter derfor mudring der det er behov, med påfølgende tildekking av hele tiltaksområdet.

## 8.6 Framtidig arealbruk og forutsetning for seilingsdyp

### Vestre basseng

I ytre del av vestre basseng skal seilingsdypet være kote -8 LAT. Dette inkluderer kaiene 41, 42, 43, 44A (inn til Dora 2) og 46. Langs kai 45 tillates kun tildekking pga. dårlig stabilitet i kaifront. Ved kai 44 mener Trondheim Havn at området vil ha tilstrekkelig seilingsdyp etter tildekking. I manøvreringsområdet mellom kai 45 og Kai 41 skal endelig seilingsdyp være kote -7 LAT. Det er knyttet usikkerhet til mulig mudredyp ved kai 57 (Norcem kaia) på grunn av forfatningen til dagens kai-konstruksjon.

### Østre basseng

I østre basseng skal området som ikke omfattes av nye deponiarealer dekket av alternativ 7 i Multiconsults rapport (MC, 2013), ha seilingsdyp kote -6 LAT. Dette

omfatter kaiene 54 – 56. Arealer foran Dora 1 inngår i deponiarealer eller skal tildekkes hvis deponiarealer blir minsket grunnet reduserte mudremengder. I Dora 1 ligger det forurensede sedimenter inne i dokkene. I disse dokkene skal det ikke mudres, kun tildekkes.

### **8.7 Skråningsstabilitet, stabilitet av kaikonstruksjoner, brygger**

Fremlagte bunnprofiler viser at skråninger på sjøbunnen i hovedsak ligger med helning 1:3 og slakere. I volumberegningene er det antatt permanente mudringskråninger med helning 1:3 for å sikre stabilitet etter tildekking. Inn mot eksisterende konstruksjoner er helning og mudringsdybde valgt ut fra ønske om ikke å svekke stabilitet av konstruksjonene. Dette vil bli mer detaljert i senere fase.

Dagens dybde ved Norcemkaia (kai 57) er marginal ut fra de båttypene som trafikkerer kaia. Stabiliteten av kai og sideterreng kan være anstrengt, bl.a. på grunn av en markert erosjonsgrop ved nordre ende av kaia. Oppfylling av erosjonsgrop og vurdering av mulig mudring inn mot kaia vil bli behandlet i eget prosjekt parallelt med Renere havn-prosjektet.

Tildekking i området sees likevel i sammenheng med tildekking i øvrige deler av kaiområdet.

### **8.8 Mudring i Nyhavna**

#### **8.8.1 Mudreområder**

Områder i Nyhavna hvor det skal mudres er basert på vurdering av mulighet for mudring samt forutsetninger for seilingsdyp gitt av Trondheim Havn. Havnas krav til seilingsdyp er brukt som spesifisering for å lage en ny terrengmodell av ønsket dyp etter at tiltak er gjennomført. I terrengmodellen er det i denne fasen forutsatt et tildekkingslag på maks 0,5 m.

Oppsummert er følgende lagt til grunn:

- Seilingsdyp -7 og -8 LAT i vestre basseng
- Ingen mudring langs kai 44 pga. dårlig stabilitet i kaier
- Seilingsdyp -6 LAT i del av østre basseng utenfor deponiet
- Kun tildekking under og rett foran DORA 1.

Mudreområder i Nyhavna er vist i Figur 16, og er vist i større målestokk i kartvedlegg A-2.

#### **8.8.2 Beregning av mudrevolum i Nyhavna**

Basert på grunnlagsdata og gitte forutsetninger for seilingsdyp fra Trondheim havn, samt stabilitetsvurderinger er beregnet mudrevolumet i vestre basseng og område som ikke omfattes av nytt deponi, alternativ 7 (MC, 2013c), i østre basseng beregnet



til 43.000 m<sup>3</sup> faste masser. Størrelsen på volumet vil kunne endres under detaljprosjektering eller ved endrede forutsetninger som kommer fram under prosjekteringen.



Figur 16: Mudreområder i Nyhavna

## 8.9 Tildekking i Nyhavna

### 8.9.1 Dimensjonerende partikkelstørrelse - propellersjon

For hvert av delområdene er det beregnet stedsspesifikk propellersjon. I Nyhavna er det beregnet propellstrøm for ulike båter som anløper ulike områder og som derfor er dimensjonerende for disse områdene. Trondheim Havn har oversendt grunnlag og vært med i utvalgelse av type båt som skal representere området. SINTEF har ut fra sin modell beregnet strømhastigheter og minste kornstørrelse (d50) som ikke eroderes ved denne strømhastigheten.

Tabell 17: Beregnet hastighet ved sjøbunn for dimensjonerende båter og dimensjonerende partikkelstørrelse ( $d_{50}$ ) for ulike deler av Nyhavna.

Sted	Nyhavna			
	Kai 41-43, 46	Utenfor kai 44	Kai 55 (og 56)	Kai 57, Norcemkaia
Båt	Nordvåg	BOA Tyr	With Junior	Cartagena, Cork
Dyptgående (m)	5,2	5	5,3	6,8
Propelldyp (m)	3,4*	3,7	3,5	4,5*
Motoreffekt (kW)	2237	2 x 1640	1840	2 x 2500
Propelldiameter	2,5	2,5	3,2	3,4*
Vanddyp	-8 LAT	-7 LAT	-6 LAT	-7,5 LAT
Motorpådrag (%)	30 og 60	30 og 60	30 og 60	30 og 60
<b>Makshastighet høyt motorpådrag (m/s)</b>	<b>1,9</b>	<b>3,3</b>	<b>2,8</b>	<b>4,1</b>
<b>Minste <math>d_{50}</math> før suspensjon ved høyt pådrag (mm)</b>	<b>14</b>	<b>69</b>	<b>46</b>	<b>123</b>

I delområdet Nyhavna gjør relativt liten klaring mellom anløpende båters dyptgående og vanddypet i området at det vil være behov for betydelig beskyttelse mot erosjon flere steder. Grus og steinmasser med  $d_{50}$  på over 123 mm er nødvendig i enkelte områder. Dette gjør at erosjonslaget må være minimum 37 cm tykt og at det er laget som skal hindre adveksjon ned i isolasjonslaget også må være tykkere. Massene i lagene under erosjonslaget må ha en kornfordeling slik at disse lagene får et betydelig finstoffinnhold men også slik at filteregenskapene ivaretas. Dette må det tas hensyn til i detaljprosjekteringen av oppbyggingen av tildekkingslaget (SFT, 2006).

### 8.9.2 Beregnet tildekkingsdesign i Nyhavna

Basert på målte konsentrasjoner i sedimentet og informasjon om dimensjonerende strømhastighet samt systematikken beskrevet i kapittel 5, er en anbefalt tildekkings-tykkelse med rene masser og med aktive materialer, for delområdet Nyhavna beskrevet her.

Alternativ 1: Tildekkingsdesign med rene masser:

*Tabell 18: Beregnet tildekkingsdesign for rene masser Nyhavna Kai 41-43, 46*

Tildeckingslag	Anbefalt tildekkingsstykkelse for delområde Nyhavna Kai 41-43, 46 (d50=14 mm)	Kommentar
Erosjonslag	10	I denne delen av Nyhavna er det relativt lav dimensjonerende strømhastighet og derfor er 10 cm tykt erosjonsbeskyttelse nok.
Bioturbasjonslag	10	Basert på Miljødirektoratets veileder (TA 2802 2011)
Adveksjonslag	(30 – 20 cm) = 10 cm	Høyere dimensjonerende strømhastighet øker også effekt av adveksjon i tildekkingen. Tykkelse av adveksjonslaget minimum 30 cm
Isolasjonslag	10	Beregningene viste behov for 6 cm isolasjonslag for TBT dette blir derfor dimensjonerende
Usikkerhet konstruksjon	10 cm	Vurdert som beskrevet i kapittel 5.6.
Blandingslag	5 cm	Vurdert som beskrevet i kapittel 5.7.
<b>Total prosjektert tykkelse</b>	<b>55 cm</b>	

*Tabell 19: Beregnet tildekkingsdesign for rene masser Nyhavna Kai 44.*

Tildeckingslag	Anbefalt tildekkingsstykkelse for delområde Nyhavna Kai 44 (d50=69 mm)	Kommentar
Erosjonslag	20	I denne delen av Nyhavna er det relativt lav dimensjonerende strømhastighet og derfor er 10 cm tykt erosjonsbeskyttelse nok.
Bioturbasjonslag	10	Basert på Miljødirektoratets veileder (TA 2802 2011)
Adveksjonslag	(40 – 30 cm) = 10 cm	Høyere dimensjonerende strømhastighet øker også effekt av adveksjon i tildekkingen. Tykkelse av adveksjonslaget minimum 30 cm
Isolasjonslag	10	Beregningene viste behov for 6 cm isolasjonslag for TBT dette blir derfor dimensjonerende
Usikkerhet konstruksjon	10 cm	Vurdert som beskrevet i kapittel 5.6.
Blandingslag	5 cm	Vurdert som beskrevet i kapittel 5.7.
<b>Total prosjektert tykkelse</b>	<b>65 cm</b>	

Tabell 20: Beregnet tildekkingsdesign for rene masser Nyhavna Kai 55.

Tildeckingslag	Anbefalt tildekkingsstykkelse for delområde Nyhavna Kai 55 (d50=46 mm)	Kommentar
Erosjonslag	15	I denne delen av Nyhavna er det relativt lav dimensjonerende strømhastighet og derfor er 10 cm tykt erosjonsbeskyttelse nok.
Bioturbasjonslag	10	Basert på Miljødirektoratets veileder (TA 2802 2011)
Adveksjonslag	(40 – 25 cm) = 15 cm	Høyere dimensjonerende strømhastighet øker også effekt av adveksjon i tildekkingen. Tykkelse av adveksjonslaget minimum 30 cm
Isolasjonslag	10	Beregningene viste behov for 6 cm isolasjonslag for TBT dette blir derfor dimensjonerende
Usikkerhet konstruksjon	10 cm	Vurdert som beskrevet i kapittel 5.6.
Blandingslag	5 cm	Vurdert som beskrevet i kapittel 5.7.
<b>Total prosjektert tykkelse</b>	<b>65 cm</b>	

Tabell 21: Beregnet tildekkingsdesign for rene masser i Nyhavna Kai 57.

Tildeckingslag	Anbefalt tildekkingsstykkelse for delområde Nyhavna Kai 57 (d50=123 mm)	Kommentar
Erosjonslag	40	Behov for større kornstørrelse og betyr også behov for tykkere lag til erosjonsbeskyttelse i denne delen av Nyhavna
Bioturbasjonslag	10	Basert på Miljødirektoratets veileder (TA 2802 2011)
Adveksjonslag	(40 – 50 cm) = 0 cm	Høyere dimensjonerende strømhastighet øker også effekt av adveksjon i tildekkingen. Tykkelse av laget økes til 40 cm
Isolasjonslag	10	Beregningene viste behov for 6 cm isolasjonslag for TBT dette blir derfor dimensjonerende
Usikkerhet konstruksjon	10 cm	Vurdert som beskrevet i kapittel 5.6.
Blandingslag	5 cm	Vurdert som beskrevet i kapittel 5.7.
<b>Total prosjektert tykkelse</b>	<b>75 cm</b>	

Ekstra masser nødvendig for å dekke eventuelt tap av masser ved utlegging er ikke tatt med her.

Basert på beregningene vil et uforstyrret isolasjonslag alene vil redusere utlekkingen av forurensing fra de forurenkede sedimentene med mer enn 90 %. Den øvrige delen av tildekkingslaget vil redusere utlekkingen ytterligere. Den reelle reduksjonen vil være avhengig av den endelige bioturbasjonsaktiviteten og strømhastigheter i området.

Egnethet av massene som skal brukes til tildekking må vurderes i forhold til kravene Miljødirektoratets veileder for testing av masser for tildekking (SFT, 2006). Oppbygging av tildekkingslag og utleggingsmetodikk detaljeres i neste fase.

#### Alternativ 2: Tildekking med aktive materialer

Siden det forventes betydelige strømhastigheter i dette delområdet kan det være aktuelt med et lag med et materiale med lav permeabilitet som hindrer adveksjon av vann nedover i tildekkingsmassen.

Alle stoffene som utgjør størst miljørisiko i dette området bortsett fra sink og kobber er kjent for å kunne bindes i masser med aktivt materiale. Med aktivt materiale (eks. aktivt kull) kan man anta at et lag på 5 - 10 cm aktivt materiale blandet med bæremasser kan erstatte følgende tykkelser i prosjektert tildekkingstykkelse: Bioturbasjonslaget, adveksjonslaget, isolasjonslaget og innblandingslaget. For at en slik tildekking skal være langsiktig er det særlig viktig at det aktive laget ikke eroderer. I detaljprosjekteringen kan man derfor vurdere om det er områder som trenger noe tykkere lag eller større d50 i erosjonsbeskyttelsen.

*Tabell 22: Tildekkingsdesign for aktive materialer i Nyhavna.*

Tildekkingslag	Nyhavna Kai 41-43, 46 (d50=14 mm)	Nyhavna Kai 44 (d50=69 mm)	Nyhavna Kai 55 (d50=46 mm)	Nyhavna Kai 57 (d50=123 mm)
Erosjonslag	10 cm	20 cm	15 cm	40 cm
Bioturbasjonslag	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm
Adveksjonslag	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm
Isolasjonslag	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm
Usikkerhet konstruksjon	10 cm	10 cm	10 cm	10 cm
Blandingslag	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm
<b>Total tykkelse design</b>	<b>25 cm</b>	<b>35 cm</b>	<b>30 cm</b>	<b>55 cm</b>

Dersom alternativet med aktiv tildekking velges så må detaljprosjekteringen se på hvilke bærematerialer for de aktive massene som er aktuelle og hvordan filteregenskapene for massene skal i vare tas i overgangen mellom ulike typer masser.

Egnethet av massene som skal brukes til tildekking må vurderes i forhold til kravene Miljødirektoratets veileder for testing av masser for tildekking (SFT, 2006).

Som beskrevet i kap. 5.2 er det ulike alternative måter å håndtere tildekkingsmektigheter > 50 cm (opprinnelig forutsatt) som overskrider planlagt mudring.

I Nyhavna er beregnet nødvendig tildekkingsmektighet på mer enn 50 cm uten bruk av aktivt materiale. En kan vurdere å velge et tynnere isolasjonslag. Dette kan imidlertid påvirke måloppnåelsen på sikt.

Ved Kai 57 vil betongmadrasser være et alternativ. Det er beregnet behov for en tildekkingsmektighet på 75 cm. Kaia har imidlertid dårlig geoteknisk stabilitet som begrenser mudringsdyp. En betongmadrass med ca. 30 cm mektighet er et mulig alternativ for å opprettholde seilingsdypet.

## **8.10 Tildekking foran og under DORA.**

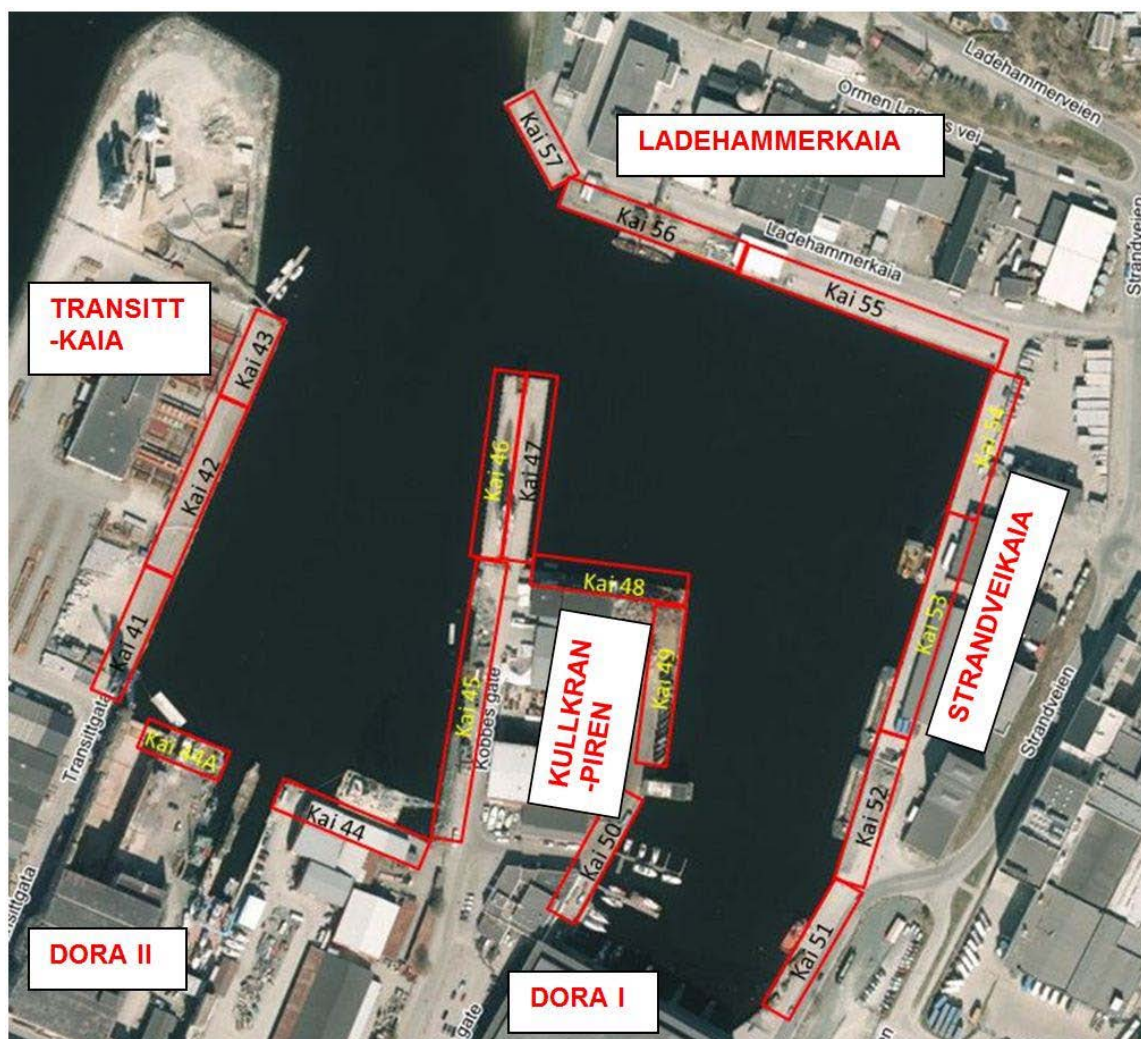
Under DORA hvor det ikke foregår båttrafikk vil det være aktuelt å ha et tynnere tildekkingslag enn for områder hvor det er trafikk. Ser man bort fra erosjonlaget forventes en nødvendig mektighet for tildekkingslaget under DORA på 25 til 30 cm. Foran DORA er det avhengig av om det skal være båttrafikk i området. Dette vil være en del av detaljprosjekteringen og er derfor ikke vurdert særskilt her.

## **8.11 Tiltaksgjennomføring i Nyhavna**

### **8.11.1 Trafikklogistikk i Nyhavna under tiltaksperioden**

I Nyhavna vil tiltaksområdet deles i østre og vestre basseng. I Nyhavnas østre basseng skal deponi for oppmudrede forurensede sedimenter etableres. I den forbindelse blir det etablert en siltgardin mellom østre og vestre basseng (fra kai 47 og over til kai 56, på Figur 17). Siltgarden vil kunne åpnes og slippe igjennom båter ved behov, blant annet mudrebåten som frakter masser til deponiet. Den delen av østre basseng hvor det ikke skal etableres deponi, skal tilslutt mudres og tildekkes.





Figur 17: Oversiktsbilde Nyhavna med kainummer (Multiconsult, 2013b)

I dag er det variert aktivitet i Nyhavna med ca. 310 anløp i 2012, inkludert ca. 70 anløp på Norcem-kaia (kai 57) (tall fra Trondheim Havn). På Transittkaia (kai 41, kai 42 og kai 43) er det registrert 120 anløp i 2012 med hovedsakelig lasteskip med stykkgoods og kombinert bulk/stykkgoods. For Kullkranpiren (kai 46 og kai 47) er det i 2012 registrert til sammen ca. 70 anløp av lasteskip med stykkgoods, kombinert bulk / stykkgoods, bulkskip og lektere. Ladehammerkaia (kai 55 og kai 56) benyttes som avlastningskai/ventekai for ferger samt at det også er en del kombinert bulk / stykkgoods som fraktes hit. Det var 15 registrerte anløp i 2012.

I hele anleggsperioden vil kai 47 til 53 blir utilgjengelig for skip, og det vil bli begrensninger i bruken av kai 54, 55, 56 og 57 (Norcem kaia), pga. siltgardin samt anleggfsartøy til og fra deponiet.

I perioden med mudring av det vestre området i Nyhavna (kai 41, 42, 43, 44, 45 og 46) vil det være mulig med trafikk i de deler av havna mudrearbeidene ikke pågår. Under tildekkingen vil hele området være utilgjengelig for skipstrafikk.

I perioden med tildekking av deponiet samt mudring og tildekking av østre del av Nyhavna (området ved kai 54, 55 og 56) vil hele området øst for siltgardinen være utilgjengelig for skipstrafikk.

Etter tiltakene er gjennomført må bruken av havna tilpasses de ulike seilingsdyp.

#### *8.11.2 Vilkår for mudring i Nyhavna*

I Nyhavna er det prosjektert mudring i store deler av vestre basseng, samt foran deponiet østre basseng. Deponigruppen har i arbeidssonen for deponiet prosjektert med partikkelsperre mellom østre og vestre basseng. Mudringen i vestre basseng kan foregå mens det er trafikk i området, for ikke å stenge Nyhavna totalt under tiltaksarbeidene. Vestre basseng må stenges under tildekking.

Det må påregnes en spredning internt i delområdet under mudrearbeidet, men en påfølgende tildekking etter mudrearbeidet vil ivareta måloppnåelsen for området selv med spredning internt i delområdet. Det ligger ingen begrensninger mtp fartøystørrelse.



## 9 Oppsummering av alternative tiltaksløsninger.

Følgende tiltaksløsninger er vurdert i kost-nyttevurderingene.

Tabell 23: Tildeckingsalternativer i Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna

<b>Kanalen</b> <i>Alternativ 1:</i>	<i>Alternativ 2:</i>
Hele Kanalen med rene masser (100.000 m <sup>2</sup> ). 40 cm (30 cm dekkmasse + 10 cm erosjonslag)	Hele Kanalen med aktive materialer (100.000 m <sup>2</sup> ). 25 cm (15 cm dekkmasse med aktivt materiale + 10 erosjonslag)
<b>Brattørbassenget</b> <i>Alternativ 1:</i>	<i>Alternativ 2:</i>
Hele Brattørbassenget med rene masser (80.000 m <sup>2</sup> ). 50 cm (35 cm dekkmasse + 15 cm erosjonslag)	Hele Brattørbassenget med aktive materialer (80.000 m <sup>2</sup> ). 30 cm (15 cm dekkmasse med aktivt materiale + 15 cm erosjonslag)
<b>Nyhavna (ikke inkludert deponi)</b> <i>Alternativ 1:</i>	<i>Alternativ 2:</i>
<b>Kai 41-43 og 46</b> (ca 29400 m <sup>2</sup> ) 55 cm (45 cm dekkmasse + 9 cm erosjonslag)	<b>Kai 41-43 og 46</b> (ca 29400 m <sup>2</sup> ) 25 cm (15 cm dekkmasse med aktiv materiale + 10 cm erosjonslag)
<b>Kai 44</b> (ca. 14 000 m <sup>2</sup> ) 65 cm (45 cm dekkmasse + 20 cm erosjonslag)	<b>Kai 44</b> (ca. 14 000 m <sup>2</sup> ) 35 cm (15 cm dekkmasse med aktiv materiale + 20 cm erosjonslag)
<b>Kai 55</b> (ca. 21 600 m <sup>2</sup> ) 65 cm (50 cm dekkmasse + 15 cm erosjonslag)	<b>Kai 55</b> (ca. 21 600 m <sup>2</sup> ) 30 cm (15 cm dekkmasse med aktiv materiale + 15 cm erosjonslag)
<b>Kai 57 (Norcem-kai)</b> (ca. 5 000 m <sup>2</sup> ) Betongmadrass ca 30 cm tykt	<b>Kai 57 (Norcem-kai)</b> (ca. 5 000 m <sup>2</sup> ) Betongmadrass ca 30 cm tykt

## 10 Kost-nyttevurdering

Det er utført en kost-nyttevurdering av de ulike alternativene for tiltak i de tre delområdene. Følgene momenter er inkludert og vurdert i forhold til kostnader og nytte:

- Kostnad er beregnet pr. m<sup>2</sup> sjøbunn ved tildekking og pr. m<sup>3</sup> faste masser ved mudring (uten overmudring<sup>1</sup>).
- Oppryddingsmetodenes nytte er vurdert med bakgrunn i følgende hensyn:
  - Varige konsekvenser og effekter av tiltak iht. vedtatt tiltaksplan
  - Prosjektets økonomiske rammer
  - Prosjektets fremdriftsplan
  - Anleggsfasens konsekvens for havne- og næringsvirksomhet, samt naboer i omkringliggende områder
  - Totalt CO<sub>2</sub>-regnskap for prosjektet

Kost-nyttevurderingen er utført av DNV, med innspill fra NGI og er gitt i sin helhet i vedlegg E.

Kostnader for de ulike alternative løsningene for tildekking (ref. kapittel 9.2), inkludert mudring (ref. kapittel 9.1) er gitt i Tabell 24. For hvert delområde er alternativ 1 tildekking med rene masser (dekklag og erosjonslag), mens alternativ 2 er tildekking med rene masser tilsatt aktivt materiale samt erosjonslag. I Nyhavna er det i tillegg inkludert betongmatter ved kai 57. I tabell 25 er kostnader sammenstilt med estimert totalsum fra usikkerhetsanalyse (budsjett p50) for prosjektet utført av Trondheim kommune. Dette viser at de foreslåtte tiltaksalternativene ligger innenfor estimert totalsum (budsjettkostnad) bortsett fra for høyt estimat for alternativ 2. Deponikostnader for forprosjektet fra deponi-gruppen er lagt til grunn for vurdering av totalkostnad (MC, 2013c).

Tabell 24: Oppsummering av estimerte kostnader for alternative tiltak.

Lokalitet	Kostnad lav (mill. NOK)	Kostnad høy (mill. NOK)	Gjennomsnitt av høy og lav kostnad (mill. NOK)	Hvor mange % er alternativ 2 dyrere enn alternativ 1 for det <u>lave</u> kostnadsestimatet	Hvor mange % er alternativ 2 dyrere enn alternativ 1 for det <u>høye</u> kostnadsestimatet
Kanalen Alt. 1	25,6	40,2	32,9	59	36
Kanalen Alt. 2	40,6	55,2	47,9		
Brattørbassenget Alt. 1	23,7	37,5	30,6	49	28
Brattørbassenget Alt. 2	35,3	47,9	41,6		
Nyhavna Alt. 1	35,1	56,2	45,6	21	10
Nyhavna Alt. 2	42,4	61,9	52,1		

<sup>1</sup> Med overmudring menes den mengde som mudres utover den mudringsdybde som er angitt i beskrivelsen. Overmudring er normalt uønsket ved denne type mudring.

Tabell 25: Totalsum for Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna sammenlignet med budsjettkostnad (p50).

Sum kostnader og totalsum	Kostnad (mill. NOK)
Sum kostnader <u>alternativ 1</u> for Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna - <u>lavt kostnadsestimat</u>	84,4
Sum kostnader <u>alternativ 1</u> for Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna - <u>høyt kostnadsestimat</u>	133,9
Sum kostnader <u>alternativ 2</u> for Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna - <u>lavt kostnadsestimat</u>	118,4
Sum kostnader <u>alternativ 2</u> for Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna - <u>høyt kostnadsestimat</u>	165,0
Deponi i Nyhavna (MC, 2013)	23,5
<i>Estimert totalsum fra Usikkerhetsanalyse 26.01.2013 (budsjett p50) for Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna</i>	186,5

Nyttevurderingen er basert på et sett definerte kriterier. Kriteriene er listet opp og kvantifisert i henhold til klasser i tabell 5 i vedlegg E. Resultatet fra nyttevurderingen er gitt i Tabell 26. Nytefaktorene skal brukes for å sammenligne alternativer i samme område og en lavere sum antyder en større nytte.

Som kommentert i DNVs kost-nyttevurdering i vedlegg E er det små forskjeller i nyttevurderingen. Dette henger sammen med at alle alternativene som sammenlignes har en god nytteverdi og at tiltaksalternativer som ikke oppfyller målene med prosjektet er tatt ut tidlig i prosessen med Trondheim kommune og Trondheim Havn for å sikre måloppnåelse med planlagt tiltak.

Tabell 26: Oppsummering nyttevurdering (Tabell 7, Vedlegg E)

	Kanalen alt. 1	Kanalen alt. 2	Brattørbass. alt. 1	Brattørbass. alt. 2	Nyhavna alt. 1	Nyhavna alt. 2
Varige konsekvenser og effekter av tiltak iht. vedtatt tiltaksplan	1	1	1	1	1	1
Prosjektets fremdriftsplan	1	1	1	1	1	1
Anleggsfasens konsekvens for havne- og næringsvirksomhet samt naboer i omkringliggende områder	3	3	3	3	2	2
Totalt CO <sub>2</sub> -regnskap for prosjektet	1	1	1	1	2	2
<b>Sum</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>

## 11 Usikkerhet og behov for videre utredning

For å redusere usikkerheter fra fase 1-prosjekteringen er det et behov for nærmere utredning av flere områder i de neste prosjektfaser for den valgte løsning. Usikkerheten innenfor de ulike områder er gitt i det videre.

### 11.1 Usikkerhet mudring

Usikkerheter for mudring er knyttet til:

- Mudrevolum
- Stabilitet av kaikonstuksjoner og brygger
- Toleransegrense for ønsket endelig seilingsdyp
- Detaljering av seilingsled
- Utførelsesfase (tidsplan og gjennomføring)

Det totale beregnede mudrevolumet i de tre delområdene er:

- |                    |                       |
|--------------------|-----------------------|
| • Kanalen          | 13.000 m <sup>3</sup> |
| • Brattørbassenget | 14.000 m <sup>3</sup> |
| • Nyhavna          | 43.000 m <sup>3</sup> |

Dette gir samlet et mudrevolum på **ca. 70.000 m<sup>3</sup> faste masser**. Det er lagt til en usikkerhet på 10 % i teoretisk beregnet volum, da Trondheim kommune angir dette kravet til usikkerhet i ferdig prosjektert tiltak. Basert på datagrunnlaget som er forelagt vil usikkerheten i beregnede volum være større enn 10 % i denne fasen av prosjektet.

Beregnete masser er oppgitt i faste masser og tar derfor i denne fasen ikke høyde for volumøkning som følge av mudremetode. Valgte mudremetode vil ha stor betydning for vanninnhold i mudremasser. Vanninnhold i mudrede masser vil også ha stor betydning for utførelse av innfylling og innfyllingskapasiteten i deponiet. For de ulike mudremetodene beskrevet i kapittel 4 er det gitt at den mudremetoden som gir minst vannbehandlingsbehov er mekanisk mudring, og er derfor angitt som anbefalt mudremetode for de aktuelle mudreområdene. Det er imidlertid aktuelt med hydraulisk mudring i et begrenset område, Ravnkløpet. Gjennomføring av mudrearbeider gir større usikkerhet mtp vanninnhold. Ved mudring av et tynt lag vil vanninnholdet kunne øke.

Utførelse av mudring og nøyaktighet i forhold til dette kan også ha betydning for mudringsvolumet. I områder med dårlig stabilitet kan krav til endelig seilingsdyp være vanskelig å oppnå. Alternative mudredyp eller reduksjon av seilingsdyp kan her være aktuelt.

Volumberegninger baseres på høydeforskjell mellom dagens sjøbunn og ny modellert sjøbunn. Det er ikke grunnlag for å beregne volum utenfor områder hvor det foreligger oppmålingsdata. Mudring i disse områdene vil derfor komme i tillegg til beregnede volum brukt i denne rapporten. Omfanget av mudring langs kaikanter og

langs flytebrygger i Kanalen er beheftet med stor usikkerhet, da det ikke finnes data for dagens dybder fra innside av flytebryggene mot land. I detaljprosjekteringen må det innhentes data for disse områdene for å redusere usikkerheten i volumberegningene (oppmåling).

Mudrevolum i Brattørbassenget vil kunne endres under detaljprosjektering eller ved endrede forutsetninger som kommer fram i videre faser. Dette er særlig knyttet til begrensninger i forhold til stabilitet av Brattørmoloen.

Usikkerheter for mudrevolum i Nyhavna vil reduseres i forbindelse med detaljprosjektering. Dette gjelder særlig langs kaifronter (kai 41-43 og 46) og ved Norcemkaia. Dette beskrives i videre prosjekteringsfaser.

Valg av endelig tildekkingsløsning i de tre delområdene vil ha betydning for mudrevolumet. Reduksjonen som kan oppnås ved valg av tynnere tildekkingslag er ikke beregnet, men den er diskutert i kost-nyttedelen.

### **11.2 Usikkerhet tildekking**

Usikkerheter i tildekkingen er knyttet til:

- Utleggingsmetodikk, inkludert i design (10 cm)
- Tap av masser, strøm

De ulike tildekkingsalternativene som er vurdert er gitt i Tabell 23 i kapittel 9.

Gitt det relativt beskjedene vanddypet i områdene som skal dekkes til vurderes 10 cm usikkerhet som et realistisk estimat på reell usikkerhet. Denne usikkerheten er lagt til i tykkelsen i tildekkingsdesign/mektigheter som er oppgitt. Det er lagt til en usikkerheten på 10 cm i designet som gir en redusert risiko for at konstruert tykkelse blir mindre enn designet.

Tap av masse under utleggingen er ikke lagt inn i designet. Denne usikkerheten vil være avhengig av dypet og i tillegg strøm i området som skal dekkes til. Det vil derfor være vesentlig at det ikke er forstyrrende aktivitet (båttrafikk) i områdene som tildekkes.

Tildekkingsløsningene som er gitt er detaljert mtp type båt som skal trafikkere i de ulike deler av området samt vanddypet. For en enda mer detaljert inndeling/avgrensning av områdene kan det være aktuelt med endringer av det prosjekterte tildekkingslaget. Dette kan vurderes i neste fase. Videre skal det for hvert området detaljeres nærmere tildekkingsløsninger for utførelsesfase, tildekking langs kai/brygger samt avslutning mot andre delområder.

### **11.3 Usikkerhet kost-nytte.**

Trondheim kommunes usikkerhetsanalyse angir estimert totalt budsjett for tiltak inkludert etablering av deponi i Nyhavna. Summen av tiltakene ligger innenfor

rammen, bortsett fra for høyt estimat for alternativ 2. Usikkerhet i kostnadene vil inngå i en ny usikkerhetsanalyse som skal gjennomføres når metode er valgt.

Usikkerheter i kostnader som kan reduseres i neste prosjekteringsfaser er:

- Tidsforbruk for mudringsapparat, liten mektighet og store arealer
- Utleggingsmetodikk, utlegging av masse
- Kostnader for tap av masse, beskrevet i kap. 11.2
- Kostnader for innkjøp av tildekkingsmasse, pris og tilgang
- Transportavstand
- Betongmadrasser, områdeavgrensning nødvendig

Kostnadsestimatet er gitt med et spenn på høy og lav for å øke robustheten på estimeringen.

## 12 Konklusjon

Prosjektering av tiltak for opprydding av forurensede sedimenter i Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna har resultert i 2 ulike alternativer for hvert delområde. Alternativene inkluderer mudring og tildekking med rene masser eller tildekking med rene masser der det er iblandet aktivt materiale.

Resultatet fra kost-nyttevurderinger gir følgende anbefalinger for tiltak utført i de ulike delområdene:

### *Kanalen*

Alternativ 1 anbefales og omfatter:

- Mudring ca. 13.000 m<sup>3</sup>
- Tildekking av hele Kanalen med 40 cm tildekking med rene masser

I kost-nyttevurderingen er det det økonomiske aspektet som er utslagsgivende. Alternativ 2 med aktiv tildekking er 36-59 % (høyt – lavt estimat) dyrere enn alternativ 1 med rene masser. Etablering av aktivt lag medfører høye etableringskostnader og kompenseres ikke av besparelsen ved lavere tildekkingsvolum.

### *Brattørbassenget*

Alternativ 1 anbefales og omfatter:

- Mudring av sedimenter ca. 14.000 m<sup>3</sup>
- Tildekking av Brattørbassenget 50 cm tildekking med rene masser

Kost-nyttevurderingen viser at alternativ 2 med aktivt materiale er 28-49 % (høyt – lavt estimat) dyrere enn alternativ 1 med rene masser. Etableringskostnader for aktivt lag er også utslagsgivende for valg av alternativ 1.

### *Nyhavna*

Alternativ 1 anbefales og omfatter:

- Mudring av sedimenter ca. 43.000 m<sup>3</sup>
- Tildekking av deler av Nyhavna som ikke er inkludert i deponiarealet
  - 55 cm tildekking med rene materialer utenfor kai 41-43, 46
  - 65 cm tildekking med rene masser utenfor kai 44
  - 65 cm tildekking med rene masser utenfor kai 55
  - ca. 30 cm betongmatter, ved kai 57 (Norcem)

Kost-nyttevurderingen viser at alternativ 2 med aktiv tildekking er kun 10-21 % (høyt – lavt estimat) dyrere enn alternativ 1. Alternativ 1 slår best ut økonomisk, men har et seilingsdyp 5-15 cm grunnere enn forutsatt. Da endringen i seilingsdyp stedvis er marginal (5 cm) anbefales derfor alternativ 1. Det bemerkes i kost-nyttevurderingen at tildekking med betongmadrasser er 4-5 ganger dyrere enn tildekking med rene masser og en reduksjon av nødvendig tildekkingsareal vil derfor ha stor økonomisk betydning.

### 13 Referanser

DNV, 2008

Det Norske Veritas. Mudremetoder for forurenset sjøbunn, Rapport 2008-0476 rev1. 3. april 2008.

MC, 2013a

Renere havn Trondheim. Deponi for mudringsmasser i Nyhavn. Skisseprosjekt. Rapport 415566-RIGm-RAP-001\_rev01. 22. mars 2013.

MC, 2013b

Renere havn Trondheim. Konsekvensutredning. Rapport 20131031 415566-PLAN-PBL-007-rev 01 . Rev 01. 31.10.2013

MC, 2013c

Renere havn Trondheim. Deponi for mudringsmasser i Nyhavna – Forprosjekt. Rapport 425566-TVF-RAP-001.2511.2013

Klif, 2012a

Utkast til bakgrunnsdokument for utarbeidelse av miljøkvalitetsstandarder og klassifisering av miljøgifter i vann, sediment og biota. Veileder TA 3001/2012.

Klif, 2012b

Risikovurdering av forurenset sediment. Veileder TA-2802/2012.

Huettel and Webster, 2001

HUETTEL, M., and I. T. WEBSTER.. Porewater flow in permeable sediments, p. 144–179. In B. P. Boudreau and B. B. Jørgensen [eds.], *The benthic boundary layer*. Oxford Univ. Press. 2001

Huettel and Gust, 1992

HUETTEL, M., AND G. GUST. 1992. Solute release mechanisms from confined sediment cores in stirred benthic chambers and flume flows. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 82: 187–197.

Loeff, 1980

Rutgers van der Loeff M.M. Nutrients in the interstitial waters of the Southern Bight of the North Sea. *Neth. J. Sea Res.* 14: 144-171. 1980

Reible, 2009

Lampert, David J. and Reible, Danny An Analytical Modeling Approach for Evaluation of Capping of Contaminated Sediments. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 18:4, 470 – 488. 2009

NGI, 2011a.

Helhetlig tiltaksplan. Opprydding i forurenset sjøbunn i Trondheim havnebasseng. Delrapport 1A: Datarapport. Rapport nr. 20081794-00-39-R.



NGI, 2011b

Helhetlig tiltaksplan. Opprydding i forurenset sjøbunn i Trondheim havnebasseng.  
Delrapport 1B: Risikovurdering. Rapport nr. 20081794-00-52-R.

NGI, 2011c

Helhetlig tiltaksplan. Opprydding i forurenset sjøbunn i Trondheim havnebasseng.  
Delrapport 3: Deponialternativer. Rapport nr. 20081794-00-49-R.

NGI/DNV, 2011

Helhetlig tiltaksplan. Opprydding i forurenset sjøbunn i Trondheim havnebasseng.  
Delrapport 4: Tiltaksplan. Rapport nr. 20081794-00-62-R

RL, 2009

Renere havnesedimenter i Trondheim, Rekontaminering av sedimenter etter mudring, Rapport 2009-01. Rambøll, datert 15.09.2009.

SFT, 2006

Veiledende testprogram for masser til bruk for tildekking av forurensete sedimenter. Veileder TA-2143/2005.

TH, 2013a

Renere havn – Kommunikasjonsstrategi. Trondheim Havn, 2013.

TH, 2013b

Gjennomgang av fremtidig seilingsdyp som grunnlag for mudring og tildekking i "Renere havn". Notat fra Trondheim havn 29.08.2013.

TK, 2013b

Konkurransesgrunnlag " Renere havn – Prosjektering av tiltak". Trondheim kommune v/Utbyggingsenheten. 20. mars 2013.

TK, 2011

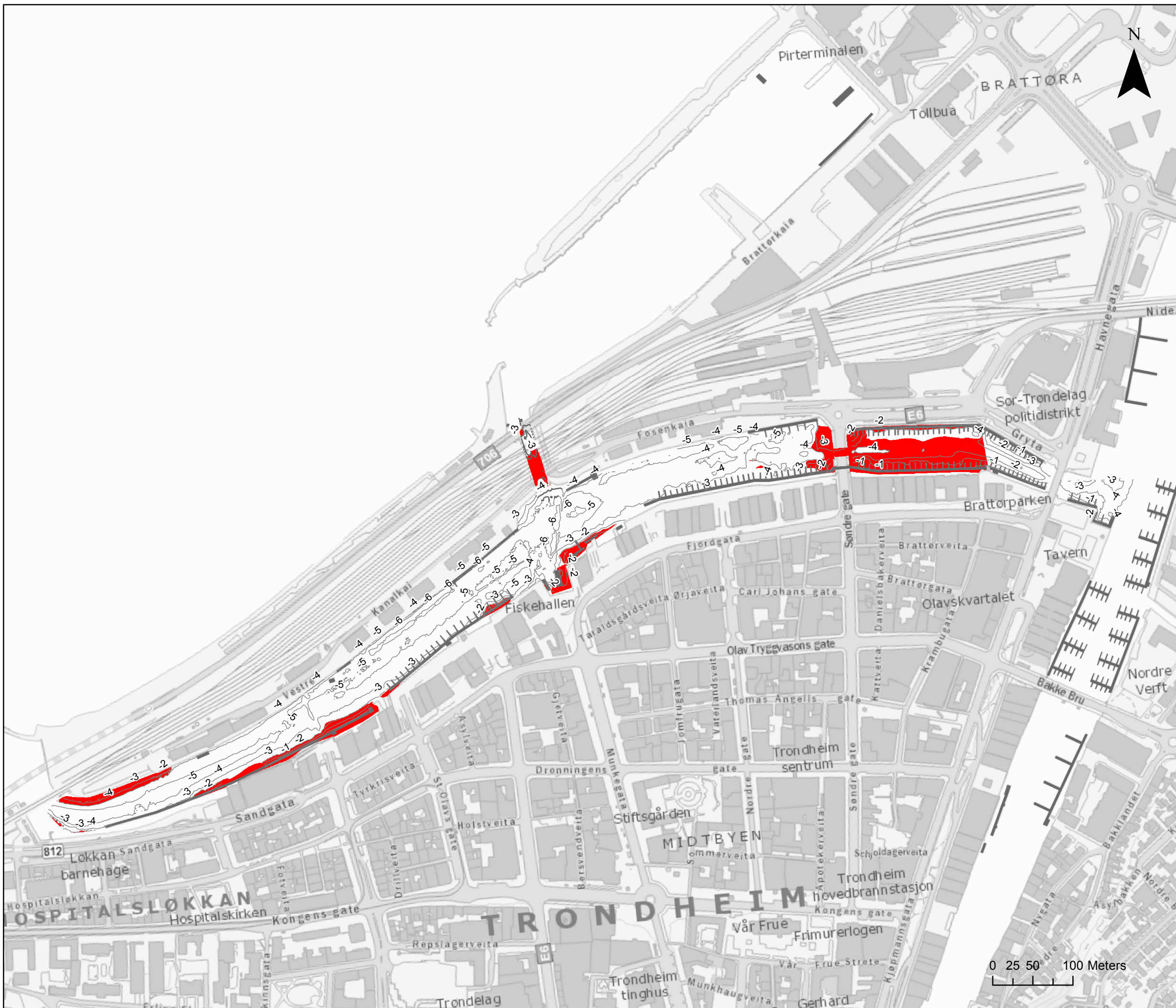
Saksframlegg – arkivsak 08/8764: Tiltak for å redusere forurensning i havnebassenget i Trondheim. Trondheim kommune 13. oktober 2011.



# Vedlegg A - Kartvedlegg med mudrearealer

## Innhold

<b>1</b>	<b>Kart Brattøra</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Kart Kanalen</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Kart Nyhavna</b>	<b>4</b>




### Tegnforklaring

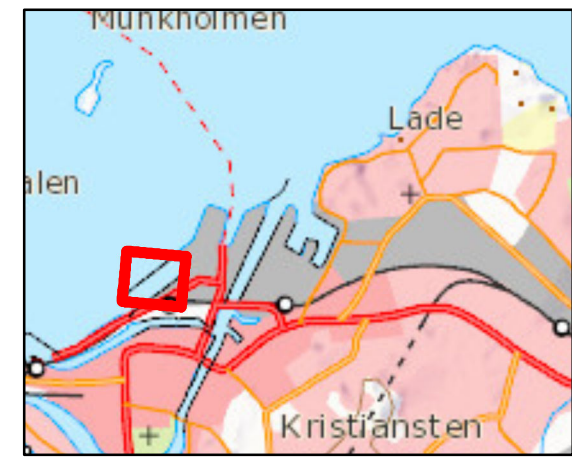
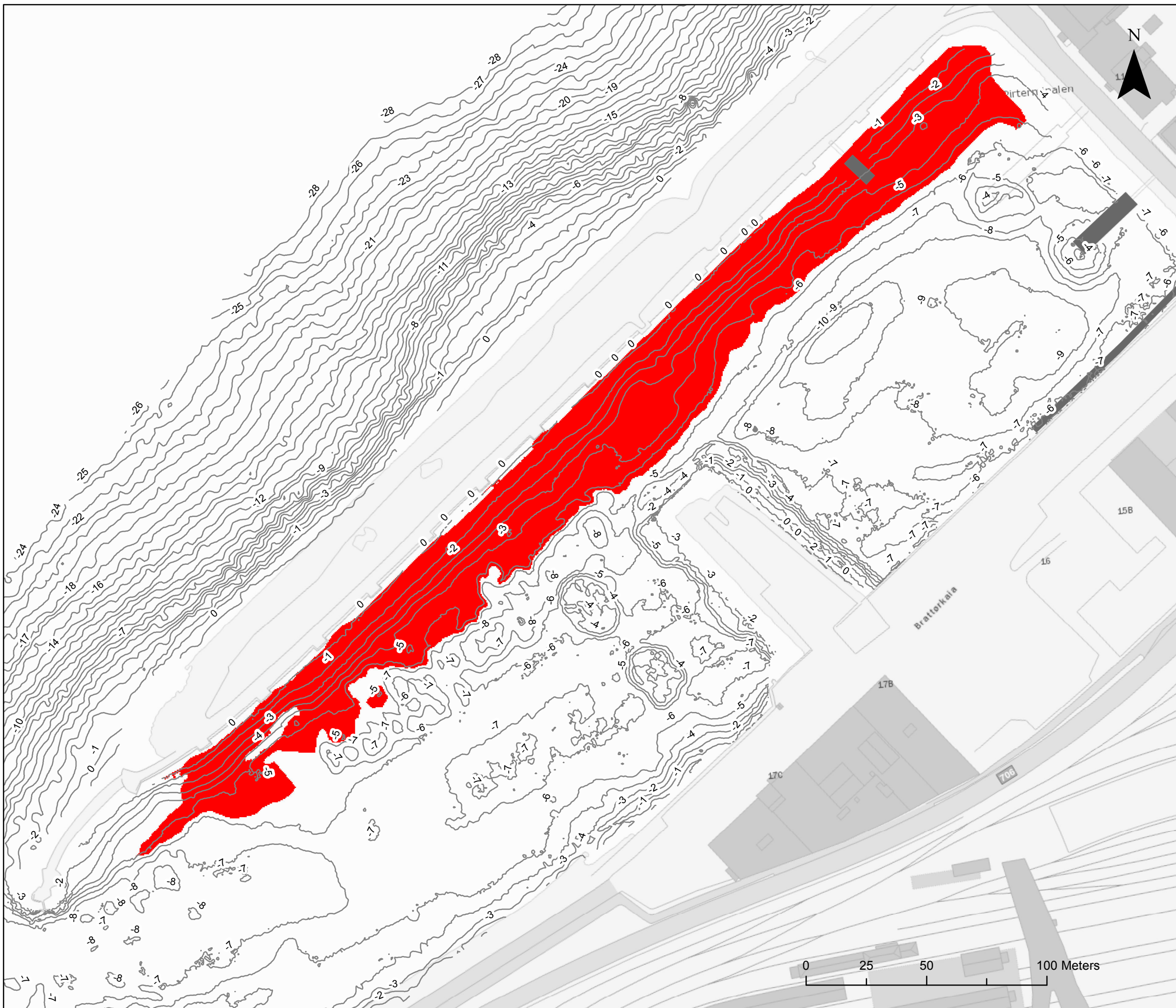
- Mudringsmasser
- Kanalen koter, 1 m
- Flytebrygge



Målestokk (A3): 1:4 500 Datum: ETRS89, Kartprojeksjon: UTM32N

Trondheim havn		
<b>Mudringsmasser, Kanalen</b>	Prosjektnr. 20130339	Kart nr. A-1
Rød farge: originalflaten er grunnere enn konstruert flate.	Utført KEK	Dato 2013-11-04
	Kontrollert MMo	
	Godkjent MMo	






## Tegnforklaring

- Mudringsmasser
- Brattøra koter, 1 m
- Flytebrygge

Målestokk (A3): 1:1 500 Datum: ETRS89, Kartprojeksjon: UTM32N

Trondheim havn		
<b>Mudringsmasser, Brattørbassenget</b>	Prosjektnr. 20130339	Kart nr. A-2
Rød farge: originalflaten er grunnere enn konstruert flate.	Utført KEK	Dato 2013-10-04
	Kontrollert MMo	 <b>NGI</b>
	Godkjent MMo	






### Tegnforklaring

- Mudringsmasser
- Nyhavna koter, 1 m
- Flytebrygge

Målestokk (A3): 1:2 000 Datum: ETRS89, Kartprojeksjon: UTM32N

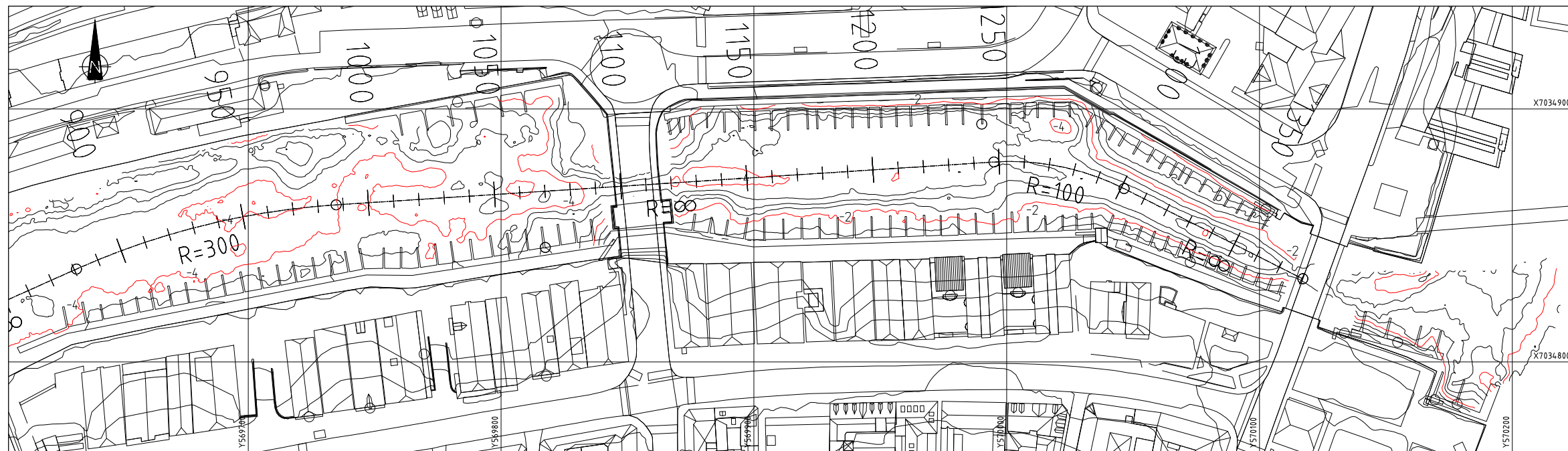
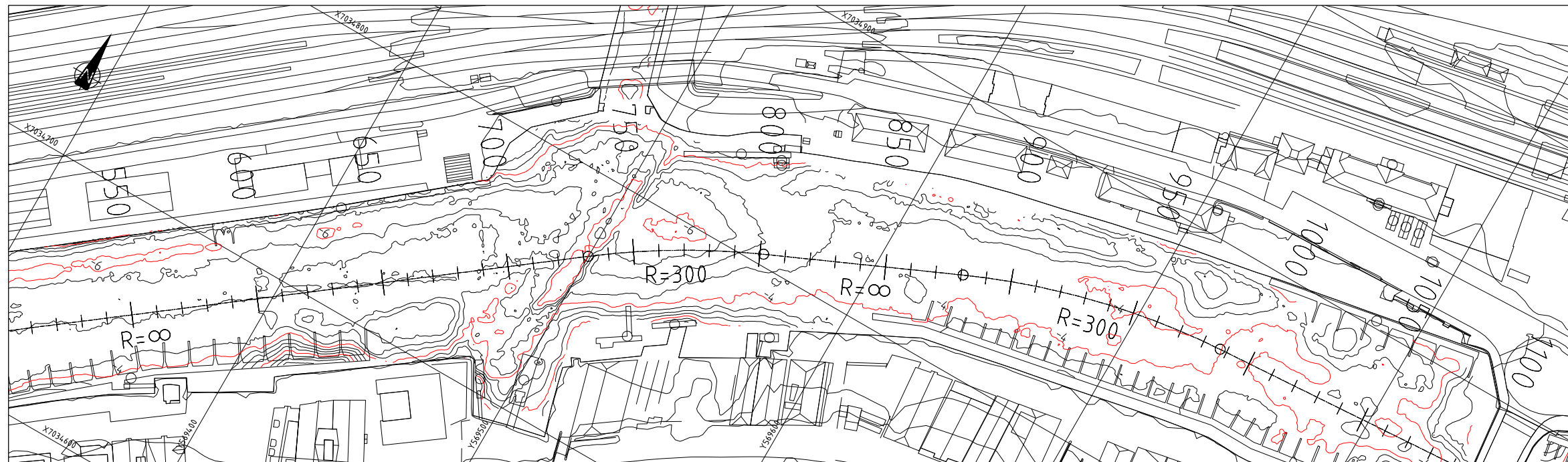
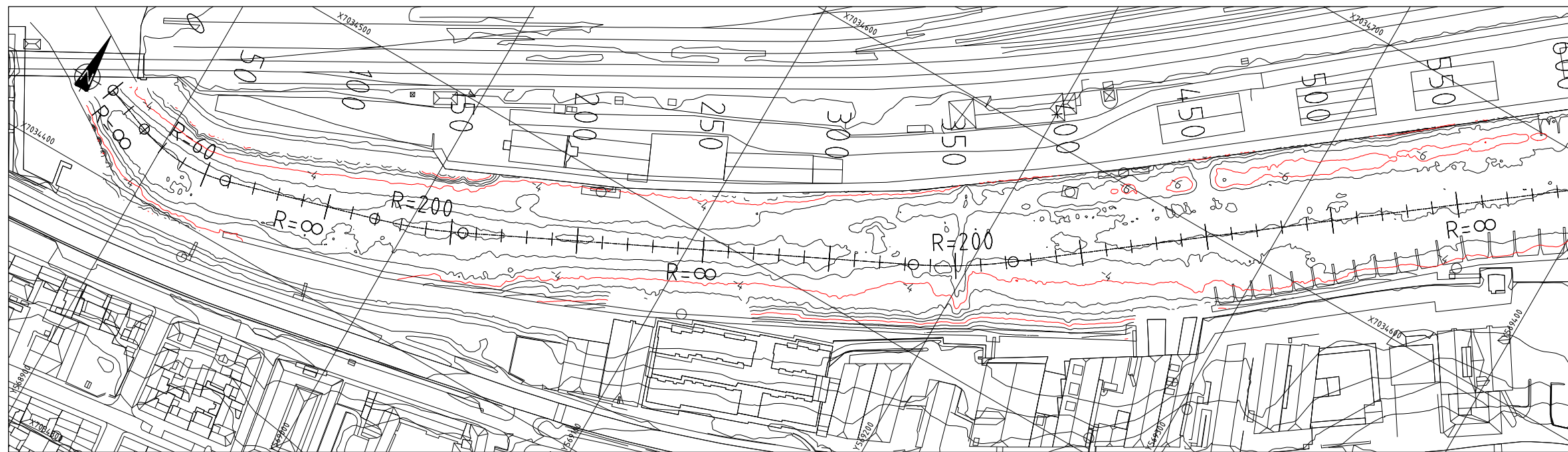
Trondheim havn		
<b>Mudringsmasser</b>	Prosjektnr. 20130339	Kart nr. A-4
Rød farge: originalflaten er grunnere enn konstruert flate.	Utført KEK	Dato 2013-10-29
	Kontrollert MMo	
	Godkjent MMo	

## Vedlegg B - Situasjonsplan, snitt og prinsippskisser for volumberegninger

### Innhold

<b>1</b>	<b>Tegning T101 Situasjonsplan Kanalen</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Tegning T102 Situasjonsplan Brattøra</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Tegning T103 Situasjonsplan Nyhavna</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Tegning T201 Profil Kanalen</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Tegning T202 Profil A Brattøra</b>	<b>6</b>
<b>6</b>	<b>Tegning T203 Profil B Brattøra</b>	<b>7</b>
<b>7</b>	<b>Tegning T204 Profil C Brattøra</b>	<b>8</b>
<b>8</b>	<b>Tegning T205 Profil D Nyhavna</b>	<b>9</b>
<b>9</b>	<b>Tegning T206 Profil E Nyhavna</b>	<b>10</b>
<b>10</b>	<b>Tegning T207 Profil F Nyhavna</b>	<b>11</b>





**FORKLARINGER:**

Koordinatsystem: EUREF89 - UTM sone 32  
 Høydesystem, land: NN2000  
 Høydesystem, sjøbunn: LAT  
 Ekvivalens, sjøbunn: 0.5m (Partalls-koter markert med rød)

Typisk profil er vist på tegning 201

**BESTEMMELSER:**

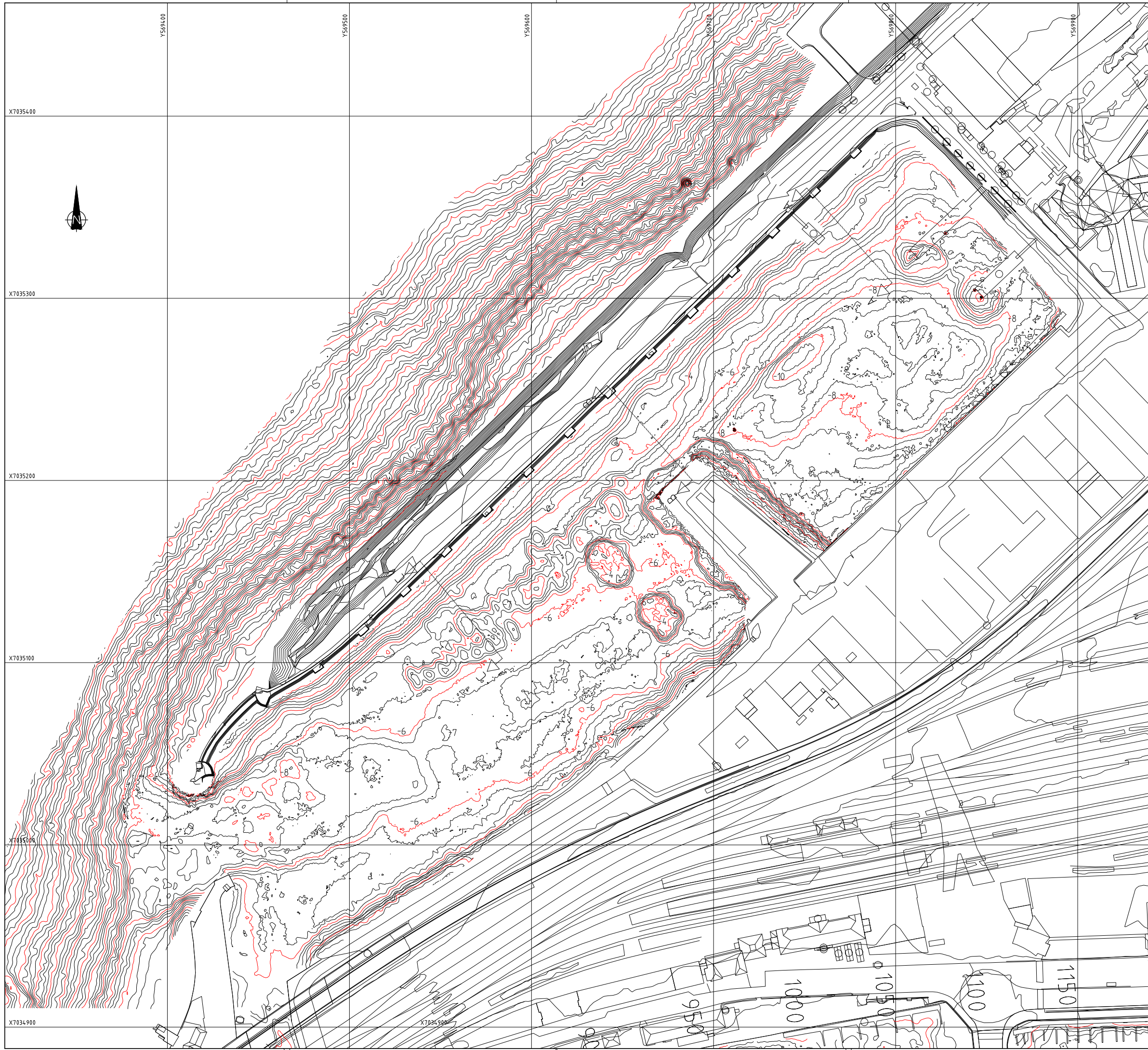
**HENVISNINGER:**

Tegningsnr.	Tegning:	Rev.
RENERE HAVN - Prosjektering av tiltak	101	0

Tegningen er redusert til halv målestokk uten at målestokkangivelsen er redusert tilsvarende.

Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontrollert	Godkjent
-	-	-	-	-	-
<b>RENERE HAVN</b> <b>Prosjektering av tiltak</b>		Status A1 Tegningens tittel Sognsvannet og Ullensakerkanalen Håbedalsk	Målestokk 1:1000 1:2000 (A3)		
Kanalen Situasjonsplan		NGI Sognsvannet 72 - PO Box 3930 Ullensvål Stadion NO-0806 Oslo, Norway T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48 www.ngi.no	Dato 29.10.2013 Oppdragnr. 20130339	Konstr./Tegnet MMe Tegning: 101	Kontrollert MMe Rev. 0





**FORKLARINGER:**

Koordinatsystem: EUREF89 - UTM sone 32  
 Høydesystem, land: NN2000  
 Høydesystem, sjøbunn: LAT  
 Ekvivalens, sjøbunn: 0.5m (Partalls-koter markert med rød)

Profil A, B og C er vist på tegning 202-204

**BESTEMMELSER:**

-

**HENVISNINGER:**

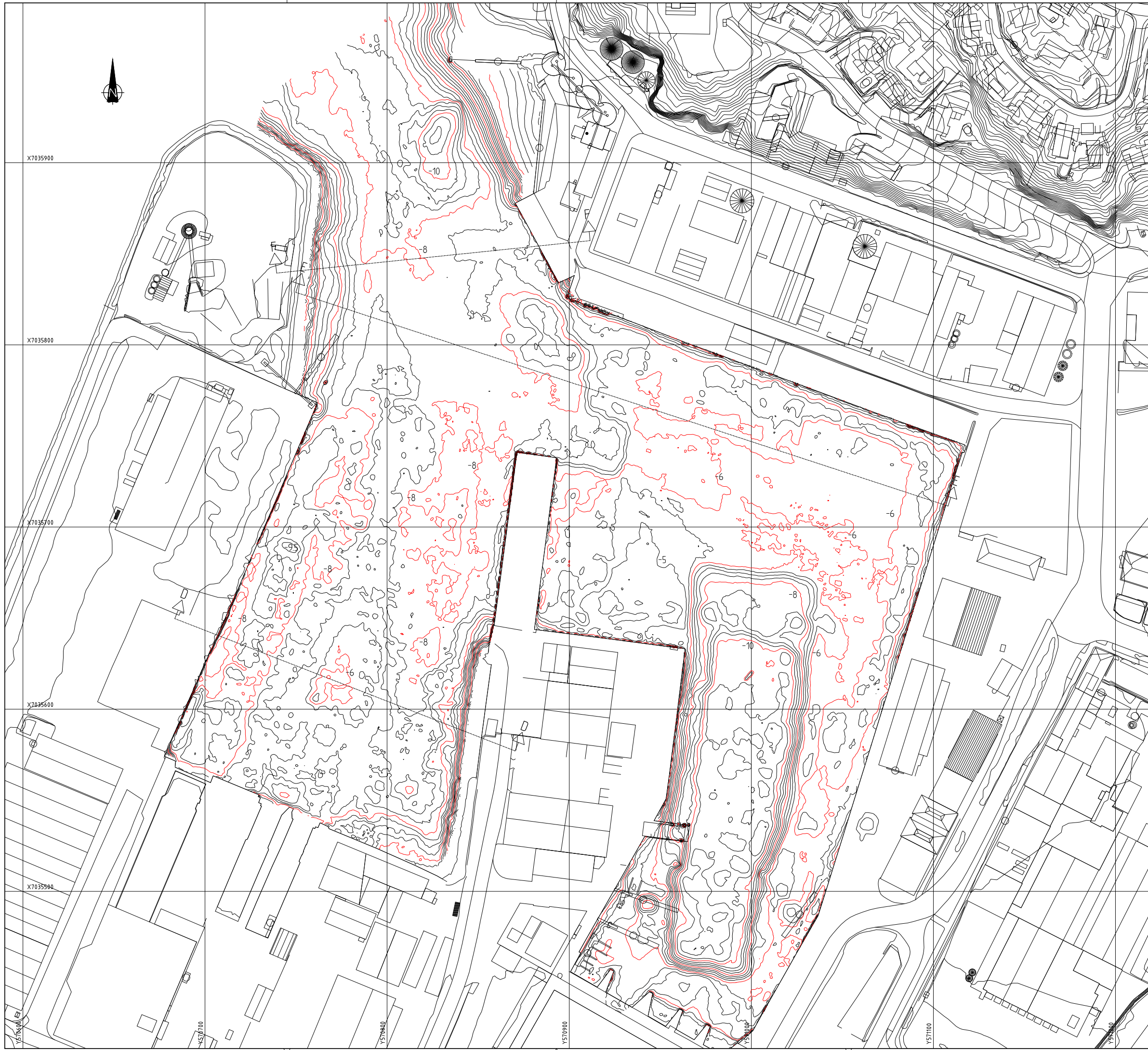
-

Tegningstittel	Tegningnr.	Rev.
RENERE HAVN - Prosjektering av tiltak	102	0

Tegningen er redusert til halv målestokk uten at målestokkangivelsen er redusert tilsvarende.

Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontrollert	Godkjent
-	-	-	-	-	-
<b>RENERE HAVN</b> <b>Prosjektering av tiltak</b> Brattørbassenget Situasjonsplan					
Status Original format A1 Tegningens tittel Situasjonsplan		Målestokk 1:1000 1:2000 (A3)			
NGI Sognsveien 72 - PO Box 3930 Lillevål Stadion NO-0806 Oslo, Norway T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48 www.ngi.no		Dato 28.10.2013 Oppdragsnr. 20130339	Kontrollert MMe Tegningnr. 102	Godkjent MMe Rev. 0	





**FORKLARINGER:**

Koordinatsystem: EUREF89 - UTM sone 32  
 Høydesystem, land: NN2000  
 Høydesystem, sjøbunn: LAT  
 Ekvivalens, sjøbunn: 0.5m (Partalls-koter markert med rød)

Profil D, E og F er vist på tegning 205-207

**BESTEMMELSER:**

-

**HENVISNINGER:**


-

Tegningsittel	Tegningsnr.	Rev.
RENERE HAVN - Prosjektering av tiltak	103	0

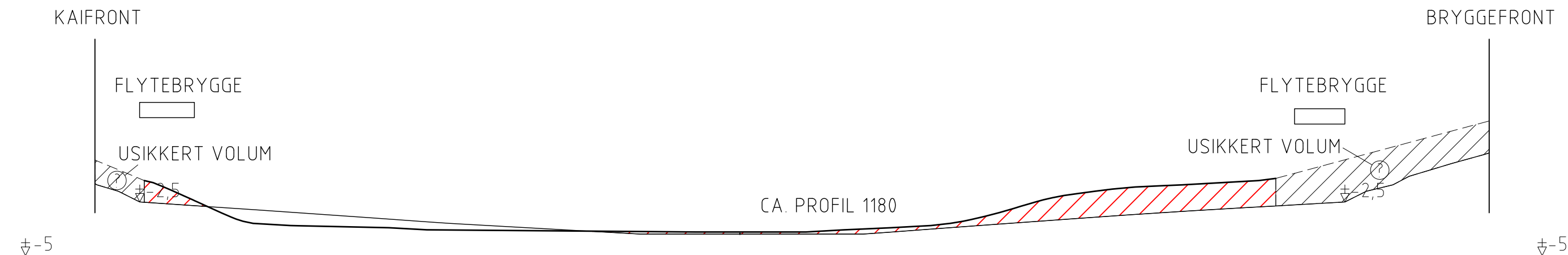
Tegningen er redusert til halv målestokk uten at målestokkangivelsen er redusert tilsvarende.

Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Konstr.	Godkj.
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

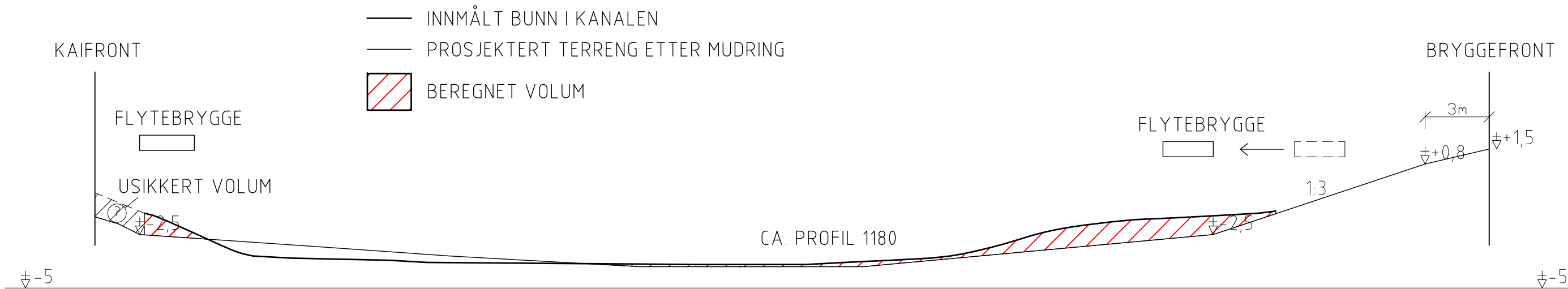
  

<b>RENERE HAVN</b>		Status			
Prosjektering av tiltak		Original format			
Nyhavna		A1			
Situasjonsplan		Tegningens tittel			
		Situasjonsplan			
		Målestokk			
		1:1000			
		1:2000 (A3)			
					
NGI Sognsveien 72 - PO Box 3930 Lillevål Stadion NO-0806 Oslo, Norway T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48 www.ngi.no		Dato	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjert
		29.10.2013	MMe	MMa	MMa
		Oppdragsnr.	Tegningsnr.	Rev.	
		20130339	103		0

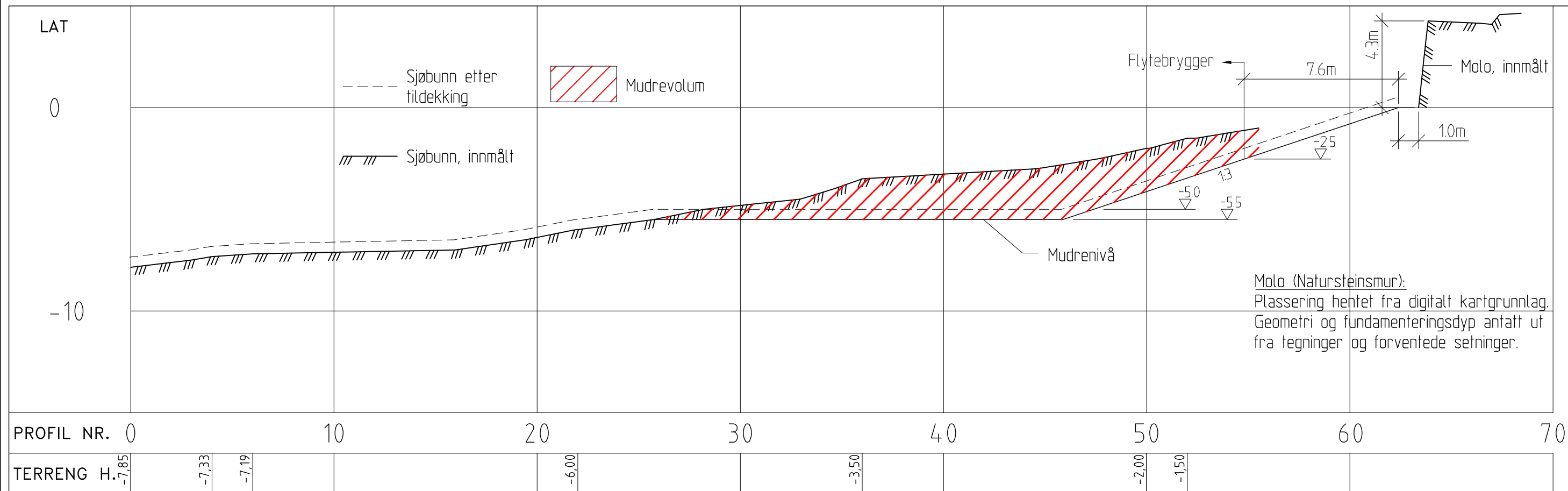
A)



B)

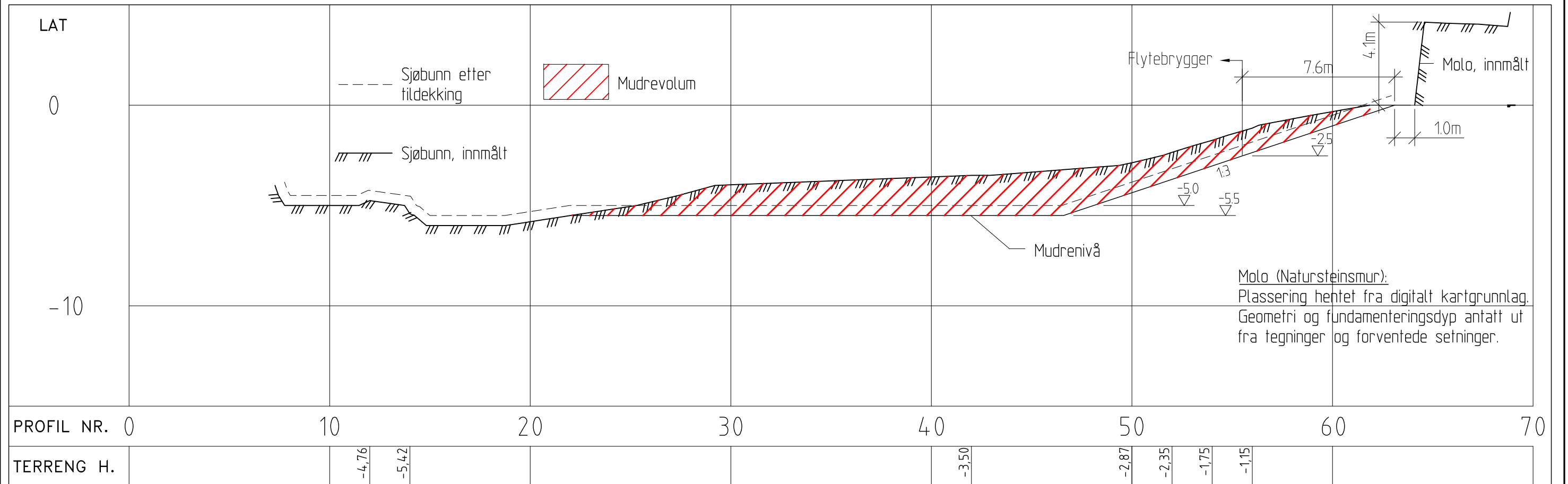


-		-	-	-	-
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
RENERE HAVN Prosjektering av tiltak		Status	-		
		Original format	A3		
		Tegningens filnavn	G:\geoparkiv\20130339\AUTOGRAF\RTV\figmodeller\1fm_situasjonsplan.dwg		
Kanalen Prinsippskisse for volumberegninger (Se beskrivelse i kapittel 6.8.2)		Målestokk	1:200		
NGI Sognsveien 72 - PO Box 3930 Ullevål Stadion NO-0806 Oslo, Norway T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48 www.ngi.no		Dato	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent
		30.10.2013	MMe	MMo	MMo
		Oppdragsnr.	Tegningsnr.	Rev.	
		20130339	201	0	



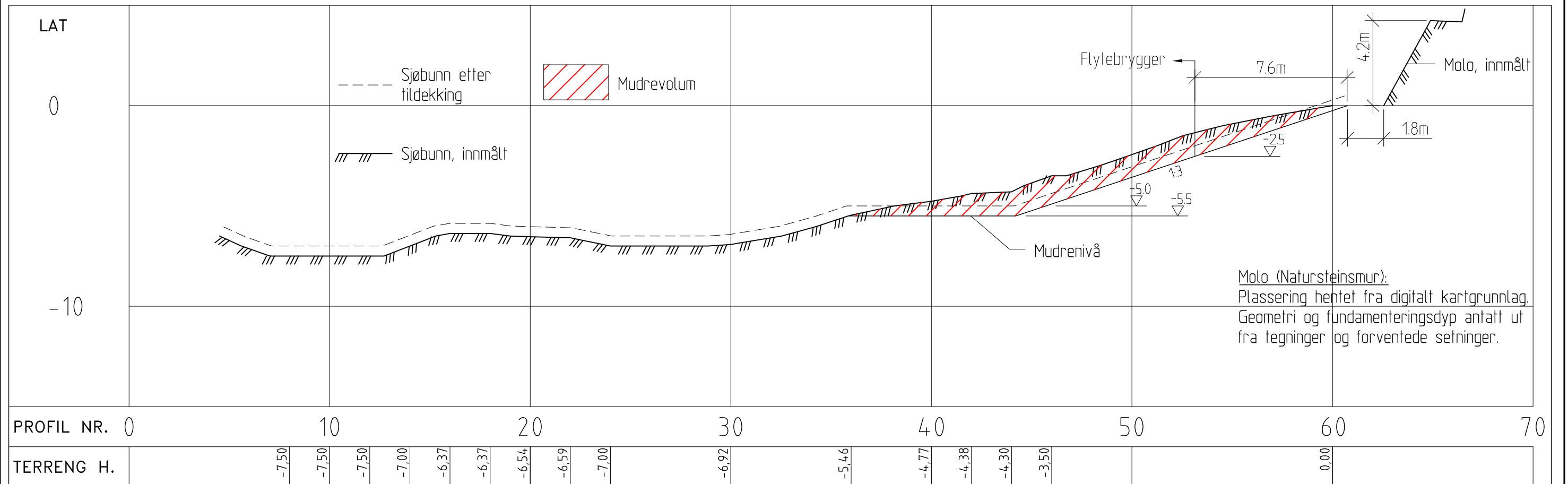
Profil A  
1:200

Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
-	-	-	-	-	-
<b>RENERE HAVN</b> <b>Prosjektering av tiltak</b>		Status - Original format A3 Tegningens filnavn G:\geoarktiv\20130339\AUTOGRAF\ITV\Fagmodeller\1fm_situasjonsplan.dwg			
Brattørbassenget Profil A		Målestokk 1:200			
NGI Sognsveien 72 - PO Box 3930 Ullevål Stadion NO-0806 Oslo, Norway T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48 www.ngi.no		Dato 28.10.2013	Konstr./Tegnet MMe	Kontrollert MMo	Godkjent MMo
		Oppdragsnr. 20130339	Tegningsnr. 202	Rev. 0	



Profil B  
1:200

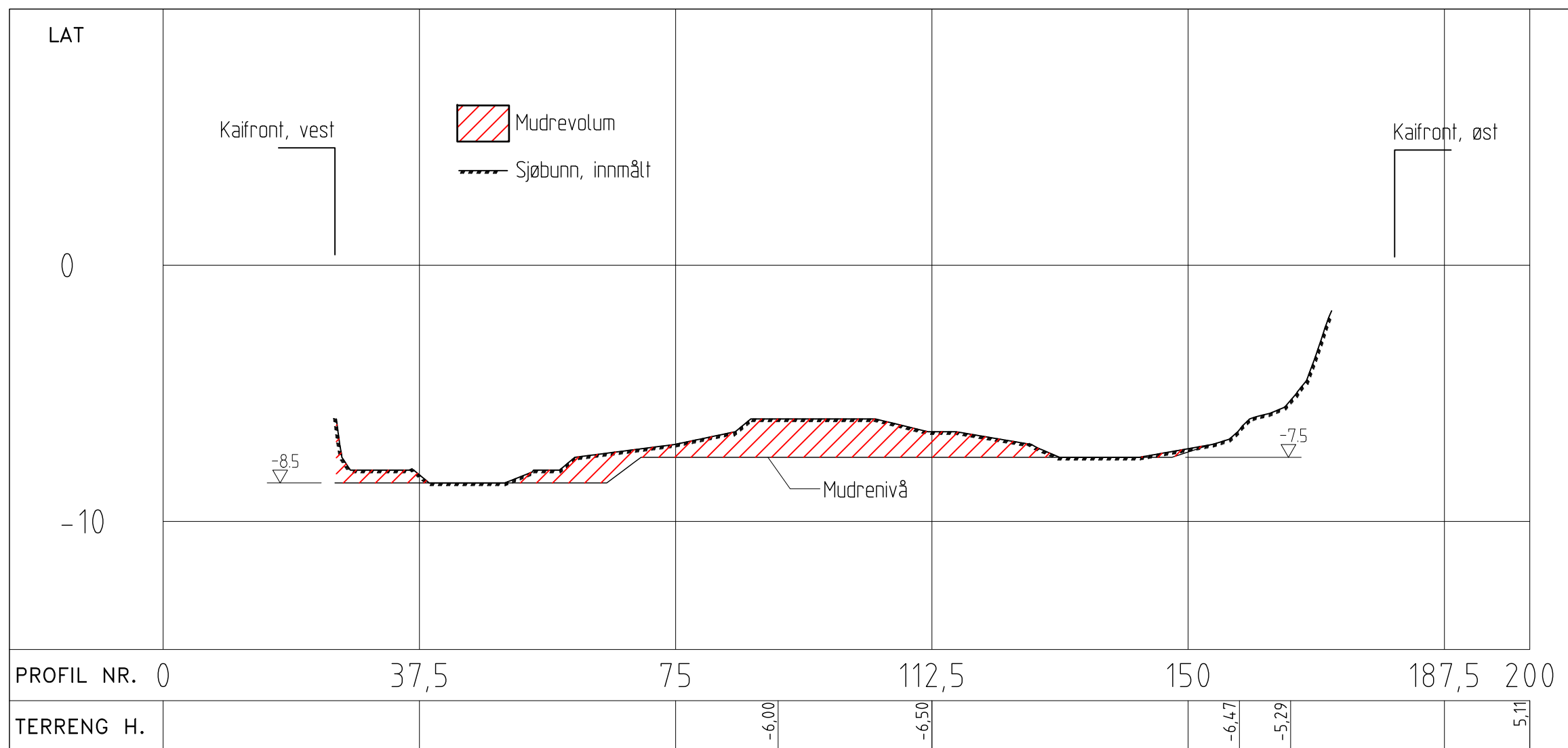
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
-	-	-	-	-	-
<b>RENERE HAVN</b> <b>Prosjektering av tiltak</b>		Status - Original format A3 Tegningens filnavn <small>G:\gearkiv\20130339\AUTOGRAF\RIT\Fagmodeller\fm_situasjonsplan.dwg</small>			
Brattørbassenget Profil B		Målestokk 1:200			
NGI Sognsveien 72 - PO Box 3930 Ullevål Stadion NO-0806 Oslo, Norway T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48 www.ngi.no		Dato 28.10.2013	Konstr./Tegnet MMe	Kontrollert MMo	Godkjent MMo
		Oppdragsnr. 20130339	Tegningsnr. 203	Rev. 0	



Molo (Natursteinsmur):  
 Plassering hentet fra digitalt kartgrunnlag.  
 Geometri og fundamenteringsdyp antatt ut  
 fra tegninger og forventede setninger.

**Profil C**  
 1:200

Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
-	-	-	-	-	-
<b>RENERE HAVN</b> <b>Prosjektering av tiltak</b>		Status -			
Brattørbassenget Profil C		Original format A3			
		Tegningens filnavn <small>G:\gearkiv\20130339\AUTOGRAF\ITV\Fagmodeller\fm_situasjonsplan.dwg</small>			
		Målestokk <b>1:200</b>			
NGI Sognsveien 72 - PO Box 3930 Ullevål Stadion NO-0806 Oslo, Norway T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48 www.ngi.no		Dato 28.10.2013	Konstr./Tegnet MMe	Kontrollert MMo	Godkjent MMo
		Oppdragsnr. <b>20130339</b>	Tegningsnr. <b>204</b>		Rev. <b>0</b>



### Profil D

H 1:1000, V 1:200

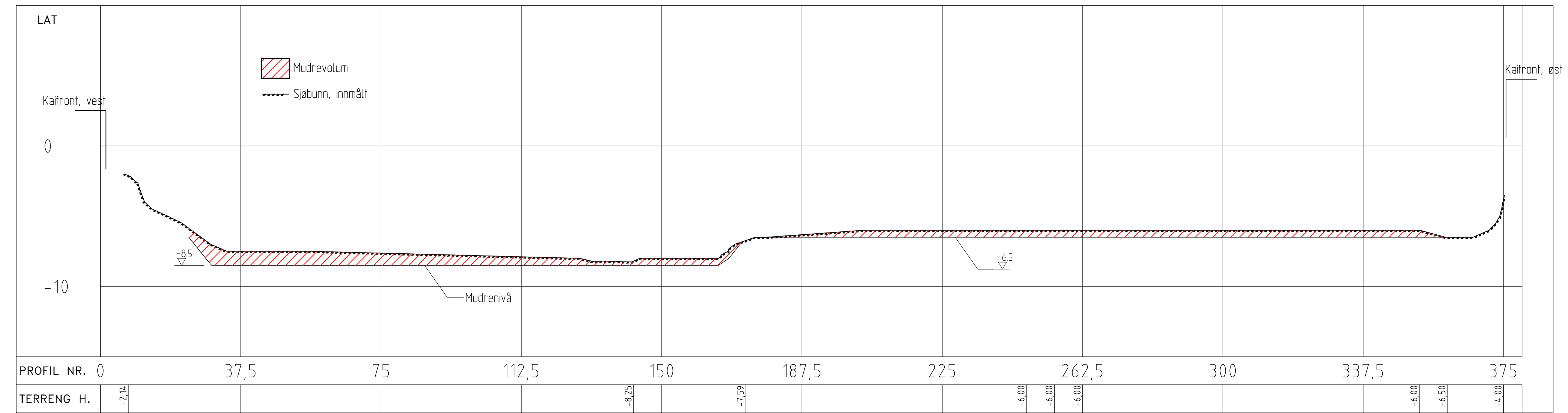
-		-		-		-	
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.		
RENERE HAVN Prosjektering av tiltak		-		-		-	
Nyhavna Profil D		Status -		Original format A3		Tegningens filnavn G:\geoarktiv\20130339\AUTOGRAF\IT\Fagmodeller\fm_situasjonsplan.dwg	
		Målestokk H 1:1000 V 1:200					
NGI Sognsveien 72 - PO Box 3930 Ullevål Stadion NO-0806 Oslo, Norway T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48 www.ngi.no		Dato 29.10.2013	Konstr./Tegnet MMe	Kontrollert MMo	Godkjent MMo		
		Oppdragsnr. 20130339	Tegningsnr. 205	Rev. 0			



FORKLARINGER:

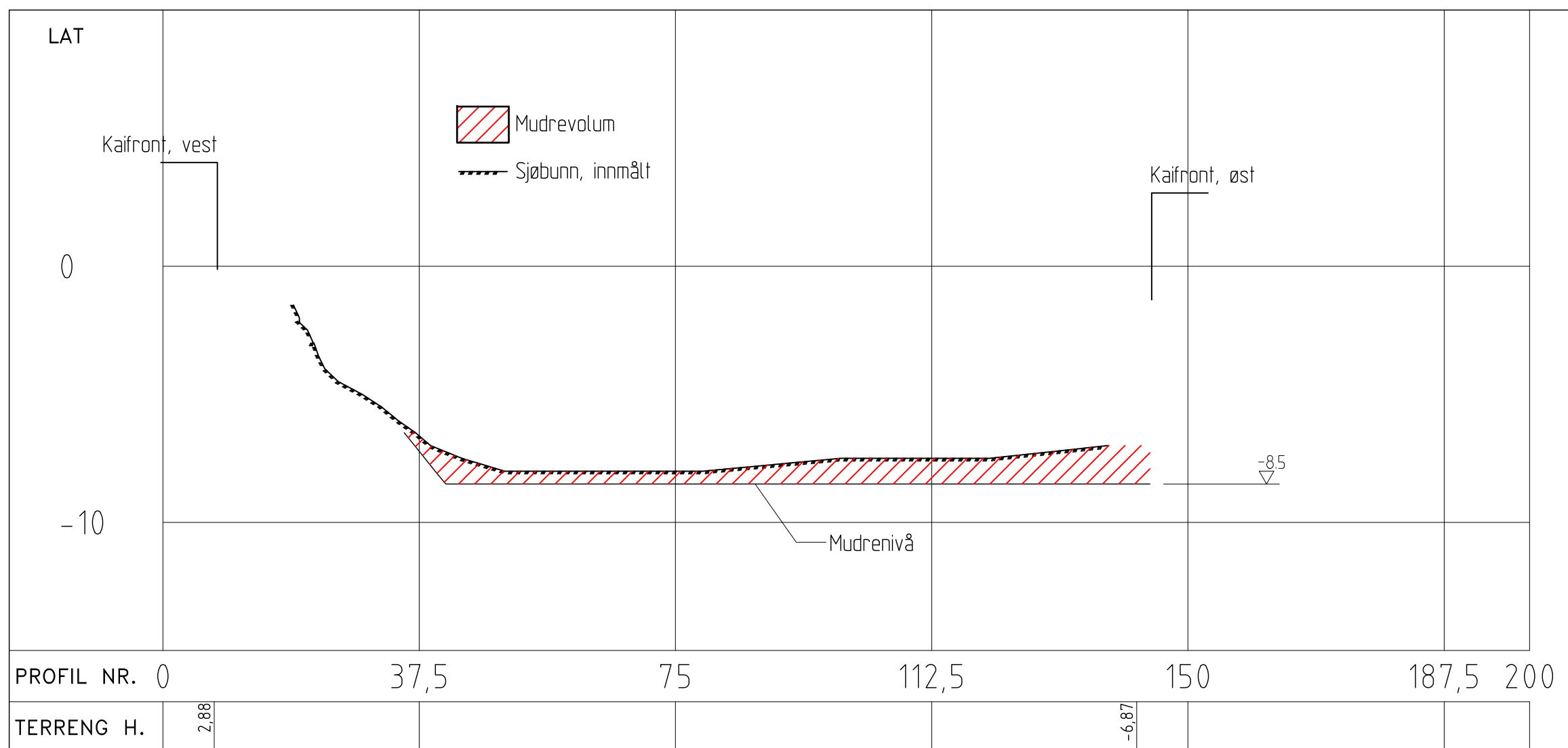
BESTEMMELSER:

HENVISNINGER:



Profil E  
H 1:1000, V 1:200

Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
-	-	-	-	-	-
<b>RENERE HAVN</b> Prosjektering av tiltak		Status - Original format A3-L Tegningens filnavn G:\gearkiv\20130339\AUTOGRAF\RT\Tegninger\Tm_situasjonplan.dwg		Målestokk H 1:1000 V 1:200	
Nyhavna Profil E		NGI Sognsveien 72 - PO Box 3930 Ullevål Stadion NO-0806 Oslo, Norway T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48 www.ngi.no		NGI	
Dato 29.10.2013 Oppdragsnr. <b>20130339</b>		Konstr./Tegnet MMe Tegningsnr. <b>206</b>		Kontrollert MMo Godkjent MMo Rev. <b>0</b>	



Profil F  
H 1:1000, V 1:200

-	-	-	-	-	-
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
	<b>RENERE HAVN</b> Prosjektering av tiltak	Status			
		Original format			
		A3			
		Tegningens filnavn			
		G:\geoarktiv\20130339\AUTOGRAF\ITV\figmodeller\fm_situasjonsplan.dwg			
	Nyhavna Profil F	Målestokk			
		H 1:1000 V 1:200			
					
	NGI Sognsveien 72 - PO Box 3930 Ullevål Stadion NO-0806 Oslo, Norway T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48 www.ngi.no	Dato	Konstr./Tegnet	Kontrollert	Godkjent
		29.10.2013	MMe	MMo	MMo
		Oppdragsnr.	Tegningsnr.	Rev.	
		20130339	207	0	



Dokumentnr.: 20130339-01-R  
Dato: 2013-12-06  
Rev.nr.: 0  
Vedlegg C, Side 1

## Vedlegg C - Tildekking - Beregningsgrunnlag

# 1 Tildekking

Tabeller fra risikovurdering.

Tabell 1: Oppsummering av risikovurdering for Nyhavna

Stoff	Målt sedimentkonsentrasjon overskrider trinn 1 grenseverdi med:		F <sub>tot</sub> overskrider tillatt spredning med:		Beregnet total livstidsdose overskrider MTR 10 % med:		Målt eller beregnet porevannskonsentrasjon overskrider PNEC <sub>w</sub> med:	
	Maks	Middel	Maks	Middel	Maks	Middel	Maks	Middel
Arsen	117 %		225 %	92 %	744,9 %		504,2 %	379,2 %
Bly	241 %		218 %					
Kadmium			19 %					
Kobber	5351 %	349 %	3910 %	233 %				
Krom totalt (III + VI)								
Kvikksølv	26 %		26 %					
Nikkel	104 %		20 %				36,4 %	36,4 %
Sink	811 %	23 %	725 %	18 %	0,6 %		75,9 %	36,2 %
Naftalen	107 %							
Acenaftilen	1355 %	229 %						
Acenaften	25 %							
Fluoren	35 %							
Fenantren	280 %							
Antracen	3448 %	572 %	247 %	93 %			115,6 %	84,6 %
Fluoranten	5194 %	899 %	2225 %	831 %	390,4 %		1325,4 %	981,0 %
Pyren	2293 %	391 %	301 %	80 %			5104,5 %	3785,1 %
Benzo(a)antracen	8233 %	1139 %	3722 %	826 %	954,9 %	56,9 %	1989,3 %	1275,2 %
Krysen	1543 %	156 %	692 %	75 %	235,0 %		298,3 %	162,3 %
Benzo(b)fluoranten	1650 %	456 %	522 %	126 %			435,0 %	241,3 %
Benzo(k)fluoranten	1710 %	262 %	554 %	77 %	608,0 %	41,5 %	577,4 %	309,9 %
Benzo(a)pyren	781 %	92 %	196 %		100636,6 %	21859,8 %	221,0 %	83,7 %
Indeno(1,2,3-cd)pyren	3091 %	890 %	1668 %	508 %			2503,3 %	1246,5 %
Dibenzo(a,h)antracen	2 %							
Benzo(ghi)perylene	7043 %	2262 %	2548 %	888 %			3947,0 %	2025,8 %
Sum PCB7	2374 %	165 %			246,5 %	62,8 %		
Tributyltinn (TBT-ion)	28471 %	3197 %					8947,6 %	5400,0 %

Tabell 2: Oppsummering av risikovurdering for Brattøra nord

Stoff	Overskridelse trinn 1 grenseverdi med:		Overskridelse tillatt spredning med:		Overskridelse av MTR 10		porevannskonsentrasjon overskrider PNEC <sub>w</sub> med:	
	Maks	Middel	Maks	Middel	Maks	Middel	Maks	Middel
Arsen			52 %	50 %	2627,8 %	2627,8 %	170,8 %	170,8 %
Bly	57 %		14 %					
Kadmium			77 %	55 %	685,0 %	685,0 %		
Kobber	155 %							
Krom totalt (III + VI)					23,6 %	23,6 %		
Kvikksølv	75 %		75 %		270,9 %	213,0 %		
Nikkel								
Sink								
Naftalen	1555 %	10 %						
Acenaftilen	1112 %	35 %						
Acenaften	500 %							
Fluoren	1554 %	31 %						
Fenantren	3300 %	281 %						
Antracen	20223 %	1834 %	31 %					
Fluoranten	8135 %	1243 %	137 %					
Pyren	3471 %	544 %					17,8 %	17,8 %
Benzo(a)antracen	8733 %	1310 %	400 %					
Krysen	1507 %	210 %						
Benzo(b)fluoranten	1275 %	267 %						
Benzo(k)fluoranten	1376 %	218 %						
Benzo(a)pyren	710 %	56 %						
Indeno(1,2,3-cd)pyren	3943 %	753 %	379 %	2 %				
Dibenzo(a,h)antracen								
Benzo(ghi)perylene	8471 %	1877 %	384 %	13 %				
Sum PCB7	1866 %	119 %			-29,2 %	-29,2 %		
DDT								
Tributyltinn (TBT-ion)	1234 %	89 %					138,1 %	138,1 %

Tabell 3: Oppsummering av risikovurdering for Kanalen

Stoff	Overskridelse trinn 1 grenseverdi med:		Overskridelse tillatt spredning med:		Overskridelse av MTR 10		porevannskonsentrasjon overskrider PNEC <sub>w</sub> med:	
	Maks	Middel	Maks	Middel	Maks	Middel	Maks	Middel
Arsen			484 %	338 %	152,0 %	41,6 %	1171 %	858 %
Bly	196 %		164 %					
Kadmium			7 %					
Kobber	116 %	44 %	38 %					
Krom totalt (III + VI)								
Kvikksølv	332 %	5 %	332 %	5 %				
Nikkel	98 %							
Sink								
Naftalen								
Acenaftylen	1264 %	160 %						
Acenaften	88 %							
Fluoren	23 %							
Fenantren	660 %	84 %						
Antracen	7319 %	923 %	45 %					
Fluoranten	4194 %	1154 %	252 %	16 %				
Pyren	1971 %	413 %					176,0 %	113,0 %
Benzo(a)antracen	2567 %	862 %	348 %	66 %				
Krysen	579 %	134 %						
Benzo(b)fluoranten	1400 %	337 %	104 %					
Benzo(k)fluoranten	1614 %	188 %	128 %					
Benzo(a)pyren	567 %	37 %			2067,2 %	344,0 %		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1964 %	688 %	536 %	143 %				
Dibenzo(a,h)antracen	-10 %		-76 %					
Benzo(ghi)perylen	4662 %	1721 %	679 %	199 %				
Sum PCB7	796 %	248 %			-57,2 %	-72,5 %		
DDT								
Tributyltinn (TBT-ion)	131 %	46 %					1423,8 %	1114,3 %



Dokumentnr.: 20130339-01-R  
Dato: 2013-12-06  
Rev.nr.: 0  
Vedlegg D, Side 1

# Vedlegg D - SINTEF Skipsoppvirvling



# Notat

Foretaksregister:

## Renere havn Trondheim Oppvirvling av sediment fra båttrafikk

**SAKSBEHANDLER / FORFATTER**Grim Eidnes  
Ragnhild L. Daae**BEHANDLING**  
**UTTAELSE**  
**ORIENTERING**  
**ETTER AVTALE****GÅR TIL**

Mari Moseid, NGI

X

**PROSJEKTNR / SAK NR**  
102004724**DATO**  
2013-10-31**GRADERING**  
Fortrolig

### 1 Bakgrunn

I prosjektet Renere havn er NGI engasjert av Trondheim kommune til blant annet å prosjektere tildekkingsmateriale i områdene Nyhavna, Brattørbassenget og Kanalen i Trondheim. NGI bruker SINTEF Miljøteknologi som underleverandør for beregning av oppvirvlet sediment fra skipstrafikken i disse områdene. SINTEFs beregninger skal gi propellstrømmen som genereres langs bunnen for dimensjonerende båter i områdene, og relatere denne strømmen til kritisk kornstørrelse, det vil si den minste kornstørrelsen som forventes å bli liggende i ro på bunnen under påvirkning av denne propellstrømmen. Det foreliggende notatet presenterer resultatet av disse beregningene.

### 2 Datagrunnlag

Ved beregning av oppvirvling av bunnsedimenter fra båttrafikk trengs det opplysninger om propellenes størrelse og plassering samt motorens yteevne og aktuelt pådrag. Ved valg av dimensjonerende båt har vi lagt til grunn stor dypgående, dypt plassert propell, stor motorkraft og ikke minst en viss hyppighet av ankomster og avganger. I prosjektet Renere havn skal dimensjonerende båt bestemmes for Brattørbassenget, Kanalen og fire delområder av Nyhavna.

## 2.1 Nyhavna

- 1) Kai 41-43 og 46, kote -8 LAT: Som dimensjonerende båt er valgt *MS Nordvåg*. Data er hentet fra Daae og Rye (2011).
- 2) Manøvreringsområde utenfor kai 44, kote -7 LAT:  
Følgende fem BOA-båter er vurdert: *Njord*, *Tyr*, *Chief*, *Loke* og *Siw* (se tabell 2.1 nedenfor). Ut fra de oppgitte verdiene har valget som dimensjonerende falt på *BOA Tyr*. Den har største dypgående (5,0 m), dypeste propell (3,7 m) og nest størst motorkraft (3 280 kW, fordelt på to hovedmotorer).

Tabell 2.1 Dimensjoner for BOA-båter i Nyhavna.

Båt	Propelldyp <sup>1)</sup> (m)	Dypgående (m)	Motorkraft (kW)
<i>BOA Njord</i>	2,9	4,2	2 x 1 920
<i>BOA Tyr</i>	3,7	5,0	2 x 1 640
<i>BOA Chief</i>	3,0	4,8	749
<i>BOA Loke</i>	3,0	4,9	3 200
<i>BOA Siw</i>	2,2	4,2	2 x 1 230

<sup>1)</sup> Propelldyp er estimert ut fra skipstegninger og propelldiameterer

- 3) Kai 55 og 56, kote -6 LAT: Som dimensjonerende båt er valgt *MS With Junior*. Data er hentet fra Daae og Rye (2011).
- 4) Kai 57 Norcem-kaia, kote -7,5LAT:  
Av de båtene som hyppigst anløper kaia, er *UBC Cartagena* og *UBC Cork* størst. Disse er søster-skip, tilnærmet identiske og har dypgående på 6,8 m og en motorkraft på 2 motorer à 2 500 kW.

## 2.2 Brattørbassenget

Kystekspresen antas å være dimensjonerende for Brattørbassenget. Data er tatt fra Daae og Rye (2011).

## 2.3 Kanalen

I Kanalen er det seilbåter, cabin cruisere og mindre motorbåter som dominerer. Det er også flere større fiskebåter ved kai, men disse er gjerne under oppussing eller restaurering og ikke mye i bruk. Hastighetsbegrensningen i Kanalen er 5 knop. Elvestrømmen i Kanalen gjør at det brukes vesentlig mindre motorkraft ved utseiling enn ved innseiling. Størst motorkraft må benyttes ved innseiling på fallende sjø, da både elvestrøm og tidevannsstrøm virker mot båtens kurs. For å opprettholde 5 knops fart må pådraget på motoren da økes.

Det antas ikke å være vesentlig forskjell mellom nødvendig motorkraft for en seilbåt eller cabin cruiser opp eller ned kanalen. Vi har derfor valgt å bruke båtens dypgående og spesielt propelldypet som avgjørende ved valg av dimensjonerende båt, og da skiller seilbåtene seg ut som vesentlig dypere enn motorbåtene. Det finnes en og annen seilbåt opp i 45 fot som trafikkerer Kanalen, men hovedvekten av de store seilbåtene ligger på rundt 40 fot. Vi har valgt å bruke data for seilbåten *Delphia 40*, men spesifikasjonene for andre tilsvarende seilbåter er omtrent de samme. Båten har dypgående på 2,2 m, propelldyp i 0,8 m og er typisk utstyrt med motor på 40 hk (30 kW). Dimensjonerende motorpådrag opp kanalen ved sterk motstrøm er anslått til ca. 70 % av maksimum, eller 20 kW.

Tabell 2.2 Spesifikasjoner for de valgte dimensjonerende båtene i hvert enkelt delområde.

Sted	Delområde	Båt	Dypgående (m)	Propell-dyp (m)	Motor-effekt (kW)	Propell-diameter (m)	Vannndyp
Nyhavna	Kai 41-43, 46	<i>Nordvåg</i>	5,2	3,4*	2237	2,5	-8 LAT
	Utenfor kai 44	<i>BOA Tyr</i>	5,0	3,7	2 x 1640	2,5	-7 LAT
	Kai 55 (og 56)	<i>With Junior</i>	5,3	3,5	1840	3,2	-6 LAT
	Kai 57, Norcemkaia	<i>Cartagena , Cork</i>	6,8	4,5*	2 x 2500	3,4*	-7,5 LAT
Brattør-bassenget	Ytre basseng	<i>Kyst-ekspressen</i>	2,0	1,0	2 x 2320	0,71	-5 LAT
Kanalen		<i>Delphia 40 e.l.</i>	2,2	0,8	30	0,3	-3,5 LAT

\*) Estimat, ingen sikre data funnet

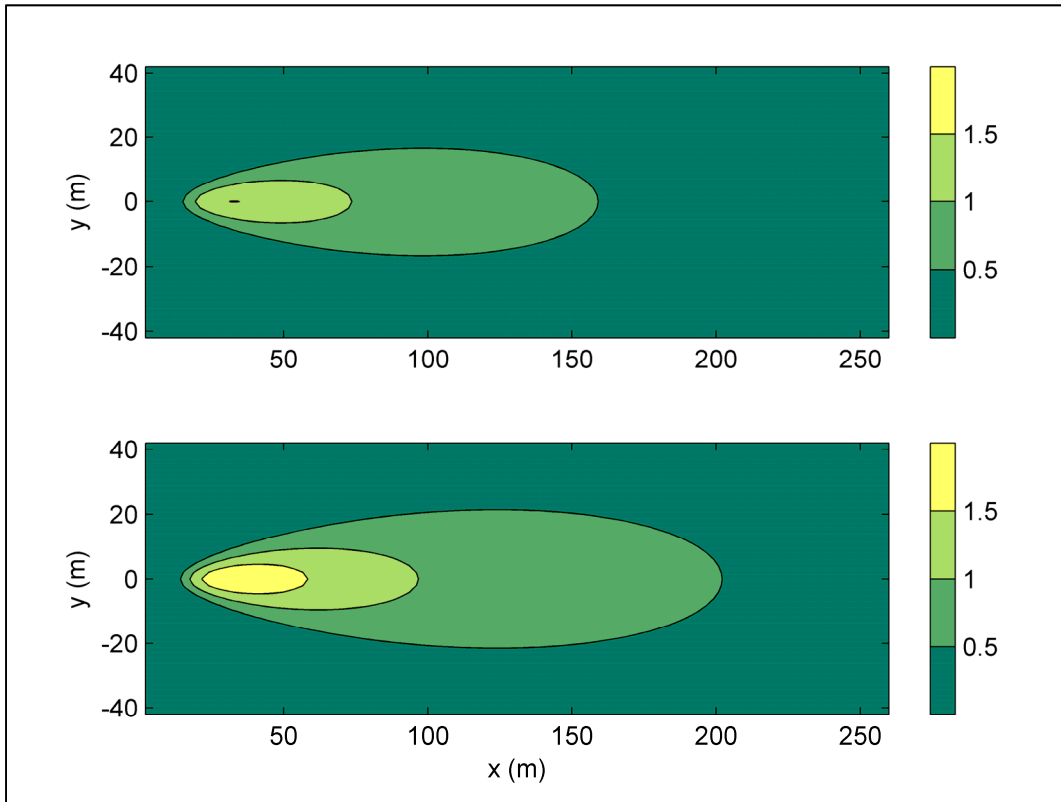
### 3 Modellresultater

Modellen som benyttes for beregning av propelloppvirling og propellstrøm, er utviklet av SINTEF Miljøteknologi. Den er nærmere beskrevet i kapittel 3 i Daae og Rye (2011).

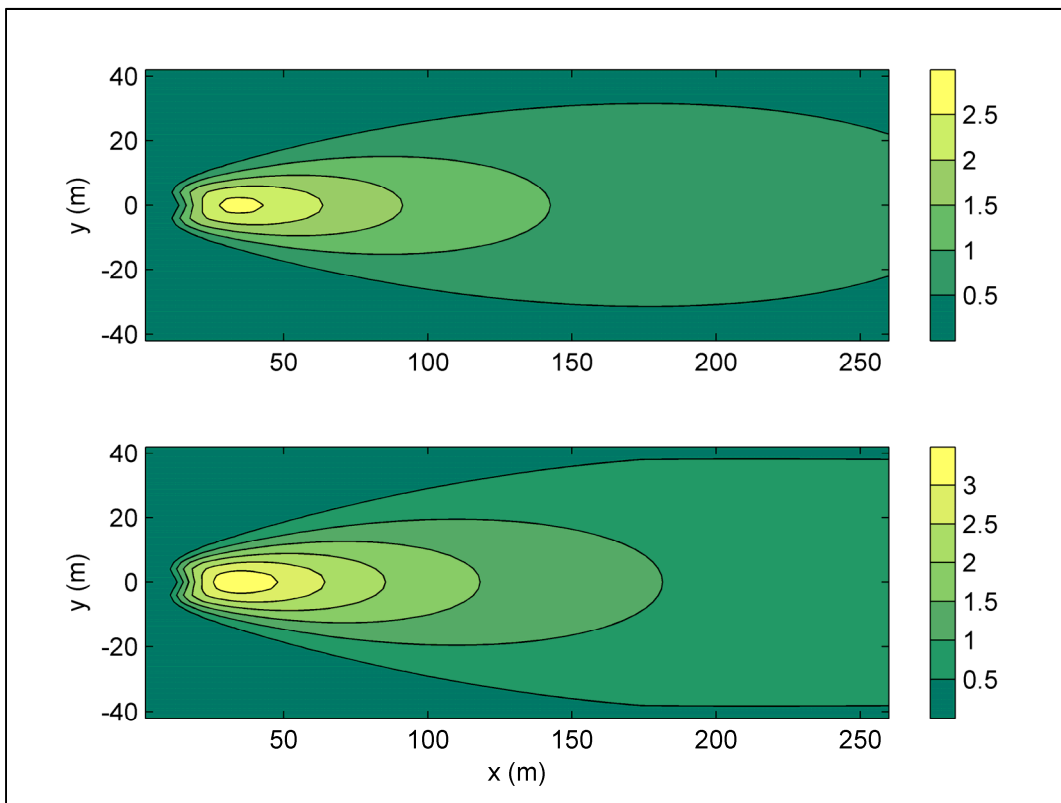
Tabell 3.1 viser resultatet av modellberegningene i form av maksimalhastigheten på propellstrålen ved bunnen for gitt pådrag på motoren. Propellstrålen er visualisert i figurene 3.1 – 3.6 med isolinjer for bunnstrømhastigheter inntegnet, mens maksimalhastigheten som funksjon av vannndypet for de forskjellige båtene er vist i figur 3.7.

Tabell 3.1 Maksimal propellstrøm ved bunnen for gitt pådrag på motoren.

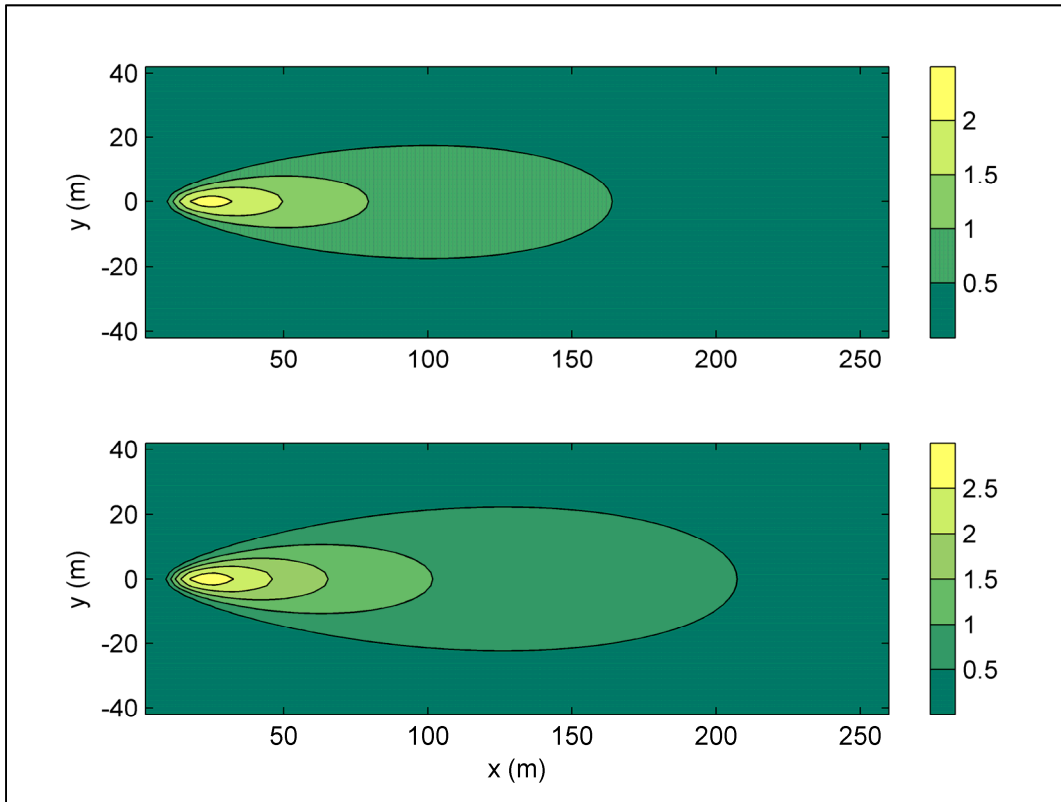
Sted	Delområde	Båt	Vannndyp	Motorpådrag (%)	Maks bunnstrøm (m/s)	
					Lavt pådrag	Høyt pådrag
Nyhavna	Kai 41-43, 46	<i>Nordvåg</i>	-8 LAT	30 og 60	1,5	1,9
	Utenfor kai 44	<i>BOA Tyr</i>	-7 LAT	30 og 60	2,6	3,3
	Kai 55 (og 56)	<i>With Junior</i>	-6 LAT	30 og 60	2,2	2,8
	Kai 57, Norcemkaia	<i>Cartagena , Cork</i>	-7,5 LAT	30 og 60	3,3	4,1
Brattør-bassenget	Ytre basseng	<i>Kyst-ekspressen</i>	-5 LAT	40 og 60	2,2	2,5
Kanalen		<i>Delphia 40 e.l.</i>	-3,5 LAT	70	-	0,4



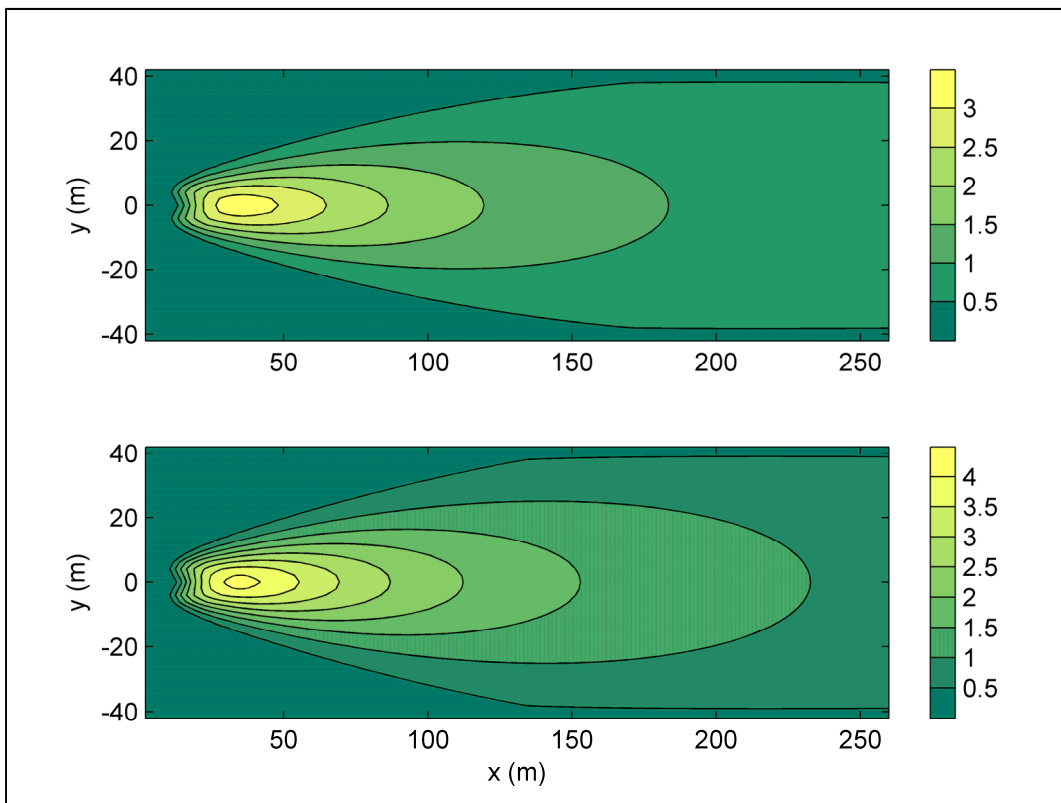
Figur 3.1. Beregnet hastighet ved bunnen (m/s) for *Nordvåg* ved 30 og 60 % motorpådrag.



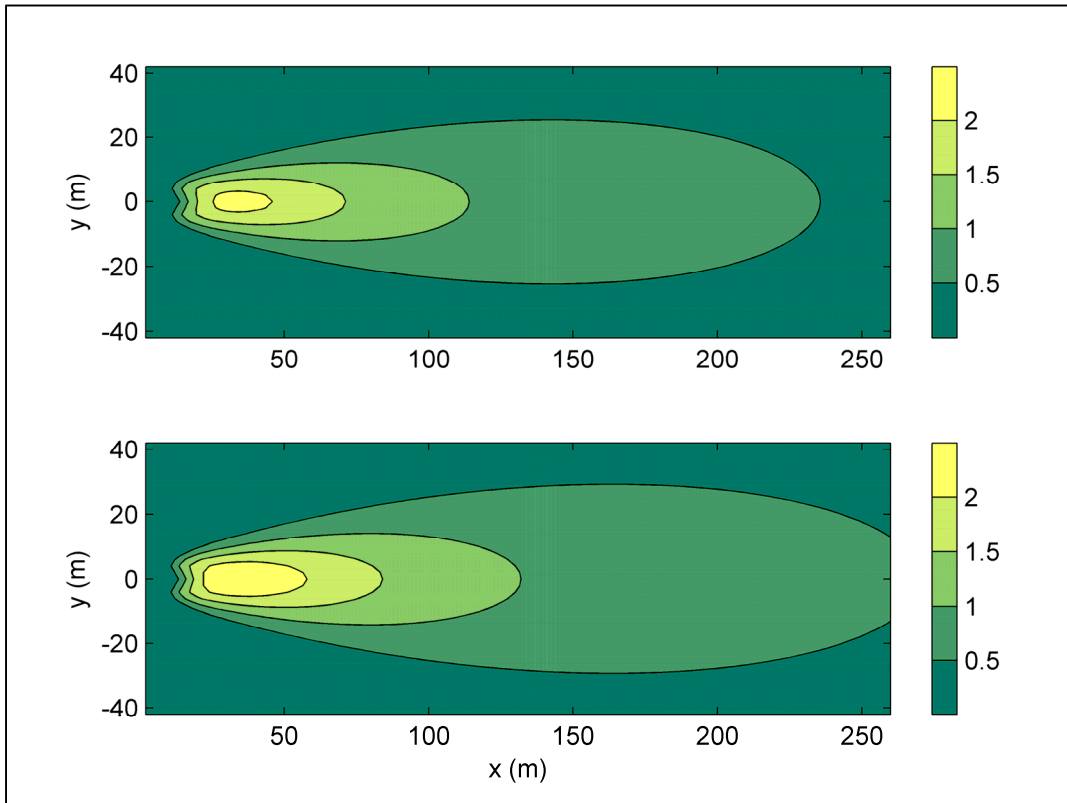
Figur 3.2. Beregnet hastighet ved bunnen (m/s) for *BOA Tyr* ved 30 og 60 % motorpådrag.



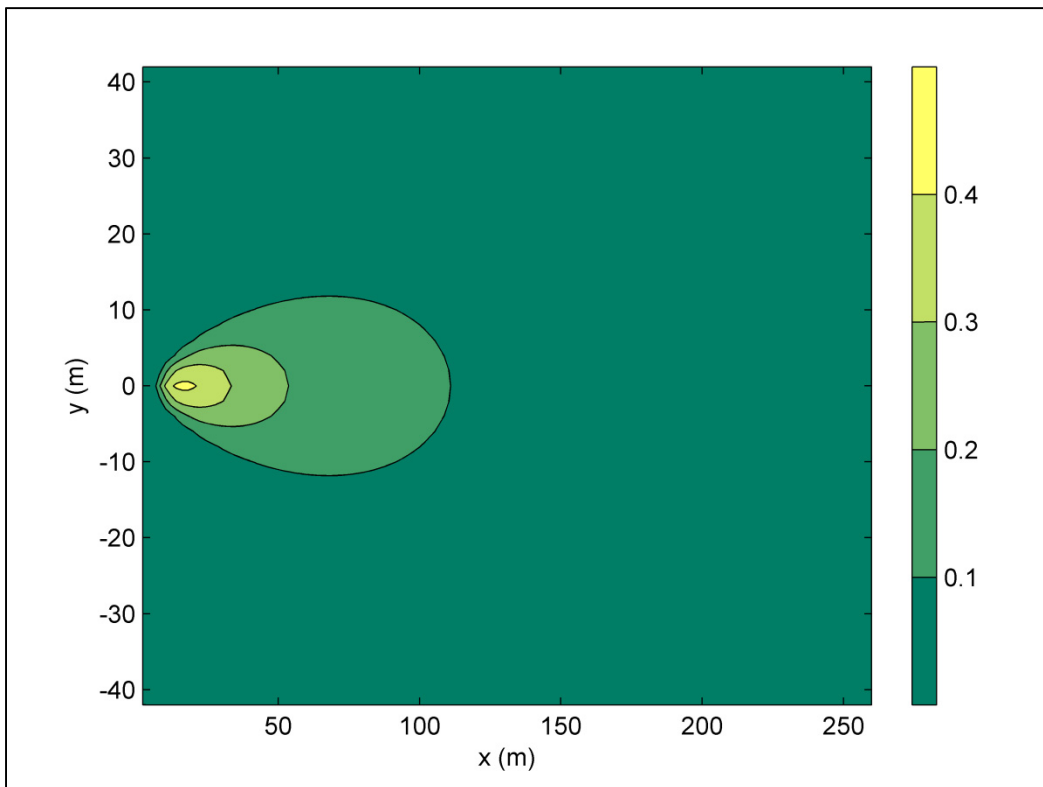
Figur 3.3. Beregnet bunnstrømhastighet (m/s) for *With Junior* ved 30 og 60 % motorpådrag.



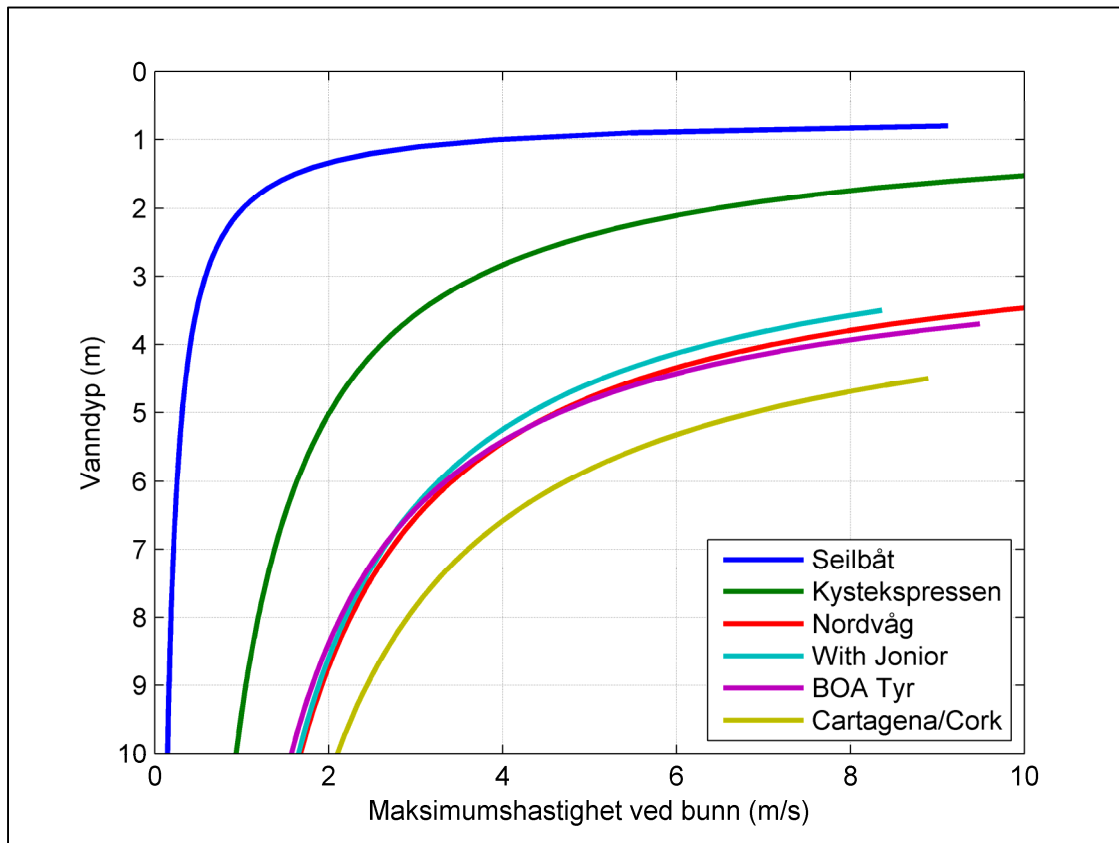
Figur 3.4. Beregnet hastighet ved bunnen (m/s) for *Cartagena/Cork* ved 30 og 60 % motorpådrag.



Figur 3.5. Beregnet hastighet ved bunnen (m/s) for *Kystekspresen* ved 40 og 60 % motorpådrag.



Figur 3.6. Beregnet hastighet ved bunnen (m/s) for en 40 fots seilbåt (eksempel *Delphia 40* med 40 HK motor) ved 70 % motorpådrag.



Figur 3.7. Maksimal hastighet ved bunnen som funksjon av vanddyb.

#### 4 Sedimenttransport

Forflytning av bunnsedimenter skjer som et resultat av medrivning ("pick-up"), transport og avsetning og forårsakes av strøm, bølger eller begge deler. Den dominerende sedimenttransporten for større partikler ( $d > 2$  mm) skjer langs bunnen, mens den for mindre og lettere partikler ( $d < 0,2$  mm) skjer suspendert i vannmassene. For sedimenter mellom 0,2 og 2 mm vil altså sedimenttransporten kunne skje både langs bunnen og som sediment i suspensjon. Den antas imidlertid i all hovedsak å være forårsaket av strøm (og ikke bølger).

Når bunnstresset overstiger en viss grenseverdi som følge av et forsterket strømpådrag langs bunnen, vil sandkornene begynne å bevege seg. Den matematiske relasjonen mellom bunnstress, bunnstrøm og medrivning (oppvirvling) er vist i Vedlegg. Vi har benyttet formelverket som er vist der, til å relatere den beregnede maksimale bunnstrømmen gitt i tabell 3.1 til den minste sedimentstørrelsen som kan forventes å forbli i ro. Resultatet er vist i tabell 4.1.



Tabell 4.1. Minste sedimentstørrelse ( $D_{50}$ ) som er beregnet å ligge i ro ved maksimal propellstrøm ved bunnen.

Sted	Delområde	Båt	Vann- dyp	Motor- pådrag (%)	Maks bunnstrøm (m/s)		Minste $D_{50}$ (mm) før suspensjon	
					Lavt pådrag	Høyt pådrag	Lavt pådrag	Høyt pådrag
Nyhavna	Kai 41-43, 46	<i>Nordvåg</i>	-8 LAT	30 og 60	1,5	1,9	7	14
	Utenfor kai 44	<i>BOA Tyr</i>	-7 LAT	30 og 60	2,6	3,3	35	69
	Kai 55 (og 56)	<i>With Junior</i>	-6 LAT	30 og 60	2,2	2,8	24	46
	Kai 57, Norcemkaia	<i>Cartagena, Cork</i>	-7,5 LAT	30 og 60	3,3	4,1	67	123
Brattør- bassenget	Ytre basseng	<i>Kyst- ekspressen</i>	-5 LAT	40 og 60	2,2	2,5	25	36
Kanalen		<i>Delphia 40 e.l.</i>	-3,5 LAT	70	-	0,4	-	0,5

## 5 Referanser

Daae, R.L. og Rye, H. (2011): Oppvirvling av sediment fra skipstrafikk i Trondheim havn. Rapport SINTEF F19889

## VEDLEGG

### Matematisk formulering av sedimenttransport

Forholdet mellom kritisk skjærspenning og kornstørrelse uttrykkes gjerne ved hjelp av en kritisk Shieldsparameter,  $\theta_c$ , gitt ved

$$\theta_c = \frac{\tau_{bc}}{(\rho_s - \rho_w)gD_{50}} \quad (1)$$

der  $\tau_{bc}$  = kritisk bunnstress, sedimentet begynner å bevege seg  
 $\rho_s$  = tettheten av sedimentet  
 $\rho_w$  = tettheten av vannet  
 $g$  = tyngdens akselerasjon (= 9,81 m/s<sup>2</sup>)  
 $D_{50}$  = median kornstørrelse

En annen relasjon mellom den kritiske Shieldsparameteren,  $\theta_c$ , og kornstørrelsen er gitt ved

$$\theta_c = \alpha D_*^\beta \quad (2)$$

der  $\alpha$  og  $\beta$  er koeffisienter avhengig av kornstørrelsen  
 $D_*$  = dimensjonsløs kornstørrelse gitt ved

$$D_* = D_{50} \left[ \frac{g(s-1)}{\nu^2} \right]^{1/3} \quad (3)$$

der  $s = \rho_s / \rho_w$   
 $\nu$  = kinematisk viskositetskoeffisient ( $\approx 1,25 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s)

Ved å kombinere likningene (1), (2) og (3), får vi en direkte relasjon mellom kritisk bunnstress,  $\tau_{bc}$ , og median kornstørrelse,  $D_{50}$ , basert på to empiriske koeffisienter,  $\alpha$  og  $\beta$ , som igjen er avhengig av kornstørrelsen. Verdier for  $\alpha$  og  $\beta$  for forskjellige kornstørrelser er gitt bl.a. av van Rijn (1993).

Kritisk bunnstress,  $\tau_{bc}$ , kan relateres til en kritisk bunnstrøm,  $U_c$ , gjennom en kvadratisk friksjonsformel

$$\tau_{bc} = \rho_w C_D U_c^2$$

der  $C_D$  = dragkoeffisienten

Det er flere parameteriseringer av dragkoeffisienten,  $C_D$ , men ofte benyttes en dybdeavhengig, invers logaritmisk funksjon (Soulsby, 1997):

$$C_D = \left[ \frac{\kappa}{1 + \ln(z_0/h)} \right]^2$$

der  $\kappa$  = von Karmans konstant (= 0,40)

$z_0$  = ruhetsparameter ( $z_0 = \frac{D_{50}}{12}$ )

$h$  = vanddybet

Formelverket ovenfor er strengt tatt bare gyldig for sterk strøm, som propellstrøm normalt vil være. Det antas likevel å ligge innenfor et avvik på  $\pm 10\%$  ved bruk også på svakere strømmer.

### Referanser

Soulsby, R. (1997): Dynamics of marine sands. A manual for practical applications. Thomas Telford Publications, London, England.

van Rijn, L.C. (1993): Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas. Aqua Publications, Amsterdam, The Netherlands.



Dokumentnr.: 20130339-01-R  
Dato: 2013-12-06  
Rev.nr.: 0  
Vedlegg E, Side 1

# Vedlegg E - Rapport DNV – Kost/nytte-vurdering

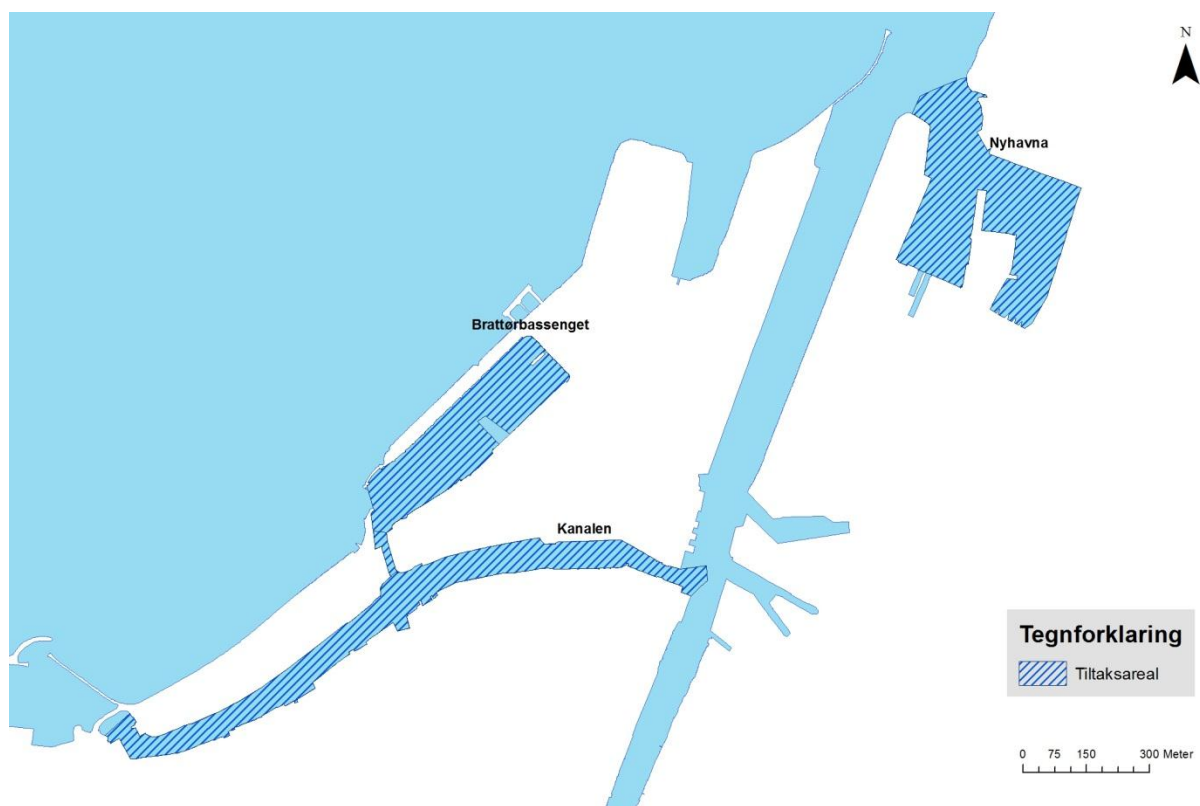
# Kost-nytte vurdering av tiltak mot forurenset sjøbunn i Trondheim havn

## Innledning

I dette dokumentet er det utført en kost-nytte vurdering av foreslåtte alternative tiltak mot forurenset sjøbunn i Trondheim havn.

Det er på grunnlag av tidligere utredninger utpekt tre områder i Trondheim havn hvor det er foreslått tiltak mot forurenset sjøbunn:

- Kanalen
- Brattørbassenget
- Nyhavna



Figur 1: Kart som viser de tre delområdene og tiltaksarealene

For hvert av de tre områdene er det beskrevet to forskjellige oppryddingsmetoder (tiltak).



For hver av de foreslåtte oppryddingsmetodene (alternativene) er det sett på kostnad og nytte.

- Kostnad er beregnet pr. m<sup>2</sup> sjøbunn ved tildekking og pr. m<sup>3</sup> faste masser ved mudring (uten overmudring<sup>1</sup>).
- Oppryddingsmetodenes nytte er vurdert med bakgrunn i følgende hensyn:
  - varige konsekvenser og effekter av tiltak iht. vedtatt tiltaksplan
  - prosjektets økonomiske rammer
  - prosjektets fremdriftsplan
  - anleggsfasens konsekvens for havne- og næringsvirksomhet samt naboer i omkringliggende områder
  - totalt CO<sub>2</sub>-regnskap for prosjektet

Foreliggende anbefalte deponeringsløsning (alt. 7) utredet av Multiconsult<sup>2</sup> er lagt til grunn i denne rapporten. Alternativ 7 har tre delalternativer som alle gir en deponiløsning med en kapasitet på 73 000 m<sup>3</sup>.

- Etter ønske fra Trondheim kommune er kostnaden for etablering av deponiet ikke tatt med i de estimerte kostnadene for de ulike alternativene. Derimot er kostnaden for innfylling i deponiet tatt med. Årsaken til dette er at etableringen av deponiet og tiltakene mot forurenset sjøbunn dekkes av forskjellige budsjetter.

Vedrørende masser for tildekking så finnes det flere lokale masseleverandører både for naturlige grus- og sandmasser samt knuste fjellmasser som maskinsand/pukk. Det er flere lokale veiprosjekter i Trondheim og omegn som genererer store mengder overskuddsmasse. Dette har hovedsakelig vært leirmasser. Leirmasser som har vært brukt som tildekkingsmasse i andre prosjekter har tidligere vist at det vil kreve en del forbehandling før en eventuell utlegging av slike masser. Leirmasser kan være utfordrende med henblikk på fysiske egenskaper som bl.a. permeabilitet for å tilfredsstille krav i tildekkingsveilederen. I kost-nytte vurderingen er det antatt at det er sand og grusmasser som vil bli brukt for tildekkingen.

For tildekking med aktivt materiale er det ikke spesifisert type materiale, dette kan være for eksempel aktivt kull eller materiale med tilsvarende egenskaper.

---

<sup>1</sup> Med overmudring menes den mengde som mudres utover den mudringsdybde som er angitt i beskrivelsen. Overmudring er normalt uønsket ved denne type mudring.

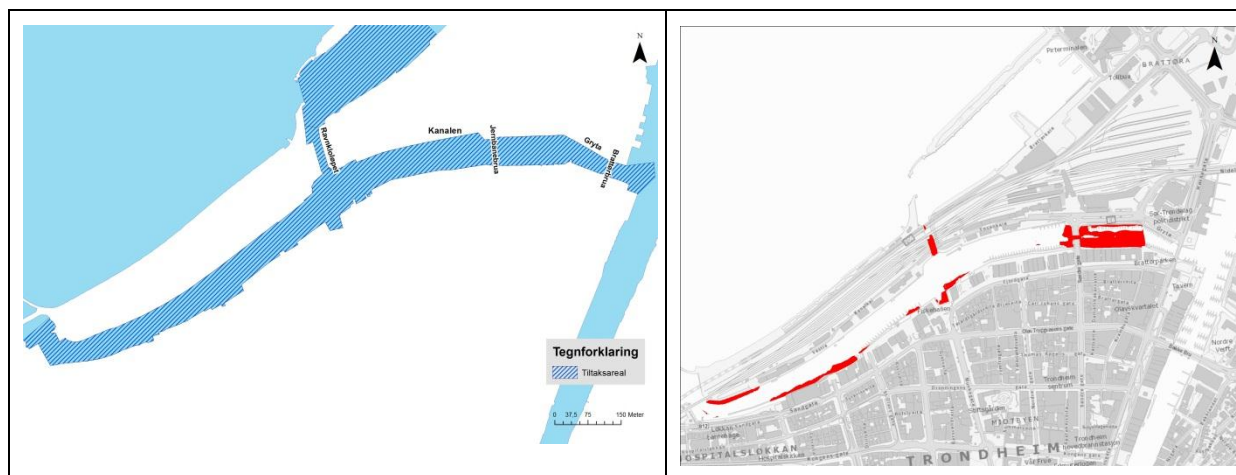
<sup>2</sup> Ref: Multiconsult, Deponi for mudringsmasser i Nyhavna, Skisseprosjekt, Dok. 415566-RIGm-RAP-001-rev01, datert mars 2013 og Notat 415566-RIGm-NOT-001, datert 24. oktober 2013.

## Beskrivelse av de tre områdene samt kostnader for de alternative tiltakene

### Kanalen

Delområdet Kanalen ligger i den sørlige delen av Trondheim havn mellom Brattøra og bykjernen. Kanalen er ca. 1 500 m lang og ca. 60 m bred. Inkludert Ravnkløløpet har den et areal på ca. 100 000 m<sup>2</sup>. Kanalen går fra Skansen bru gjennom et område bebyggt med brygger og kaier, hvor mange av kaiene er av bolverk som er i dårlig stand. Mange av de gamle bryggene står på trepåler. Kanalen er preget av småbåttrafikk. Byggingen av ny tunnelkulvert ved Skansen bru i veiprojektet Nordre avlastningsvei har gitt begrensninger for dypgående for båter inn i Kanalen.

For mer detaljert informasjon om delområdet vises til beskrivelse i hoveddelen av denne rapporten.



Figur 2: Til venstre: Tiltaksområde for Kanalen med Ravnkløløpet (ca. 100 000 m<sup>2</sup>). Til høyre: Beregnet mudrevolum er 13 000 m<sup>3</sup> (markert med rødt).

#### Tiltak Kanalen alternativ 1 (normal tildekking):

Mudringsplanen (NGI-notat 20130339-02-TN) viser at 13 000 m<sup>3</sup> må mudres (Figur 2). Etter mudring dekkes hele Kanalen (ca. 100 000 m<sup>2</sup>) med 0,4 m rene masser (0,3 m dekklag + 0,1 m erosjonssikring). Alternativt legges 2 lag med samme type masse.

#### Tiltak Kanalen alternativ 2 (aktiv tildekking):

Mudringsplanen (NGI-notat 20130339-02-TN) viser at 13 000 m<sup>3</sup> må mudres (Figur 2). Etter mudring dekkes hele Kanalen (ca. 100 000 m<sup>2</sup>) med 0,25 m rene masser (0,15 m dekklag innblandet aktivt materiale + 0,1 m erosjonssikring).



**Merknad 1:** For begge tiltakene forutsettes at Kanalen helt eller delvis kan stenges av for båttrafikk i perioden som tiltaket pågår.

**Merknad 2:** Den noe tynnere tildekkingen i alternativ 1 og 2 betyr at man kan redusere mudringen noe og samtidig oppnå samme seilingsdyp. Det gir en økonomisk gevinst for mudringsdelen. Gevinsten anses imidlertid å være forholdsvis begrenset og innen feilmarginen for de kostnadsoverslag som er gitt her.

Tabell 1: Estimerte kostnader for de to alternativene for sanering av Kanalen.

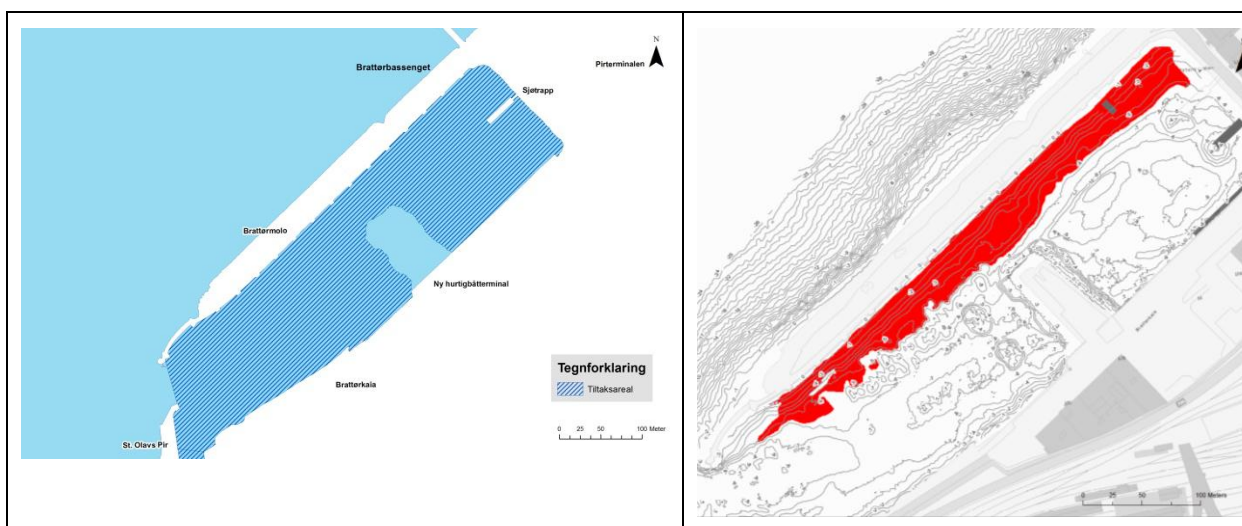
Kanalen alternativ 1 (normal tildekking)						
Beskrivelse	Enhet	Enhetspris lav	Enhetspris høy	Antall	Pris lav	Pris høy
Rydding klargjøring av sjøbunn for mudring/tildekking (bl.a. fjerning av søppel, flytting av brygger etc.)	m2	10	20	100 000	1 000 000	2 000 000
Mudring (inkl transport til lokalt deponi)	m3	200	400	13 000	2 600 000	5 200 000
Innfylling i lokalt deponi	m3	80	80	13 000	1 040 000	1 040 000
40 cm tykk normal tolags tildekking med dekklag (sand) og erosjonslag (grus)	m2	200	300	100 000	20 000 000	30 000 000
Overvåking under tiltak	RS	500 000	1 000 000	1	500 000	1 000 000
Overvåking etter tiltak	RS	500 000	1 000 000	1	500 000	1 000 000
				<b>Sum</b>	<b>25 640 000</b>	<b>40 240 000</b>

Kanalen alternativ 2 (aktiv tildekking)						
Beskrivelse	Enhet	Enhetspris lav	Enhetspris høy	Antall	Pris lav	Pris høy
Rydding klargjøring av sjøbunn for mudring/tildekking (bl.a. fjerning av søppel, flytting av brygger etc.)	m2	10	20	100 000	1 000 000	2 000 000
Mudring (inkl transport til lokalt deponi)	m3	200	400	13 000	2 600 000	5 200 000
Innfylling i lokalt deponi	m3	80	80	13 000	1 040 000	1 040 000
25 cm tykk aktiv tolags tildekking med 15 cm dekklag (sand innblandet aktivt materiale) og 10 cm erosjonslag (grus)	m2	350	450	100 000	35 000 000	45 000 000
Overvåking under tiltak	RS	500 000	1 000 000	1	500 000	1 000 000
Overvåking etter tiltak	RS	500 000	1 000 000	1	500 000	1 000 000
				<b>Sum</b>	<b>40 640 000</b>	<b>55 240 000</b>

## Brattørbassenget

Brattørbassenget er ca. 80 000 m<sup>2</sup> og er avgrenset av Brattørmoloen i nord/nordvest med St. Olavs Pir med Ravnkløløpet i vest samt fylling mot Pirterminalen i øst og kaifront mot Jernbanen i sør. I bassenget trafikkerer hovedsakelig hurtigbåter, men det er også noe småbåttrafikk. Det pågår i dag bygging av ny hurtigbåtterminal i sentrale deler av bassenget, mens det på innsiden av ny terminal planlegges småbåthavn (gjestehavn) samt trapp i fyllingsfront lengst øst, se Figur 3.

For mer detaljert informasjon om delområdet vises til beskrivelse i hoveddelen av denne rapporten.



Figur 3: Til venstre: Tiltaksområde for Brattørbassenget (ca. 80 000 m<sup>2</sup>). Til høyre: Beregnet mudrevolum er 14 000 m<sup>3</sup> (markert med rødt).

### Tiltak Brattørbassenget alternativ 1 (normal tildekking):

Mudringsplanen (NGI-notat 20130339-02-TN) viser at 14 000 m<sup>3</sup> må mudres (Figur 3). Etter mudring dekkes hele Brattørbassenget (ca. 80 000 m<sup>2</sup>) med 0,5 m rene masser (0,35 m dekklag + 0,15 m erosjonssikring).

### Tiltak Brattørbassenget alternativ 2 (aktiv tildekking):

Mudringsplanen (NGI-notat 20130339-02-TN) viser at 14 000 m<sup>3</sup> må mudres (Figur 3). Etter mudring dekkes hele Brattørbassenget (ca. 80 000 m<sup>2</sup>) med 0,3 m rene masser (0,15 m dekklag innblandet aktivt materiale + 0,15 m erosjonssikring).

**Merknad 1:** Den noe tynnere tildekkingen i alternativ 2 betyr at man kan redusere mudringen noe og samtidig oppnå samme seilingsdyp. Det kan gi en liten økonomisk gevinst for mudringsdelen. Gevinsten anses imidlertid å være svært begrenset og innen feilmarginen for de kostnadsoverslag som er gitt her.



Tabell 2: Estimerte kostnader for de to alternativene for sanering av Brattørbassenget.

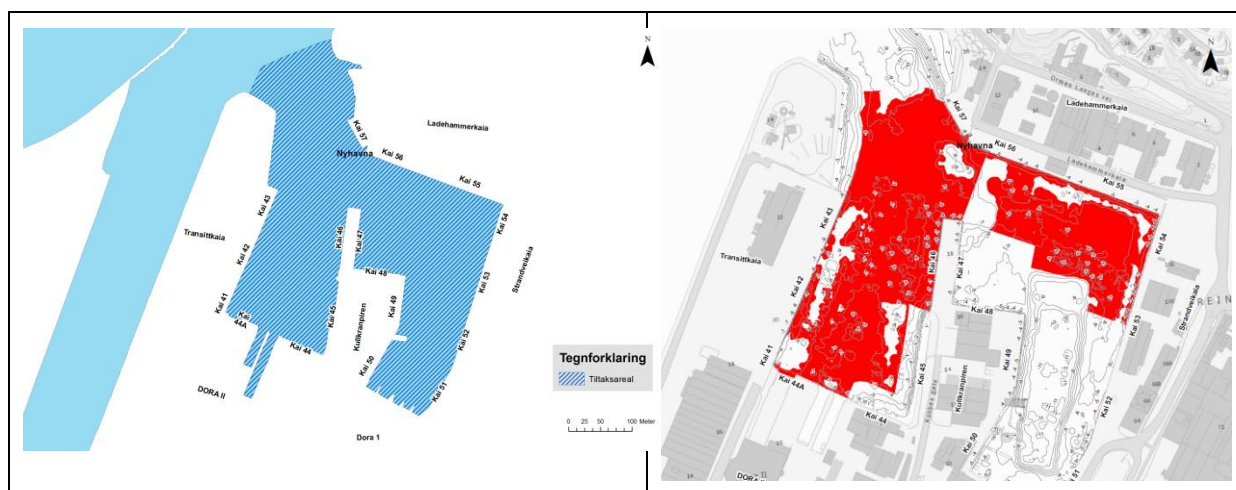
<b>Brattørbassenget alternativ 1 (normal tildekking)</b>						
Beskrivelse	Enhet	Enhetspris lav	Enhetspris høy	Antall	Pris lav	Pris høy
Rydding klargjøring av sjøbunn for mudring/tildekking (bl.a. fjerning av søppel, flytting av brygger etc.)	m2	10	20	80 000	800 000	1 600 000
Mudring (inkl transport til lokalt deponi)	m3	200	400	14 000	2 800 000	5 600 000
Innfilling i lokalt deponi	m3	80	80	14 000	1 120 000	1 120 000
50 cm tykk normal tolags tildekking med dekklag (sand) og erosjonslag (grus)	m2	225	340	80 000	18 000 000	27 200 000
Overvåking under tiltak	RS	500 000	1 000 000	1	500 000	1 000 000
Overvåking etter tiltak	RS	500 000	1 000 000	1	500 000	1 000 000
				<b>Sum</b>	<b>23 720 000</b>	<b>37 520 000</b>

<b>Brattørbassenget alternativ 2 (aktiv tildekking)</b>						
Beskrivelse	Enhet	Enhetspris lav	Enhetspris høy	Antall	Pris lav	Pris høy
Rydding klargjøring av sjøbunn for mudring/tildekking (bl.a. fjerning av søppel, flytting av brygger etc.)	m2	10	20	80 000	800 000	1 600 000
Mudring (inkl transport til lokalt deponi)	m3	200	400	14 000	2 800 000	5 600 000
Innfilling i lokalt deponi	m3	80	80	14 000	1 120 000	1 120 000
30 cm tykk aktiv tolags tildekking med 15 cm dekklag (sand innblandet aktivt materiale) og 15 cm erosjonslag (grus)	m2	370	470	80 000	29 600 000	37 600 000
Overvåking under tiltak	RS	500 000	1 000 000	1	500 000	1 000 000
Overvåking etter tiltak	RS	500 000	1 000 000	1	500 000	1 000 000
				<b>Sum</b>	<b>35 320 000</b>	<b>47 920 000</b>

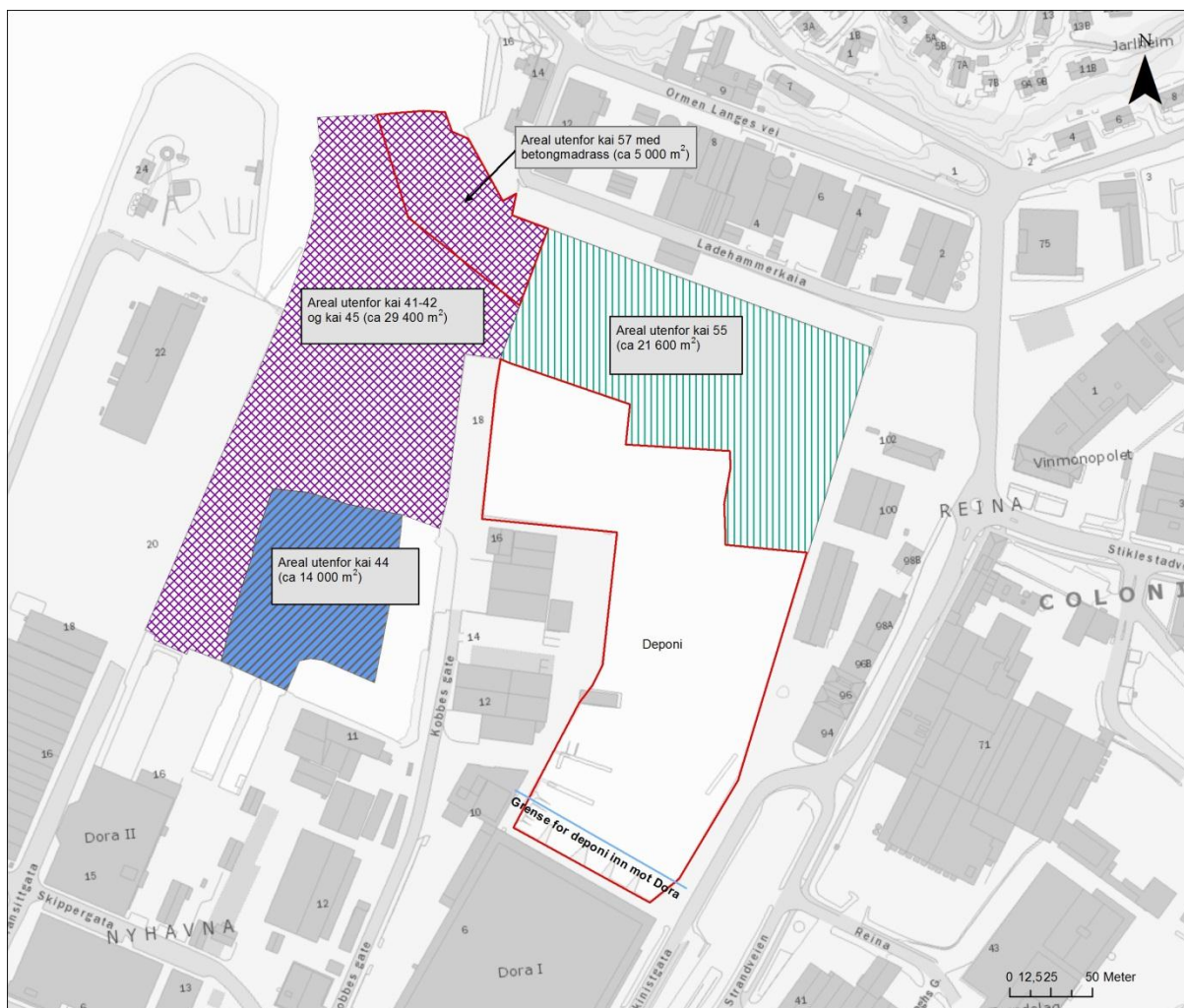
## Nyhavna

Nyhavna er i dag en industrihavn med tilhørende båttrafikk. Kommunens planarbeid for området legger føringer for framtidig arealbruk og krav til seilingsdyp. Havneområdet består av to basseng, vestre og østre basseng. Parallelt med tiltaksprosjekteringen i de tre delområdene det skal mudres i har Multiconsult laget en skisseløsning for deponi av mudremasser i Nyhavna (se Innledningen). Foreslått deponialternativ (alternativ 7) for muddermasser er lokalisert i østre basseng og består av en kombinasjon av sjøbunnsdeponi og strandkantdeponi, se Figur 4 og 5. Tiltak i Nyhavna inkluderer også sjøbunn i gamle ubåtbunkerser, Dora 1 og 2.

For mer detaljert informasjon om delområdet vises til beskrivelse i hoveddelen av denne rapporten.



Figur 4: Til venstre: Tiltaksområde for Nyhavna (ca. 120 000 m<sup>2</sup>). Til høyre: Beregnet mudrevolum er 43 000 m<sup>3</sup> (markert med rødt).



Figur 5: Anbefalt deponiløsning (alt.7) foreslått av Multiconsult (2013, dokument 415566-PLAN-PBL-007), anbefalte mudringsdyp og de forskjellige tildekkingsarealene. (Kart: NGI)

#### Tiltak Nyhavna alternativ 1 (normal tildekking):

Mudringsplanen (NGI-notat 20130339-02-TN) viser at 43 000 m<sup>3</sup> må mudres (Figur 4). Etter mudring dekkes de areal som ikke blir deponiareal med rene masser (dekklag + erosjonssikring) samt et mindre område med betongmadrass. Tildekkingens tykkelse varierer avhengig av beliggenhet (se Figur 5):

- Utenfor Kai 41-43 og 46 (ca. 29 400 m<sup>2</sup>): 0,55 m tildekking bestående av 0,45 m dekklag og 0,1 m erosjonssikring.
- Utenfor Kai 44 (ca. 14 000 m<sup>2</sup>): 0,65 m tildekking bestående av 0,45 m dekklag og 0,2 m erosjonssikring.
- Utenfor Kai 55 (ca. 21 600 m<sup>2</sup>): 0,65 m tildekking bestående av 0,5 m dekklag og 0,15 m erosjonssikring.
- Utenfor Kai 57 (Norcem-kai) (ca. 5 000 m<sup>2</sup>): Tildekking med betongmadrass (tykkelse ca. 0,3 m). (Kai 57 har dårlig geoteknisk stabilitet og betongmadrass er anbefalt som tildekkingsløsning).

### Tiltak Nyhavna alternativ 2 (aktiv tildekking):

Mudringsplanen (NGI-notat 20130339-02-TN) viser at 43 000 m<sup>3</sup> må mudres (Figur 4). Etter mudring dekkes de areal som ikke blir deponiareal med rene masser (dekklag + erosjonssikring) samt et mindre område med betongmadrass. Tildekkingens tykkelse varierer avhengig av beliggenhet (se Figur 5):

- Utenfor Kai 41-43 og 46 (ca. 29 400 m<sup>2</sup>): 0,25 m tildekking bestående av 0,15 m dekklag innblandet aktivt materiale og 0,1 m erosjonssikring.
- Utenfor Kai 44 (ca. 14 000 m<sup>2</sup>): 0,35 m tildekking bestående av 0,15 m dekklag innblandet aktivt materiale og 0,2 m erosjonssikring.
- Utenfor Kai 55 (ca. 21 600 m<sup>2</sup>): 0,3 m tildekking bestående av 0,15 m dekklag innblandet aktivt materiale og 0,15 m erosjonssikring.
- Utenfor Kai 57 (Norcem-kai) (ca. 5 000 m<sup>2</sup>): Tildekking med betongmadrass (tykkelse ca. 0,3 m). (Kai 57 har dårlig geoteknisk stabilitet og betongmadrass er anbefalt som tildekkingsløsning).

Tabell 3: Estimerte kostnader for de to alternativene for sanering av Nyhavna.

Nyhavna alternativ 1 (normal tildekking)						
Beskrivelse	Enhet	Enhetspris lav	Enhetspris høy	Antall	Pris lav	Pris høy
Rydding klargjøring av sjøbunn for mudring/tildekking (bl.a. fjerning av søppel, flytting av brygger etc.)	m2	10	20	70 000	700 000	1 400 000
Mudring (inkl transport til lokalt deponi)	m3	200	400	43 000	8 600 000	17 200 000
Innfilling i lokalt deponi	m3	80	80	43 000	3 440 000	3 440 000
55 cm tykk normal tolags tildekking med dekklag (sand) og erosjonslag (grus)	m2	240	360	29 400	7 056 000	10 584 000
65 cm tykk normal tolags tildekking med dekklag (sand) og erosjonslag (grus)	m2	260	395	14 000	3 640 000	5 530 000
65 cm tykk normal tolags tildekking med dekklag (sand) og erosjonslag (grus)	m2	260	395	21 600	5 616 000	8 532 000
Betongmadrass. Kostnad for madrass og utlegging.	m2	1 000	1 500	5 000	5 000 000	7 500 000
Overvåking under tiltak	RS	500 000	1 000 000	1	500 000	1 000 000
Overvåking etter tiltak	RS	500 000	1 000 000	1	500 000	1 000 000
				<b>Sum</b>	<b>35 052 000</b>	<b>56 186 000</b>



<b>Nyhavna alternativ 2 (aktiv tildekking)</b>						
Beskrivelse	Enhet	Enhetspris lav	Enhetspris høy	Antall	Pris lav	Pris høy
Rydding klargjøring av sjøbunn for mudring/tildekking (bl.a. fjerning av søppel, flytting av brygger etc.)	m2	10	20	70 000	700 000	1 400 000
Mudring (inkl transport til lokalt deponi)	m3	200	400	43 000	8 600 000	17 200 000
Innfylling i lokalt deponi	m3	80	80	43 000	3 440 000	3 440 000
25 cm tykk aktiv tolags tildekking med 15 cm dekklag (sand innblandet aktivt materiale) og 10 cm erosjonslag (grus)	m2	350	450	29 400	10 290 000	13 230 000
35 cm tykk aktiv tolags tildekking med 15 cm dekklag (sand innblandet aktivt materiale) og 20 cm erosjonslag (grus)	m2	385	495	14 000	5 390 000	6 930 000
30 cm tykk aktiv tolags tildekking med 15 cm dekklag (sand innblandet aktivt materiale) og 15 cm erosjonslag (grus)	m2	370	470	21 600	7 992 000	10 152 000
Betongmadrass. Kostnad for madrass og utlegging.	m2	1 000	1 500	5 000	5 000 000	7 500 000
Overvåking under tiltak	RS	500 000	1 000 000	1	500 000	1 000 000
Overvåking etter tiltak	RS	500 000	1 000 000	1	500 000	1 000 000
				<b>Sum</b>	<b>42 412 000</b>	<b>61 852 000</b>



## Oppsummering kostnader

I tabell 4 nedenfor er de estimerte kostnadene for de forskjellige lokalitetene og alternativene oppsummert. Laveste og høyeste estimat er angitt for hvert alternativ samt et gjennomsnitt og en beregning av hvor mange % dyrere Alternativ 2 er i forhold til Alternativ 1 for det lave og det høye kostnadsestimatet. I tabell 5 er kostnaden for Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna summert for Alternativ 1 og 2 og lavt og høyt kostnadsestimat og sammenlignet med budsjettkostnaden (= p50) fra usikkerhetsanalysen som ble gjennomført den 26. januar 2013, den er også vedlagt i vedlegg 1.

Tabell 4: Oppsummering estimerte kostnader for alternative tiltak

Lokalitet	Kostnad lav (mill. NOK)	Kostnad høy (mill. NOK)	Gjennomsnitt av høy og lav kostnad (mill. NOK)	Hvor mange % er alternativ 2 dyrere enn alternativ 1 for det <u>lave</u> kostnadsestimatet	Hvor mange % er alternativ 2 dyrere enn alternativ 1 for det <u>høye</u> kostnadsestimatet
Kanalen Alt. 1	25,6	40,2	32,9		
Kanalen Alt. 2	40,6	55,2	47,9	59	36
Brattørbassenget Alt. 1	23,7	37,5	30,6		
Brattørbassenget Alt. 2	35,3	47,9	41,6	49	28
Nyhavna Alt. 1	35,1	56,2	45,6		
Nyhavna Alt. 2	42,4	61,9	52,1	21	10

Tabell 5: Totalsum for Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna sammenlignet med budsjettkostnad

Sum kostnader og totalsum	Kostnad (mill. NOK)
Sum kostnader <u>alternativ 1</u> for Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna - <u>lavt kostnadsestimat</u>	84,4
Sum kostnader <u>alternativ 1</u> for Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna - <u>høyt kostnadsestimat</u>	133,9
Sum kostnader <u>alternativ 2</u> for Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna - <u>lavt kostnadsestimat</u>	118,4
Sum kostnader <u>alternativ 2</u> for Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna - <u>høyt kostnadsestimat</u>	165,0
Deponi i Nyhavna (MC, 2013c)	23,5
<i>Estimert totalsum fra Usikkerhetsanalyse 26.01.2013 (budsjett p50) for Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna</i>	186,5

Som fremgår av Tabell 5 ligger alle de foreslåtte tiltaksalternativene unntatt *alternativ 2 – høyt kostnadsestimat* innenfor estimert totalsum (budsjettkostnad) når kostnad for etablering av deponiet i Nyhavna inkluderes.



## Oppsummering kostnader for Kanalen

Estimert kostnad er mellom 26 til 40 millioner NOK for Alternativ 1 og mellom 41 til 55 millioner NOK for Alternativ 2.

Alternativ 2 er noe dyrere enn Alternativ 1 fordi tilsetningen og innblanding av aktivt materiale i dekklaget gir en merkostnad som er høyere enn gevinsten ved at en trenger et mindre volum tildekkingsmasser for dette alternativet.

Alternativ 1 medfører 10 cm redusert tildekking. Den noe tynnere tildekkingen betyr at man kan redusere mudringen noe og samtidig oppnå samme seilingsdyp. Det gir en økonomisk gevinst for mudringsdelen. Gevinsten anses imidlertid å være forholdsvis begrenset og innen feilmarginen for de kostnadsoverslag som er gitt her.

Alternativet 2 medfører 25 cm redusert tildekking. Den noe tynnere tildekkingen betyr at man kan redusere mudringen ytterligere i forhold til Alternativ 1 og samtidig oppnå samme seilingsdyp. Gevinsten for mudringsdelen anses også for Alternativ 2 å være forholdsvis begrenset og innen feilmarginen for de kostnadsoverslag som er gitt her.

## Oppsummering kostnader for Brattørbassenget

Estimert kostnad er mellom 24 til 38 millioner NOK for Alternativ 1 og mellom 35 til 48 millioner NOK for Alternativ 2.

Alternativ 2 for Brattørbassenget er det dyreste fordi tilsetningen og innblanding av aktivt materiale i dekklaget gir en merkostnad som er høyere enn gevinsten ved at en trenger et mindre volum tildekkingsmasser.

Alternativ 2 medfører 20 cm redusert tildekking. Den noe tynnere tildekkingen betyr at man kan redusere mudringen noe og samtidig oppnå samme seilingsdyp. Det gir en økonomisk gevinst for mudringsdelen. Gevinsten anses imidlertid å være meget begrenset, da mudrearealet kun utgjør en begrenset del av området. Gevinsten vil være innenfor feilmarginen for de kostnadsoverslag som er gitt her.



## Oppsummering kostnader for Nyhavna

Estimert kostnad er mellom 35 til 56 millioner NOK for Alternativ 1 og mellom 42 til 62 millioner NOK for Alternativ 2.

Alternativ 2 er noe dyrere enn alternativ 1 fordi tilsetningen og innblanding av aktivt materiale i dekklaget gir en merkostnad som er høyere enn gevinsten ved at en trenger et mindre volum tildekkingsmasser for dette alternativet.

Alternativ 1 medfører behov for ytterligere 5-15 cm mudring. Den ytterligere mudringen utgjør et beregnet volum på ca. 6 800 m<sup>3</sup> (tilsvarende en mudringskostnad på mellom 135 000 og 270 000 kr).

Alternativ 2 medfører 15-25 cm redusert tildekking. Den noe tynnere tildekkingen betyr at man kan redusere mudringen noe og samtidig oppnå samme seilingsdyp. Det gir en også noe økonomisk gevinst for mudringsdelen. Gevinsten anses imidlertid å være forholdsvis begrenset og innen feilmarginen for de kostnadsoverslag som er gitt her.

## Vurdering av nytte for de ulike alternativene i de tre områdene

I tabell 6 nedenfor er de kriterier vist som er brukt i nyttevurderingen.

Tabell 6: Oversikt over kriterier brukt i nyttevurderingen (1 er høyest nytte).

Hensyn som vurderes for hvert tiltaksalternativ	Nivå (Nytte)		
	1	2	3
<b>Varige konsekvenser og effekter av tiltak iht. vedtatt tiltaksplan</b>	Alternativet oppnår full måloppnåelse i forhold til de miljømål vedtatt av bystyret i Trondheim kommune.	Alternativet oppnår i all hovedsak måloppnåelse i forhold til de miljømål vedtatt av bystyret i Trondheim kommune.	Alternativet oppnår ikke måloppnåelse i forhold til de miljømål vedtatt av bystyret i Trondheim kommune.
<b>Prosjektets fremdriftsplan<sup>3</sup></b>	Alternativet vil kunne utføres raskere enn prosjektets fremdriftsplan.	Alternativet vil kunne følge prosjektets fremdriftsplan (men ikke kunne utføres særlig raskere).	Alternativet vil ikke kunne følge prosjektets fremdriftsplan (det vil forsinke prosjektet).
<b>Anleggsfasens konsekvens for havne- og næringsvirksomhet samt naboer i omkringliggende områder</b>	Alternativet vil ikke medføre merkbare konsekvenser for havne- og næringsvirksomhet og/eller naboer i omkringliggende områder.	Alternativet vil medføre noen mindre konsekvenser for havne- og næringsvirksomhet og/eller naboer i omkringliggende områder.	Alternativet vil medføre konsekvenser for havne- og næringsvirksomhet og/eller naboer i omkringliggende områder.
<b>Totalt CO<sub>2</sub>-regnskap for prosjektet<sup>4</sup></b>	Lavt totalt CO <sub>2</sub> utslipp (mindre enn 0,1 % av hva Trondheim har i løpet av ett år).	Middels totalt CO <sub>2</sub> utslipp (mellom 0,1 % og 0,5 % av hva Trondheim har i løpet av ett år).	Høyt totalt CO <sub>2</sub> utslipp (mer enn 0,5 % av hva Trondheim har i løpet av ett år).

I tabell 7 vises resultatet av den beregning som er utført av CO<sub>2</sub> utslipp for de forskjellige alternativene (det siste kriteriet i vurderingen i Tabell 5). Hele CO<sub>2</sub> beregningen inkludert forutsetninger for beregning er gitt i Vedlegg 2.

Tabell 7 inkluderer CO<sub>2</sub> utslipp fra mudringsfartøyet i forbindelse med mudringen, fra tilkjøring av masser på lastebil med henger (antatt transportdistanse 10 km), fra utplassering av dekkmasser fra mudringsfartøyet samt fra bruk av gravemaskin for lastning på lastebil i massetaket og for overføring av masser fra lastebil til mudringsfartøy. Beregningene viser at det er mudringsfartøyet (spesielt mudringen) som generer det største CO<sub>2</sub> utslippet.

<sup>3</sup> Prosjektets fremdriftsplan sier at oppstart for tiltak på de tre lokaliteten er januar 2015 og avslutning er april 2017. Kilde: Fremdriftsplan fra hovedplanen til Trondheim kommune datert 01.10.2013.

<sup>4</sup> Trondheim har et utslipp av CO<sub>2</sub> ekvivalenter på ca. 500 000 tonn/år. Kilde: SSB.

Tabell 7: Resultat fra beregning av CO<sub>2</sub> utslipp for de forskjellige tiltaksalternativene.

Lokalitet og kommentarer	Beskrivelse	Sum CO <sub>2</sub> utslipp (tonn)	% som CO <sub>2</sub> utslippet utgjør av årlig CO <sub>2</sub> utslippet i Trondheim	Mudring (inkludert transport til deponi) CO <sub>2</sub> (tonn)	Tildekking (tilkjøring masser) CO <sub>2</sub> (tonn)	Tildekking (utlegging masser) CO <sub>2</sub> (tonn)	Bruk av gravemaskin til av- og pålastning av masser på lastebil og til mudringsfartøy CO <sub>2</sub> (tonn)
<b>Tiltak Kanalen alternativ 1:</b>	13 000 m <sup>3</sup> må mudres. Hele Kanalen (ca. 100 000 m <sup>2</sup> ) dekkes med 0,4 m rene masser (0,35 m dekklag + 0,1 m erosjonssikring).	<b>362</b>	<b>0,07</b>	155	30	119	59
<b>Tiltak Kanalen alternativ 2:</b>	13 000 m <sup>3</sup> må mudres. Hele Kanalen (ca. 100 000 m <sup>2</sup> ) dekkes med 0,25 m rene masser (0,15 m dekklag innblandet aktivt materiale + 0,1 m erosjonssikring).	<b>351</b>	<b>0,07</b>	155	18	119	59
<b>Tiltak Brattør-bassenget alternativ 1:</b>	14 000 m <sup>3</sup> må mudres. Hele Brattørbassenget (ca. 80 000 m <sup>2</sup> ) dekkes med 0,5 m rene masser (0,35 m dekklag + 0,15 m erosjonssikring).	<b>348</b>	<b>0,07</b>	167	30	95	56
<b>Tiltak Brattør-bassenget alternativ 2:</b>	14 000 m <sup>3</sup> må mudres. Hele Brattørbassenget (ca. 80 000 m <sup>2</sup> ) dekkes med 0,3 m rene masser (0,15 m dekklag innblandet aktivt materiale + 0,15 m erosjonssikring).	<b>336</b>	<b>0,07</b>	167	18	95	56
<b>Tiltak Nyhavna alternativ 1:</b>	43 000 m <sup>3</sup> må mudres. Det som ikke blir deponiareal (ca. 70 000 m <sup>2</sup> ) dekkes med rene masser (dekklag + erosjonslag) med tykkelser mellom 0,55 og 0,65 m. Et mindre område tildekkes med betongmadrasser.	<b>786</b>	<b>0,16</b>	512	33	107	133
<b>Tiltak Nyhavna alternativ 2:</b>	43 000 m <sup>3</sup> må mudres. Det som ikke blir deponiareal (ca. 70 000 m <sup>2</sup> ) dekkes med rene masser i tykkelser mellom 0,25 og 0,35 m (dekklag + erosjonslag) hvor det i med dekklaget er innblandet aktivt materiale. Et mindre område tildekkes med betongmadrasser.	<b>768</b>	<b>0,15</b>	512	16	107	133



## Nytte-vurdering Kanalen

### Kanalen alternativ 1 (mudring + normal tildekking)

#### Varige konsekvenser og effekter av tiltak iht. vedtatt tiltaksplan

Nytteverdi 1: Det oppnås full måloppnåelse i forhold til miljømålene. Forurensede sedimenter fjernes ved mudring og hele området tildekkes med rene masser som består av et 40 cm tykt lag med både dekkmasse og erosjonsbeskyttelse. Den nye sjøbunnen vil være i tilstandsklasse 3 eller bedre (miljømålet), forutsatt kontroll med forurensningskilder på land.

#### Prosjektets fremdriftsplan

Nytteverdi 1: Prosjektet forventes å kunne gjennomføres godt innenfor den tid som er avsatt i fremdriftsplanen.

#### Anleggsfasens konsekvens for havne- og næringsvirksomhet samt naboer i omkringliggende områder

Nytteverdi 3: For å sikre at prosjektet kan utføres på en fullgod måte er det forutsatt at i den tiden det foregår mudring og tildekking er Kanalen i perioder helt eller delvis lukket for båttrafikk. Videre må brygger flyttes for at man skal komme til for mudring og tildekking. I tillegg kan arbeidene medføre en del støy som kan oppleves som belastende for beboere og næringsvirksomhet langs Kanalen.

Dersom en velger å opprettholde prosjektert mudringsdyp, vil det medføre 10 cm større seilingsdyp enn det som er lagt inn i prosjekteringen.

#### Totalt CO<sub>2</sub>-regnskap for prosjektet

Nytteverdi 1: Grovt anslått generer de viktigste aktivitetene for dette alternativet et utslipp på ca. 360 tonn CO<sub>2</sub>. Det er mindre enn 0,1 % av hva Trondheim har i løpet av ett år.



## Kanalen alternativ 2 (mudring + aktiv tildekking)

### Varige konsekvenser og effekter av tiltak iht. vedtatt tiltaksplan

Nytteverdi 1: Det oppnås full måloppnåelse i forhold til miljømålene. Forurensede sedimenter fjernes ved mudring og hele området tildekkes med rene masser som består av et 25 cm tykt lag med både dekkmasse (aktivt lag med sand innblandet aktivt materiale) og erosjonsbeskyttelse. Laget er tynnere enn i alternativ 1 men vurderes å ha minst like gode egenskaper på grunn av at det er tilsatt aktivt materiale som gir økt absorpsjon av miljøgifter. Den nye sjøbunnen vil være i tilstandsklasse 3 eller bedre (miljømålet), forutsatt kontroll med forurensningskilder på land.

### Prosjektets fremdriftsplan

Nytteverdi 1: Prosjektet forventes å kunne gjennomføres godt innenfor den tid som er avsatt i fremdriftsplanen.

### Anleggsfasens konsekvens for havne- og næringsvirksomhet samt naboer i omkringliggende områder

Nytteverdi 3: For å sikre at prosjektet kan utføres på en fullgod måte er det forutsatt at i den tiden det foregår mudring og tildekking er Kanalen i perioder helt eller delvis lukket for båttrafikk. Videre må brygger flyttes for at man skal komme til for mudring og tildekking. I tillegg kan arbeidene medføre en del støy som kan oppleves som belastende for beboere og næringsvirksomhet langs Kanalen.

Dersom en velger å opprettholde mengde mudret masse, vil det medføre 25 cm større seilingsdyp enn det som er lagt inn i prosjekteringen.

### Totalt CO<sub>2</sub>-regnskap for prosjektet

Nytteverdi 1: Grovt anslått generer de viktigste aktivitetene for dette alternativet et utslipp på ca. 350 tonn CO<sub>2</sub>. Det er mindre enn 0,1 % av hva Trondheim har i løpet av ett år.





## Nytte-vurdering Brattørbassenget

### Brattørbassenget alternativ 1 (mudring + normal tildekking)

#### **Varige konsekvenser og effekter av tiltak iht. vedtatt tiltaksplan**

Nytteverdi 1: Det oppnås full måloppnåelse i forhold til miljømålene. Forurensede sedimenter fjernes ved mudring og hele området tildekkes med rene masser som består av et 0,5 m tykt lag med både dekkmasse og erosjonsbeskyttelse. Den nye sjøbunnen vil være i tilstandsklasse 3 eller bedre (miljømålet), forutsatt kontroll med forurensningskilder på land.

#### **Prosjektets fremdriftsplan**

Nytteverdi 1: Prosjektet forventes å kunne gjennomføres godt innenfor den tid som er avsatt i fremdriftsplanen.

#### **Anleggsfasens konsekvens for havne- og næringsvirksomhet samt naboer i omkringliggende områder**

Nytteverdi 3: Det vil være behov for omlegninger av båt- og skipstrafikken i Brattørbassenget i anleggsfasen. Under tildekkingen må hurtigbåtene flyttes og de trenger en ny kaiplass i denne tiden. Det vurderes at dette fremst vil medføre konsekvenser for havne- og næringsvirksomhet og mindre konsekvenser for naboer i omkringliggende områder.

#### **Totalt CO<sub>2</sub>-regnskap for prosjektet**

Nytteverdi 1: Grovt anslått generer de viktigste aktivitetene for dette alternativet et utslipp på ca. 350 tonn CO<sub>2</sub>. Det er mindre enn 0,1 % av hva Trondheim har i løpet av ett år.



## Brattørbassenget alternativ 2 (mudring + aktiv tildekking)

### Varige konsekvenser og effekter av tiltak iht. vedtatt tiltaksplan

Nytteverdi 1: Det oppnås full måloppnåelse i forhold til miljømålene. Forurensede sedimenter fjernes ved mudring og hele området tildekkes med rene masser som består av et 30 cm tykt lag med både dekkmasse (aktivt lag med sand innblandet aktivt materiale) og erosjonsbeskyttelse. Laget er tynnere enn i alternativ 1 men vurderes å ha minst like gode egenskaper på grunn av at det er tilsatt aktivt materiale som gir økt absorpsjon av miljøgifter. Den nye sjøbunnen vil være i tilstandsklasse 3 eller bedre (miljømålet), forutsatt kontroll

### Prosjektets fremdriftsplan

Nytteverdi 1: Prosjektet forventes å kunne gjennomføres godt innenfor den tid som er avsatt i fremdriftsplanen.

### Anleggsfasens konsekvens for havne- og næringsvirksomhet samt naboer i omkringliggende områder

Nytteverdi 3: Det vil være behov for omlegninger av båt- og skipstrafikken i Brattørbassenget i anleggsfasen. Under tildekkingen må hurtigbåtene flyttes og de trenger en ny kai plass i denne tiden. Det vurderes at dette fremst vil medføre konsekvenser for havne- og næringsvirksomhet og mindre konsekvenser for naboer i omkringliggende områder.

Dersom en velger å opprettholde mengde mudret masse, vil det medføre 0,2 m større seilingsdyp enn det som er lagt inn i prosjekteringen.

### Totalt CO<sub>2</sub>-regnskap for prosjektet

Nytteverdi 1: Grovt anslått generer de viktigste aktivitetene for dette alternativet et utslipp på ca. 340 tonn CO<sub>2</sub>. Det er mindre enn 0,1 % av hva Trondheim har i løpet av ett år.



## Nytte-vurdering Nyhavna

### Nyhavna alternativ 1 (mudring + normal tildekking + betongmadrass i et mindre område)

#### Varige konsekvenser og effekter av tiltak iht. vedtatt tiltaksplan

Nytteverdi 1: Det oppnås full måloppnåelse i forhold til miljømålene. Forurensede sedimenter fjernes ved mudring og hele området tildekkes med rene masser som består av lag med både dekkmasse og erosjonsbeskyttelse som varierer i tykkelse mellom 55 cm og 65 cm. I et mindre område utenfor Norcem kaien legges det ut betongmadrasser på grunn av dårlig stabilitet. Den nye sjøbunnen vil være i tilstandsklasse 3 eller bedre (miljømålet), forutsatt kontroll med forurensningskilder på land. Deponiarealene vil bli brukt til deponering av de forurensede masser som mudres i Trondheim havn (Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna) og deponiene vil bli avsluttet med rene masser på toppen.

Med dette alternativet oppnås ikke prosjektert seilingsdyp på grunn av tildekking større enn 50 cm. For å opprettholde seilingsdypet kan det være aktuelt å redusere isolasjonslaget og opprettholde erosjonslaget. Erosjonsbeskyttelsen vil gi betydelig redusert spredning, og det kan påvirke måloppnåelsen på sikt.

#### Prosjektets fremdriftsplan

Nytteverdi 1: Prosjektet forventes å kunne gjennomføres godt innenfor den tid som er avsatt i fremdriftsplanen.

#### Anleggsfasens konsekvens for havne- og næringsvirksomhet samt naboer i omkringliggende områder.

Nytteverdi 2: Det vil være behov for en del omlegninger av båt- og skipstrafikken i Nyhavna i anleggsfasen.

Uten ytterligere mudring (5-15 cm) vil prosjektert seilingsdyp ikke oppnås.

#### Totalt CO<sub>2</sub>-regnskap for prosjektet

Nytteverdi 2: Grovt anslått generer de viktigste aktivitetene for dette alternativet et utslipp på ca. 790 tonn CO<sub>2</sub>. Det er 0,16 % av hva Trondheim har i løpet av ett år.



## **Nyhavna alternativ 2 (mudring + aktiv tildekking + betongmadrass i et mindre område)**

### **Varige konsekvenser og effekter av tiltak iht. vedtatt tiltaksplan**

Nytteverdi 1: Det oppnås full måloppnåelse i forhold til miljømålene. Forurensede sedimenter fjernes ved mudring og hele området tildekkes med rene masser som består av lag med både dekkmasse (aktivt lag med sand innblandet aktivt materiale) og erosjonsbeskyttelse som varierer i tykkelse mellom 25 cm og 35 cm. Laget er tynnere enn i alternativ 1 men vurderes å ha minst like gode egenskaper på grunn av at det er tilsatt aktivt materiale som gir økt absorpsjon av miljøgifter. I et mindre område utenfor Norcem kaien legges det ut betongmadrasser på grunn av dårlig stabilitet. Den nye sjøbunnen vil være i tilstandsklasse 3 eller bedre (miljømålet), forutsatt kontroll med forurensningskilder på land. Deponiarealene vil bli brukt til deponering av de forurensede masser som mudres i Trondheim havn (Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna) og deponiene vil bli avsluttet med rene masser på toppen.

### **Prosjektets fremdriftsplan**

Nytteverdi 1: Prosjektet forventes å kunne gjennomføres godt innenfor den tid som er avsatt i fremdriftsplanen.

### **Anleggsfasens konsekvens for havne- og næringsvirksomhet samt naboer i omkringliggende områder**

Nytteverdi 2: Det vil være behov for en del omlegninger av båt- og skipstrafikken i anleggsfasen.

Dersom en velger å opprettholde mengde mudret masse, vil det medføre 15 - 25 cm større seilingsdyp enn det som er lagt inn i prosjekteringen.

### **Totalt CO<sub>2</sub>-regnskap for prosjektet**

Nytteverdi 2: Grovt anslått generer de viktigste aktivitetene for dette alternativet et utslipp på ca. 770 tonn CO<sub>2</sub>. Det er 0,15 % av hva Trondheim har i løpet av ett år.

## Oppsummering nyttevurdering

I tabell 7 nedenfor vises en oppsummering av nyttevurderingen. Nyttfaktorene bør fremst brukes for å sammenligne alternativer for samme område. En lavere sum antyder en større nytte.

Som fremgår av Tabell 7 kommer alle alternativene ut med lik sum i nyttevurderingen. Det er kun noen mindre individuelle forskjeller med henblikk på konsekvens for havne- og næringsvirksomhet og totalt CO<sub>2</sub>-regnskap. Dette er på grunn av at de alternativer som sammenlignes alle har en god nytteverdi og at mindre egnede tiltaksalternativer er luket ut på et tidligere stadium i prosessen med Trondheim kommune og Trondheim Havn.

Tabell 7: Oppsummering nyttevurdering

	Kanalen alt. 1	Kanalen alt. 2	Brattørbass. alt. 1	Brattørbass. alt. 2	Nyhavna alt. 1	Nyhavna alt. 2
Varige konsekvenser og effekter av tiltak iht. vedtatt tiltaksplan	1	1	1	1	1	1
Prosjektets fremdriftsplan	1	1	1	1	1	1
Anleggsfasens konsekvens for havne- og næringsvirksomhet samt naboer i omkringliggende områder	3	3	3	3	2	2
Totalt CO <sub>2</sub> -regnskap for prosjektet	1	1	1	1	2	2
<b>Sum</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>



## Konklusjon

### Kanalen

Kost-nytte vurderingen viser at for Kanalen er alternativ 1 med normal tildekking det rimeligste, alternativ 2 med aktiv tildekking er ca. 35 til 60 % dyrere. Den økte kostnaden forklares med at det er dyrere å etablere et lag hvor aktivt materiale inngår til tross for at en kan etablere noe tynnere lag. Hvis man ser på nyttevurderingen for Kanalen så kommer begge alternativene helt likt ut.

*Anbefaling: Alternativ 1*

### Brattørbassenget

Kost-nytte vurderingen viser at for Brattørbassenget er alternativ 1 med normal tildekking det rimeligste, alternativ 2 med aktiv tildekking er ca. 30 til 50 % dyrere. Den økte kostnaden har samme årsak som for Kanalen; det er dyrere å etablere et lag hvor aktivt materiale inngår. I nyttevurderingen for Brattørbassenget kommer begge alternativene helt likt ut.

*Anbefaling: Alternativ 1*

### Nyhavna

For Nyhavna er det alternativ 1 med normal tildekking som blir rimeligst. Alternativ 2 med aktiv tildekking er ca. 10 til 20 % dyrere. I nyttevurderingen kommer begge alternativene helt likt ut.

For alternativ 1 som har en mektighet på tildekkingen mellom 55 og 65 cm så oppnås ikke prosjektert seilingsdyp (det forutsatte 50 cm tildekking). Det kan også bemerkes at tildekking med betongmadrass er fire til fem ganger dyrere enn tildekking med løsmasser. Det bør derfor vurderes om arealet som tildekkes med betongmadrasser kan reduseres ytterligere.

*Anbefaling: Alternativ 1 (men her kan også alternativ 2 overveies da det ikke er stor prisforskjell)*



Vedlegg 1:

Sammendrag fra usikkerhetsanalyse utført 26.01.2013





Renere havn

**Sammendrag  
Usikkerhetsanalyse**

Utført dato: 26.01.2013

Prosjektnavn SUM	FAGERVIKA	ILSVIKA	BRATTØRA	KANALEN	NYHAVNA	Total prosjektkostnad Renere havn
Kalkulert prosjektkostnad	14 015 560	10 270 260	11 364 000	63 546 350	90 813 000	190 009 170
Forventningskostnad <i>automatisk simulering</i>	16 591 097	11 671 694	16 346 300	68 563 835	98 682 063	211 854 989
Budsjett ≈ p50	15 600 000	12 000 000	16 400 000	71 000 000	99 000 000	214 000 000
Usikkerhets- avsetning						33 000 000
Budsjett ≈ p75						247 000 000



## Vedlegg 2:

Beregning av CO<sub>2</sub> utslipp for de forskjellige tiltaksalternativene

Lokalitet og kommentarer	Beskrivelse	Sum CO2 utslipp (tonn)	Mudring (inkl transport til deponi)			Tildekking (tilkjøring masser)			Tildekking (utlegging masser)			Bruk av gravemaskin til av- og pålastning av masser på lastebil og til mudringsfartøy	
			Antatt fremdrift mudring m3/døgn	Antall arbeidstimer (2 skift. 16 timer)	CO2 utslipp mudring (tonn)	Avstand til massetak (km)	Antall km som kjøres	CO2 utslipp tilkjøring masser (tonn)	Antatt fremdrift tildekking m2/døgn	Antall arbeidstimer (2 skift. 16 timer)	CO2 utslipp tildekking (tonn)	Antall arbeidstimer (sum timer mudring og tildekking)	CO2 utslipp av- og pålastning (tonn)
Tiltak Kanalen alternativ 1:	13 000 m3 må mudres. Hele Kanalen (ca. 100 000 m2) dekkes med 0,4 m rene masser (0,35 m dekklag + 0,1 m erosjonssikring).	362	500	416	155	10	22222	30	5000	320	119	736	59
Kommentarer				Det forutsettes en fremdrift på 500 m3/døgn.			40000 m3 masser tilkjøres. Transportlengde 10 km. Hver bil tar 30 tonn som tilsvarer ca. 18 m3 (forutsatt at de kjøres med henger). Det blir 2220 turer, dvs. 22200 km.		Utlegging fra mudringsfartøy av dekkmasser. 100000 m2 skal tildekkes. Det stipuleres at 5000 m2 tildekkes pr. dag.			Det antas at det står en gravemaskin ved massetaket som laster lastebiler og en ved kai som tømmer fra lastebil til mudringsfartøy.	
Tiltak Kanalen alternativ 2:	13 000 m3 må mudres. Hele Kanalen (ca. 100 000 m2) dekkes med 0,25 m rene masser (0,15 m dekklag innblandet aktivt lag + 0,1 m erosjonssikring). m erosjonssikring).	351	500	416	155	10	13889	18	5000	320	119	736	59
Kommentarer							NB! i forhold til alt. 1 er det mindre masser som tilkjøres. Det er 0,25 x 100000 = 25000 m3		Utlegging fra mudringsfartøy av dekkmasser. 100000 m2 skal tildekkes. Det stipuleres at 5000 m2 tildekkes pr. dag (samme som alt. 1, noe tynnere lag men tilsetning av karbon tar ekstra tid)				
Tiltak Brattørbassenget alternativ 1:	14 000 m3 må mudres. Hele Brattørbassenget (ca. 80 000 m2) dekkes med 0,5 m rene masser (0,35 m dekklag + 0,15 m erosjonssikring).	348	500	448	167	10	22222	30	5000	256	95	704	56
Kommentarer				Det forutsettes en fremdrift på 500 m3/døgn.			40000 m3 masser tilkjøres. Transportlengde 10 km. Hver bil tar 30 tonn som tilsvarer ca. 18 m3 (forutsatt at de kjøres med henger). Det blir 2220 turer, dvs. 22200 km.		Utlegging fra mudringsfartøy av dekkmasser. 80000 m2 skal tildekkes. Det stipuleres at 5000 m2 tildekkes pr. dag.				
Tiltak Brattørbassenget alternativ 2:	14 000 m3 må mudres. Hele Brattørbassenget (ca. 80 000 m2) dekkes med 0,3 m rene masser (0,15 m dekklag innblandet aktivt lag + 0,15 m erosjonssikring).	336	500	448	167	10	13333	18	5000	256	95	704	56
Kommentarer							24000 m3 masser tilkjøres. Transportlengde 10 km.		Utlegging fra mudringsfartøy av dekkmasser. 80000 m2 skal tildekkes. Det stipuleres at 5000 m2 tildekkes pr. dag (samme som alt. 1, noe tynnere lag men tilsetning av karbon tar ekstra tid)				
Tiltak Nyhavna alternativ 1:	43 000 m3 må mudres. Det som ikke blir deponiareal (ca. 70 000 m2) dekkes med rene masser (dekklag + erosjonslag) med tykkelser mellom 0,55 og 0,65 m. Et mindre område tildekkes med betongmadrasser.	786	500	1376	512	10	25000	33	5000	288	107	1664	133
Kommentarer				Det forutsettes en fremdrift på 500 m3/døgn.			45000 m3 masser tilkjøres (innberegnet betongmadrasser). Transportlengde 10 km. Hver bil tar 30 tonn som tilsvarer ca. 18 m3 (forutsatt at de kjøres med henger). Det blir 2500 turer, dvs. 25000 km.		Utlegging fra mudringsfartøy av dekkmasser. 70000 m2 skal tildekkes. Det stipuleres at 5000 m2 tildekkes pr. dag. (Betongmadrasser legges ut med 1000 m2 pr. dag.)				
Tiltak Nyhavna alternativ 2:	43 000 m3 må mudres. Det som ikke blir deponiareal (ca. 70 000 m2) dekkes med rene masser i tykkelser mellom 0,25 og 0,35 m (dekklag + erosjons-lag) hvor det i med dekklaget er innblandet aktivt lag. Et mindre område tildekkes med betongmadrasser.	768	500	1376	512	10	11667	16	5000	288	107	1664	133
Kommentarer							21000 m3 masser tilkjøres. Transportlengde 10 km.		Utlegging fra mudringsfartøy av dekkmasser. 70000 m2 skal tildekkes. Det stipuleres at 5000 m2 tildekkes pr. dag. (samme som alt. 1, noe tynnere lag men tilsetning av karbon tar ekstra tid.) (Betongmadrasser legges ut med 1000 m2 pr. dag.)				

CO2 utslipp mudringsfartøy	<p><i>Utslipp av CO2 er ca. 2,7 kg pr. liter diesel. Sennebogen 6100 (Skanska) er et aktuelt mudringsfartøy å se på. Den har motor på 470 kW. Antatt forbruk i Mudringsutførelse ca 130 - 150 l/h. (Basert på eldre maskin og spesifikt forbruk fra rundt 250 g/kWh).</i></p>	CO2 utslipp (kg) fra mudringsfartøy pr. time	372
CO2 utslipp transport av tildekkingsmasser	<p><i>Utslipp av CO2 er ca. 2,7 kg pr. liter diesel. En stor tung trailer bruker ca. 0,5 liter diesel pr. km.</i></p>	CO2 utslipp (kg) fra transport pr. km for tung trailer	1,3
CO2 av- og pålasting av masser	<p><i>Utslipp av CO2 er ca. 2,7 kg pr. liter diesel. En gravemaskin med egnet kapasitet bruker typisk 25-35 liter/time.</i></p>	CO2 utslipp (kg) fra gravemaskin pr. time	80

# Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



<b>Dokumentinformasjon/Document information</b>														
<b>Dokumenttittel/Document title</b> Trondheim kommune. Renere havn – Prosjektering av tiltak. Prosjekteringer av mudring og tildekking – Fase 1.						<b>Dokumentnr./Document No.</b> 20130339-01-R								
<b>Dokumenttype/Type of document</b> Rapport/Report		<b>Distribusjon/Distribution</b> Begrenset/Limited				<b>Dato/Date</b> 6. desember 2013		<b>Rev.nr.&amp;dato/Rev.No.&amp;date</b> 0						
<b>Oppdragsgiver/Client</b> Trondheim kommune														
<b>Emneord/Keywords</b> Forurenset sediment, tiltak, mudring, tildekking.														
<b>Stedfesting/Geographical information</b>														
<b>Land, fylke/Country, County</b> Norge, Sør-Trøndelag						<b>Havområde/Offshore area</b>								
<b>Kommune/Municipality</b> Trondheim						<b>Feltnavn/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>														
<b>Rev./Rev.</b>	<b>Revisjonsgrunnlag/Reason for revision</b>					<b>Egen-kontroll/ Self review av/by:</b>		<b>Sidemanns-kontroll/ Colleague review av/by:</b>		<b>Uavhengig kontroll/ Independent review av/by:</b>		<b>Tverrfaglig kontroll/ Inter-disciplinary review av/by:</b>		
0	Originaldokument					MMo/ MKv		GBr					KE	
<b>Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release</b>				<b>Dato/Date</b> 6. desember 2013			<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)



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 Pirsenteret  
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

