



# Rapport / Report

## Trondheim kommune Renere havn – Prosjektering av tiltak

### Prosjektering av mudring og tildekking i Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna Forprosjekt

20130339-02-R  
31. januar 2014  
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 i  
Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna.  
Forprosjekt  
Dokumentnr.: 20130339-02-R  
Dato: 31. januar 2014  
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  
Kontaktperson: Stein O. Brandslet  
Kontraktreferanse: Kontrakt datert 2013-09-20

## For NGI

Prosjektleder: Mari Moseid, NGI  
Utarbeidet av: Mari Moseid, NGI  
Marianne Kvennås, NGI  
Kyrre Emaus, NGI  
Espen Eek, NGI  
Magne Mehli, NGI  
Jens Laugesen, DNV  
Kontrollert av: Gijs Breedveld, NGI

## Sammendrag

Renere havn er et samarbeidsprosjekt mellom Trondheim kommune (TK), Trondheim Havn (IKS) med støtte fra Miljødirektoratet (MD). På bakgrunn av vedtatte miljømål for havnebassenget ble det i 2011 utarbeidet en helhetlig tiltaksplan for forurenset sjøbunn. En prosjektgruppe bestående av NGI, DNV og SINTEF har fått i oppdrag fra Trondheim kommune å prosjektere tiltak, mudring og tildekking, i de tre delområdene Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna. Arbeidet inkluderer også

# Sammendrag (forts.)



Dokumentnr.: 20130339-02-R  
Dato: 2014-01-31  
Rev. nr.: 0  
Side: 4

søknad om gjennomføring av tiltak til miljømyndighetene. Prosjekteringen går parallelt med prosjektering av deponi i Nyhavna som utføres av Multiconsult. Innledende prosjekteringsfase (fase 1), høsten 2013, har sett på ulike metoder og alternative løsninger for tiltak i de tre delområdene (NGI, 2013). Rammer for alternativsvurderingen er gitt av krav til måloppnåelse og seilingsdyp, samt at etterbehandling og deponeringsløsning er hensyntatt. Basert på en kost-nyttevurderinger er det valgt en løsning med tildekking av tiltaksområdene med rene masser, hvor deler av områdene må mudres før tildekkingen for å tilfredsstille Trondheim Havns krav til seilingsdyp.

Prosjekterte tiltaksløsninger for de ulike delområdene er:

## *Kanalen:*

- Mudring av 11.500 m<sup>3</sup>
- Tildekking av hele Kanalen (100.000 m<sup>2</sup>) med rene masser i 40 cm (30 cm dekkmasse + 10 cm erosjonslag)

Estimerte kostnader for prosjekterte løsning i Kanalen er 25,2 Mkr (lav kost) – 39,5 Mkr (høy kost)

## *Brattørbassenget:*

- Mudring av 12.000 m<sup>3</sup>
- Tildekking i Brattørbassenget (80.000 m<sup>2</sup>) med rene masser 50 cm (35 cm dekkmasse + 15 cm erosjonslag)

Estimerte kostnader for prosjekterte løsninger i Brattørbassenget er 22,4 Mkr (lav kost) – 35,4 Mkr (høy kost).

## *Nyhavna:*

- Mudring av 35.000 m<sup>3</sup>
- Tildekking i Nyhavna:
  - Kai 41-43 og 46 (ca. 33 500 m<sup>2</sup>)  
55 cm (45 cm dekkmasse + 9 cm erosjonslag)
  - Kai 44 og 45 (ca. 14 000 m<sup>2</sup>)  
65 cm (45 cm dekkmasse + 20 cm erosjonslag)
  - Ladehammerkaia, Kai 55 (ca. 20 500 m<sup>2</sup>)  
65 cm (50 cm dekkmasse + 15 cm erosjonslag)
  - Norcem-kaia, Kai 57 (ca. 1 700 m<sup>2</sup>)  
Betongmadrass ca. 30 cm tykk.

Estimerte kostnader for tiltak i Nyhavna er 30,2 Mkr (lav kost) – 48,4 Mkr (høy kost), ikke inkludert deponi.

Den prosjekterte tildekkingsløsningen er basert på en framtidig arealbruk; trafikk- og seilingsdyp for delområdene.

*Kanalen* skal brukes som småbåthavn med enkelte rutegående fartøy. Arealbruken i Kanalen etter tiltak reguleres av seilingsdypet. Dybder er begrenset av terskler i Skansenløpet og seilingshøyde under Ravnklobrua og Jernbanebru.

# Sammendrag (forts.)



Dokumentnr.: 20130339-02-R  
Dato: 2014-01-31  
Rev. nr.: 0  
Side: 5

*Brattørbassenget* er trafikkhavn for hurtigbåter og gjestehavn. Brattørbassenget har ingen fysiske barrierer mot andre delområder eller mellom indre og ytre basseng, slik at arealbruken etter tiltak begrenses av annen trafikkregulering (merking på kart, fysisk merking, trafikkmønster).

*Nyhavna* skal opprettholdes som trafikkhavn i vestre basseng, mens arealene i østre basseng reguleres avhengig av fyllingshøyde for sjødeponi. Seilingsarealer som ikke inkluderes av strandkantdeponiløsning og sjøbunnsdeponiløsning har ingen fysiske barrierer for å regulere trafikken. Arealbruken etter tiltak må derfor begrenses av annen trafikkregulering.

Levetiden for tiltakene i Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna forutsetter at tilførsel fra Nidelva og overvannsnettets ikke overskrider tilstandsklasse 3, gitt i de operasjonelle målene i kapittel 1.3.

# 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>10</b>
2.1	Prosjekteringsgruppe	10
2.2	Rammebetingelse for prosjekteringen	10
2.3	Grunnlagsdata	12
2.4	Grunnlag for valg av tiltaksløsning	12
2.5	Detaljnivå for prosjektering	13
<b>3</b>	<b>Metodikk for prosjektering av tiltak</b>	<b>13</b>
3.1	Mudring	13
3.2	Tildekking	16
<b>4</b>	<b>Prosjekterte tiltak i Kanalen</b>	<b>20</b>
4.1	Generell områdebeskrivelse	20
4.2	Bunnforhold, topografi	21
4.3	Tiltaksbehov	21
4.4	Framtidig arealbruk og forutsetning for seilingsdyp	21
4.5	Skråningsstabilitet, stabilitet av kaikonstruksjoner, brygger	22
4.6	Mudring i Kanalen	23
4.7	Tildekking i Kanalen	24
4.8	Tiltaksgjennomføring i Kanalen	26
<b>5</b>	<b>Prosjekterte tiltak i Brattørbassenget</b>	<b>29</b>
5.1	Generell beskrivelse	29
5.2	Bunnforhold, topografi	30
5.3	Tiltaksbehov	30
5.4	Framtidig arealbruk og forutsetning for seilingsdyp	30
5.5	Skråningsstabilitet, stabilitet av kaikonstruksjoner, brygger	31
5.6	Mudring i Brattørbassenget	32
5.7	Tildekking i Brattørbassenget	33
5.8	Tiltaksgjennomføring i Brattørbassenget	36
<b>6</b>	<b>Prosjekterte tiltak i Nyhavna</b>	<b>38</b>
6.1	Generell beskrivelse	38
6.2	Bunnforhold, topografi	39
6.3	Tiltaksbehov	39
6.4	Framtidig arealbruk og forutsetning for seilingsdyp	40
6.5	Skråningsstabilitet, stabilitet av kaikonstruksjoner, brygger	40
6.6	Mudring i Nyhavna	41
6.7	Tildekking i Nyhavna	42
6.8	Tiltaksgjennomføring i Nyhavna	46
<b>7</b>	<b>Prosjekterte tiltaksløsninger - kostnader</b>	<b>49</b>

<b>8</b>	<b>Kontroll og oppfølging</b>	<b>51</b>
8.1	Geoteknikk	51
8.2	Mudring	51
8.3	Tildekking	51
<b>9</b>	<b>Etterbruk</b>	<b>51</b>
<b>10</b>	<b>Usikkerheter og SHA forhold</b>	<b>52</b>
10.1	Usikkerhet mudring	52
10.2	Usikkerhet tildekking	53
10.3	SHA-plan	53
<b>11</b>	<b>Referanser</b>	<b>54</b>

### **Vedlegg:**

Vedlegg A – Kartvedlegg med mudrearealer

Vedlegg B – Situasjonsplan, snitt og prinsippskisser for volumberegning.

Vedlegg C – Beregningsmetodikk for mudring

Vedlegg D – Beregningsmetodikk for tildekking

Vedlegg E – SINTEF-rapport, skipsoppvirvling

### **Kontroll- og referanseside**

## **1 Innledning**

### **1.1 Bakgrunn**

Renere havn er et samarbeidsprosjekt mellom Trondheim kommune (TK), Trondheim Havn (IKS) med støtte fra 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 Ilsvika, og mudring med etterfølgende tildekking i tre delområder; Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna. I tiltaksplanarbeidet ble det også utredet mulige løsninger for lokal håndtering av mudremasser, inkludert lokal håndtering av mudremasser i deponi i Nyhavna. I 2011 vedtok Trondheim kommune at det skal 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 prosjektere tiltak, mudring og tildekking, i de tre delområdene Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna. Arbeidet inkluderer også søknad om gjennomføring av tiltak til miljømyndighetene. Prosjekteringen går parallelt med prosjektering av deponi i Nyhavna som utføres av Multiconsult.

Innledende prosjekteringsfase (fase 1), høsten 2013, har sett på ulike metoder og alternative løsninger for tiltak i de tre delområdene (NGI, 2013). Rammer for alternativsvurderingen er gitt av krav til måloppnåelse og seilingsdyp, samt at etterbehandling og deponeringsløsning er hensyntatt. De ulike metodene er kost-nyttevurdert som grunnlag for valg av metode. Tiltak som er kost-nyttevurdert er mudring i områder for å opprettholde Trondheim Havn sitt krav til seilingsdyp etter tildekking og vurdering av tildekking av rene masser eller tildekkingsmasser med aktivt materiale.

Basert på kost-nyttevurderingen er det valgt en løsning med tildekking med rene masser, i og utenfor mudreområder i de tre delområdene. Denne rapporten inneholder beskrivelse av valgte tiltaksløsninger.

### **1.3 Miljømål**

Prosjektet Renere havn 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 forurensete områder skal stoppes.	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.
Eventuelle restkonsentrasjoner over tilstandsklasse III etter tiltak skal også vurderes spesielt med hensyn på spredning.	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 forurensete sedimenter, TA 2802/2011 (Klif, 2011), 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 følger

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 aktører er involvert i prosjektet og er representert i møtene:

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

I tillegg er Byplankontoret planmyndighet for prosjektet samt at Miljødirektoratet er miljømyndighet. Miljødirektoratet bidrar i tillegg 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, som 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 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 ivarettatt 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.

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 (NGI, 2013). NGI og DNV har i tillegg bidratt i prosess med usikkerhetsanalyse for prosjektet styrt av Trondheim kommune.

I Nyhavna prosjekterer Multiconsult deponiløsning for mudremasser fra Nyhavna og de to andre delområdene. Prosjekterte deponiløsning vil være en kombinasjon av sjøbunnsdeponi og strandkantdeponi (MC, 2013 a,b,c). 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, i tillegg til 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 (MC, 2013c). SINTEF har imidlertid bidratt i vurdering av erosjon av deponitildekkingen ved å gjennomføre en tilsvarende metodikk for beregning av propellererosjon som for tiltaksprosjekteringen i de tre delområdene.

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

### **2.3 Grunnlagsdata**

Grunnlagsdata for prosjekteringen er gitt i fase 1 rapport (NGI, 2013). I 2014 ble det gjennomført en oppmåling i Kanalen (GeoSubsea, 2014) som nytt grunnlag for prosjektering av tiltak. I prosjekteringsfasen er det i prosjekteringsmøter med Trondheim Havn angitt 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, 2013b) og detaljert i NGI-notat 20130339-01-TN (NGI, 2013), samt på tegninger og kart.

### **2.4 Grunnlag for valg av tiltaksløsning**

Prosjektering av tiltak i de tre delområdene er gjort gjennom en vurdering av alternativer som er kost-nyttevurdert før valg av tiltaksløsning og metode (NGI, 2013). Dette dannet grunnlaget for alternativdiskusjon og spesifisering av krav og rammer (pkt 2.1 til 2.3) for videre prosjektering av tiltak. Prosjekteringen omfattet alternativsvurdering for de tre delområdene, som hovedsakelig vurderer ulike tildekkingsløsninger. Forutsetninger for prosjekteringen har vært:

#### *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 (NGI, 2013).

### *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.

## **2.5      *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 mudremetodikker.

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 et estimat av dette volumet da det antas at dette volumet er av betydelig pga. Kanalens lengde.

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 de neste fasene av prosjektet. For å nå miljømålene er det prosjektert tildekking i alle mudreområder.

## **3            *Metodikk for prosjektering av tiltak***

### **3.1        *Mudring***

#### **3.1.1     *Mudreområder og mudrevolum***

Mudreområder og mudrevolum er beregnet basert på Trondheim Havns krav til seilingsdyp, stabilitetsvurderinger og arealbruk. Detaljert beskrivelse av metodikk er gitt i vedlegg C.

#### **3.1.2     *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, men det er kommentert hvordan dette eventuelt skal ivaretas hvis det stilles krav til dette.

Faktorer som må vurderes i valg av endelig mudremetodikk er gitt i Tabell 3.1. Basert på disse faktorer er det anbefalt at mudringen i Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna i hovedsak foregår ved mekanisk mudring (NGI, 2013).

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, 2013c). Kravet til bestandigheten av massene er dermed utslagsgivende for valg av mudremetode.

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 bli tildekket og dermed bedre måloppnåelsen.

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 et overvåkingsregime av mudrearbeidet ved både mekanisk og hydraulisk mudring, slik at spredningen dermed ikke er utslagsgivende for valg av mudremetode.

Faktorer som oppgir mengder og nøyaktighet vil i dette prosjektet være underordnet for 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.

I Tabell 3.1 er hovedmetoder tilpasset arbeidsforholdene i områdene som skal mudres i Trondheim Havn og aktuelt utstyr for arbeidene er presentert. Det er små forskjeller på teknisk driftssikkerhet mellom utstyret.

Tabell 3.1 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 arbeidet igangsettes.
<b>Utstyr/massetypen</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 posisjonering utstyr.	10 – 20 cm. Toleransene krever nøyaktig posisjonering utstyr.
<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.
<b>Opplasting av masser for arkeologiske undersøkelser</b>	Utsortering utstyr (rist el. tilsvarende på lekter)	Uegnet.

## 3.2 *Tildekking*

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 dette 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 og hindre at organismenes blanding av sediment (bioturbasjon) gir økt transport gjennom hele tildekkingen
- Redusere transporten gjennom tildekkingen slik at miljømålet for overflate-sedimentet overholdes

Samt ta høyde for:

- 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 sjøbunns-overflaten etter tiltaket skal ha et innhold av miljøgifter tilsvarende klasse III eller bedre og at normal bruk av området ikke skal endre dette. Prosjektering av tildekkingsløsning angir i tillegg til beregning av mektighet og partikkelstørrelse, premisser for avslutning mot land, under brygger og langs kaier. Under brygger og andre installasjoner er det begrensninger knyttet til adkomst for tildekkingsutstyret og stabilitetsforhold til konstruksjoner. Stedsspesifikke problemstillinger knyttet til avslutning mot land er gitt for hvert delområde.

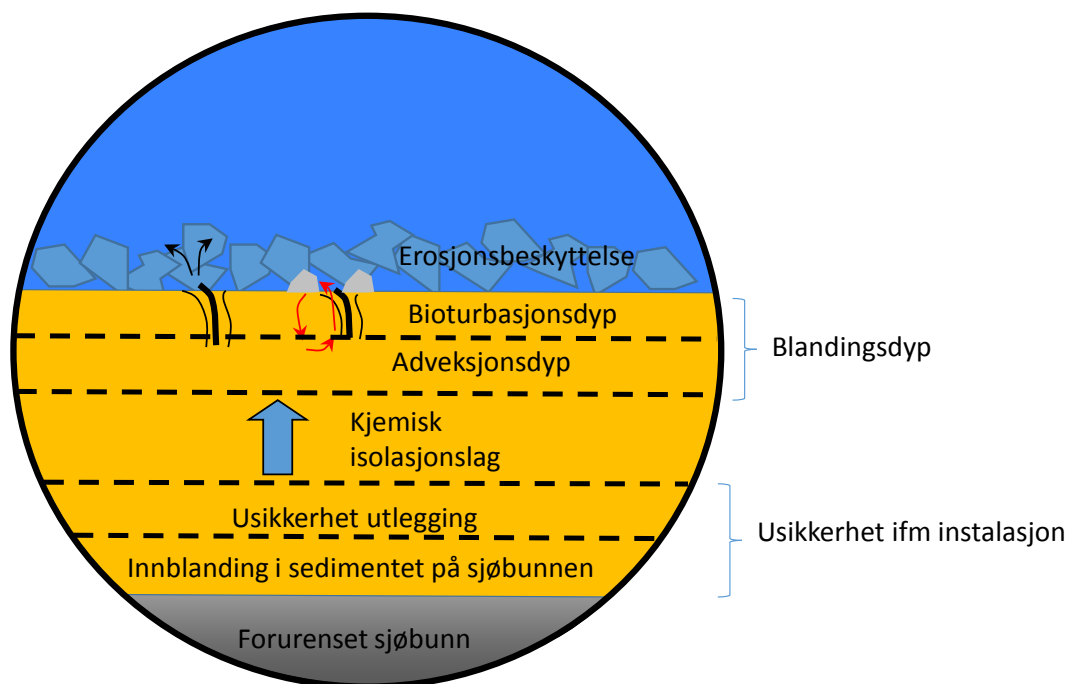
### 3.2.1 *Overordnet cap-design*

For å ivareta alle funksjonene beskrevet ovenfor kan designet av tildekkingen bygges opp slik som illustrert i Figur 3.1.

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 3.1 Prinsipp illustrasjon for prosjektering av tildekkingslag

**Erosjonsbeskyttelse:** For at tildekkingen ikke skal erodere bort må den øverste delen av tildekkingen ha en kornstørrelse som ikke virvles opp under de strømforholdene som kan forventes i området. SINTEF har beregnet en kornstørrelse  $d_{50}$  som ikke eroderes, basert på stedsspesifikk beregning av propellstrøm gitt fra aktuelle båter og båttrafikk i de ulike områdene. Trondheim Havn har angitt type båt og båtspesifikasjoner for de ulike områdene. Det vurderes som nødvendig med en tykkelse på  $3 \times d_{50}$ , dog minimum 10 cm for å gi tilstrekkelig sikkerhet for at erosjonsbeskyttelsen dekker hele området, samt beholder funksjonen hvis deler av de fineste partiklene i dette laget eroderes.

**Bioturbasjonslaget:** 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 hovedtyngden av biomasse finnes og der det skjer en aktiv blanding av sedimentene er mindre enn 10 cm tykk.

**Adveksjonsdyp:** Strømmende vann over ujevnheter på sjøbunnen og lokale sterke strømmer (som for eksempel genereres fra båtpropeller) kan gi trykkforskjeller over tildekkingen og dermed adveksjon (vannstrøm) i de øverste lagene av tildekkingen. Adveksjonslaget benyttet i beregningene er 20-30 cm.

**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. Isolasjonslaget er beregnet for hvert delområde basert på målte konsentrasjoner av metaller, TBT, PAH og PCB i porevannet (NGI, 2011a og b).

**Usikkerhet i konstruksjonen:** Gitt det relativt beskjedene vanddypet i områdene som skal dekkes til vurderes 10 cm usikkerhet som et realistisk estimat på reell usikkerhet. Denne usikkerheten i tildekkingsmektigheten er relatert til ujevnheter på sjøbunnen/sprekker. 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.

**Blandingssonen:** 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. Tykkelse av tildekkingen som inngår i blandingssonen er satt lik 5 cm i alle områdene ut fra en antakelse om at det vil bli benyttet masser med kornstørrelse 0 – 20 mm eller finere som tildekkingsmasse.

Detaljert beskrivelse av beregning av de ulike lagene er gitt i vedlegg D.

### 3.2.2 *Krav til tildekkingsmateriale*

Miljødirektoratet har utarbeidet en veileder som foreslår et program for undersøkelse og dokumentasjon av egenskapene til materialer av geologisk opprinnelse tenkt brukt til tildekking av forurenset sjøbunn (SFT, 2006). Masser for bruk i tildekkingsformål kan bestå av brytningsmasser (nedknust berg el.), løsmasser og prosesserte masser (avgang, slagg). For å vurdere egnethet av masser til tildekkingsformål angir tildekkingsveilederen et program i fire trinn; Generell karakterisering av fysiske og kjemiske egenskaper, utlekkingssegenskaper, økotoksikologiske egenskaper og steds-spesifikke vurderinger.

**Trinn 1: Generell karakterisering.** Det skal utføres en kjemisk og fysisk basis-karakterisering av aktuelt tildekkingsmateriale. Det stilles krav til kjemisk innhold av TOC og relevante forurensningsforbindelser, som vist Tabell 3.2. Det skilles mellom oppmudrede masser og andre masser (naturlige eller prosesserte masser). Dersom tildekkingsmassene tilfredsstillter kriteriene i Tabell 3.2 og er uten menneskeskapt organiske stoffer, kan undersøkelsene gå direkte videre til trinn 4.

**Tabell 3.2** *Trinn 1 vurdering. Akseptverdier for totalinnhold av forbindelser i tildekkingsmaterialet (mg/kg) (SFT, 2006)*

Parameter	Oppmudrede masser	Andre masser
Totalt organisk karbon (TOC)	10000 (1%)	5000 (0,5%)
Arsen	Kfr tilstandsklasse II for metaller og organiske miljøgifter generelt SFT TA-1467/1997	20
Bly		60
Kadmium		1
Kopper		100
Krom		70
Kvikksølv		0,6
Nikkel		50
Sink		150
Jern		ingen verdi
Mangan		ingen verdi
Sum PAH 16		2
Benzo(a)pyren		0,05

**Trinn 2: Utlekkingspotensialet** fra det aktuelle tildekkingsmaterialet bestemmes ved utlekkings tester. Dette er aktuelt dersom betingelsene i trinn 1 ikke er oppfylt. Aktuelle tester er ett-trinns ristetest for å bestemme initielt utlekkingspotensial samt kolonnetest for bestemmelse av stabilisert utlekkingspotensial. Kolonnetesten gir konsentrasjon i porevannet når tildekkingsmassene har stabilisert seg. Veilederen angir akseptkriterier for utlekkingsvæsken/eluat fra utlekkingsstestene.

**Trinn 3: Virkning på biota** Testing av tildekkingsmassenes egenskaper i forhold til biota kreves utført på alle prosesserte masser og materialer som inneholder eller antas å inneholde organiske stoffer eller stoffer som ikke er inkludert i akseptkriterier for utlekkingspotensiale. Disse testene benyttes for å avdekke eventuelle samvirkende gifteffekter av stoffer og forbindelser. Aktuelle tester er gitt i tildekkingsveilederen.

**Trinn 4: Stedsspesifikke vurderinger;** Omfatter beskrivelse av tildekkingsmaterialets egnethet til å hindre spredning av miljøgifter gjennom tildekkingslaget i forhold til de stedlige forhold i tiltaksområdet:

- Sedimentets bæreevne og konsolideringsegenskaper
- Egnethet i det omsøkte tildekkingsområder med hensynet på materialets permeabilitet og filteregenskaper
- Vurdering av erosjon. Egen stedsspesifikk vurdering av erosjon som følge av skipstrafikk er gjennomført for alle delområder basert på aktuelle båter som trafikkerer området

Tildekkingsmassen må ha en kornfordeling som hindrer sammenblanding av massene. Samtidig skal massene ha tilstrekkelig permeabilitet for å slippe gjennom vann for å unngå overtrykk i massene.

$$2 * d_{15} (sediment) < d_{15} (filter) < 5 * d_{85} (sediment)$$

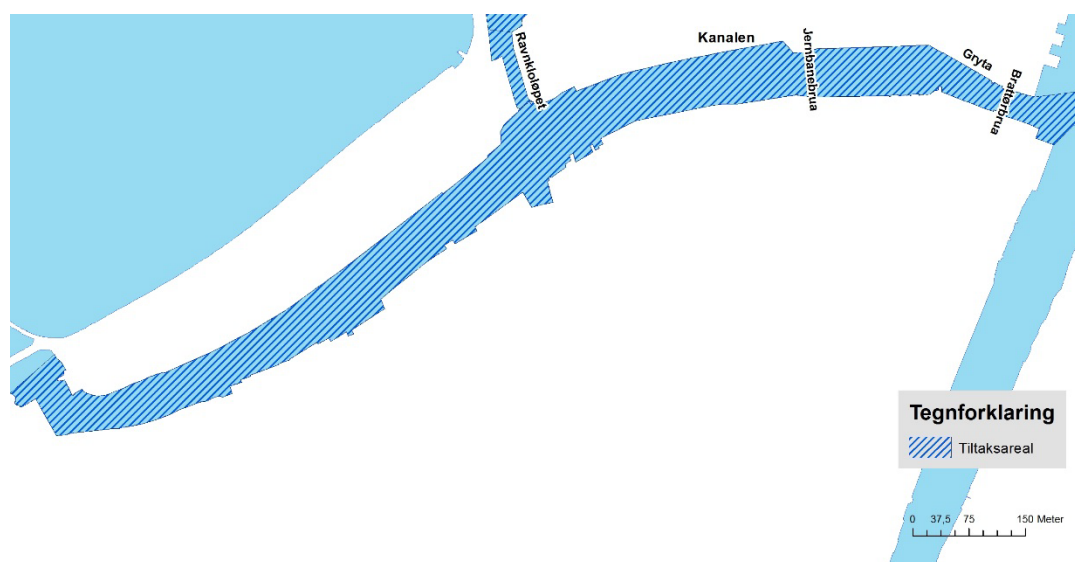
Hvor:  $d_{15}$  og  $d_{85}$  er den korndiameteren som henholdsvis 15% og 85% (vekt) av kornene er mindre enn lest fra kornfordelingskurvene for sediment og tildekkingsmateriale. Kravet på  $d_{15}(\text{filter}) < 5 * d_{85}(\text{sediment})$  sikrer mot utvasking av finstoff gjennom tildekkingslaget, mens kravet  $2 * d_{15}(\text{sediment}) < d_{15}(\text{filter})$  skal sikre at tildekkingslaget har tilstrekkelig permeabilitet til å hindre overtrykk i sedimentet.

For et tildekkingslag oppbygd av et filterlag og et erosjonslag vil følgende relasjon gjeldende  $d_{15}(\text{erosjonslag}) < 5 * d_{85}(\text{filter})$  for å sikre mot utvasking av finstoff fra filterlaget gjennom erosjonslaget. Filterkriterier er diskutert for hvert delområde. Det skal i detaljfasen utføres supplerende kornfordelinger som danner grunnlag krav og spesifikasjon av masser for tildekkingsløsninger.

## 4 Prosjekterte tiltak i Kanalen

### 4.1 Generell områdebeskrivelse

Delområdet Kanalen ligger i den sørlige delen av Trondheim havn mellom Brattøra og bykjernen (Figur 4.1). Kanalen er ca. 1500 m lang og ca. 60 m bred, og har et areal på ca. 100.000 m<sup>2</sup> (inkl. Ravnkløløpet og utenfor Tavern). Kanalen går fra Skansens 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 Skansens bru i veiprojektet Nordre avlastningsvei har gitt begrensninger for dypgående for båter inn i Kanalen.



Figur 4.1 Delområde Kanalen, med Ravnkløløpet. Tiltaksområdet er skravert

## **4.2 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. Dybder i Kanalen varierer fra kote -2 til -7 LAT. Nordre del (nordsiden) av kanalen har hovedsakelig dypere sjøbunn en 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 tegning 101 i vedlegg B.

## **4.3 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 dypereleggende 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 tilstrekkelig ren.

## **4.4 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 - Ravnkløpet*

I Ravnkloa er det flytebrygger med båter som går i rutetraffic til Munkholmen samt fiskebåter. Det ligger flytebrygger i Ravnkloa i dag. Flytebrygge med rutetraffic 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 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.

## **4.5 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. Eksisterende kai er både på nord- og sydsiden av kanalen er gamle og er hovedsakelig utført med betongspunt. På nordsiden, mellom Jernbanebrua og Brattørbrua er det stålpunt som er noe tilfylt på sjøsiden som forsterkning. Tegninger fra de gamle kaiene angir prosjektert dybde på ca. kote ÷4 (Trh. Lokal) tilsvarende ca. kote ÷3,2 (LAT). Ved mudring og tildekking vil skråningshelninger og beliggenhet av seilingsled i kanalen bli tilpasset slik at konstruksjonene ikke blir svekket i forhold til det som tidligere er prosjektert.

På deler av kanalens søndre side (mot Fjordgata) er det gamle bryggerekker med «åpen» front mot kanalen. Bryggene er i hovedsak fundamentert på gamle trepeler som i dag er i dårlig forfatning. Stabilitet mot disse konstruksjonene hensyntas i relasjon til dybdekravene ved utenforliggende flytebrygger og i seilingsled. Alle forhold vedrørende løsning inn mot kai og brygger for å ivareta stabilitet vil bli mer detaljert i senere fase men vurderes å influere marginalt på de utførte volumberegninger.

## 4.6 Mudring i Kanalen

### 4.6.1 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 for beregning av aktuelt mudrevolum gjort en beregning med 50 cm tildekkingsmektighet.

For beregning av mudrevolum er forutsetninger for dyp angitt i kapittel 4.4 lagt til grunn. Mudreområder er skravert med rødt i Figur 4.2 og vist i større målestokk i kartvedlegg A-1. Situasjonsplan for Kanalen er gitt i tegning 101 i vedlegg B.



Figur 4.2 Områder hvor det skal mudres i Kanalen er markert rødt

#### 4.6.2 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 11.500 m<sup>3</sup> faste masser, hvorav Ravnkløløpet utgjør ca. 200 m<sup>3</sup>.

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 dybde-data 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. Flytebryggens 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 tidevannsplenet 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. 11 500 m<sup>3</sup>.

Områder som i dag ikke er kartlagt er målt inn for detaljprosjekteringen. Størrelsen på volumet vil kunne endres under detaljprosjektering eller ved endrede forutsetninger som kommer fram under prosjekteringen.

### 4.7 Tildekking i Kanalen

#### 4.7.1 Tildekkingsområder

Etter mudring skal sedimentene i hele Kanalen tildekkes med rene masser etter mudring. Avslutning av tildekkingen mot land under brygger og tilsvarende beskrives i detaljprosjekteringen, men prinsipper for hvordan avslutning av tildekkingen utføres er beskrevet her.

#### 4.7.2 Beregnet tildekkingsdesign for Kanalen

Basert på målte konsentrasjoner i sedimentet og informasjon om dimensjonerende strømhastighet, samt systematikken beskrevet i vedlegg D, er det her beskrevet en anbefalt tildekkingsstykkelse av rene masser, for delområdet Kanalen. Stedsspesifikk propellerrosjon er beregnet på bakgrunn av hvilke typer båter som benytter området



gitt i vedlegg E. I Kanalen er det tatt utgangspunkt i en større småbåt. SINTEF har ut fra sin modell beregnet  $d_{50}$  for materialet som ikke virvles opp. For Kanalen er  $d_{50}$  0,5 mm. Prosjekterte tildekkingsmektighet er gitt i Tabell 4.1.

Tabell 4.1 Tildekkingsmektigheter med rene masser i Kanalen

Tildeckingslag	Anbefalt tildekkingsstykkelse for delområde Kanalen	Kommentar
Erosjonslag	10 cm	Små båter i området betyr at et 10 cm tykt lag med $d_{50} < 0,5$ mm gir nok beskyttelse. Bruker minimumstykkelse på 10 cm
Bioturbasjonslag	10 cm	Basert på Miljødirektoratets veileder (TA 2802/2011)
Adveksjonslag	(20 – 20 cm) = 0 cm	Dette laget er tilstrekkelig dekket av erosjonslaget og bioturbasjonslaget
Kjemisk isolasjonslag	5 cm	Beregningene viste behov for <5 cm for alle stoffene med høy risiko i risikovurderingen
Usikkerhet konstruksjon	10 cm	Vurdert som beskrevet kapittel 3.2 og i vedlegg D
Blandingslag	5 cm	Vurdert som beskrevet i kapittel 3.2 og i vedlegg D
<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.

I kap. 3.2.2 er det gitt randbetingelser for bestemmelse av filterkriterier for tildekkingslaget. Endelige filterkriterier skal bestemmes i detaljprosjekteringen når resultater fra supplerende kornfordelinger foreligger. For å unngå erosjon av tildekkingsmaterialet er det beregnet oppvirvling fra båt-trafikk om angir en  $d_{50}$  lik 0,5 mm gitt i Tabell 4.1. Det gir at sand eller grusmasser med en  $d_{50}$  mellom 0,6 til 10 mm kan brukes som tildekkingsmateriale i dette området såfremt at massene har tilstrekkelig finstoff slik at de tilfredsstillende filterkriteriene.

#### 4.7.3 Avslutning mot land og under bryggerekker

For områder hvor det ikke er kai avsluttes tildekkingslaget på kote middel høyvann og tildekkingen avtrappes med naturlig helningsvinkel for området. I tillegg vil det i områder mot land hvor det er begrensninger mht stabilitet, være stabiliteten som er styrende for avslutning av tildekkingslaget.

Tildekkingen i Kanalen skal avsluttes inntil kaier og under bryggerekker som har meget dårlig stabilitet. Det stilles strenge krav til at fundamenter under trebryggene

ikke skal påvirkes. Det kan derfor være aktuelt å avslutte tildekkingslaget foran bryggefundamenter som ikke tåler påvirkningen av tildekkingsgjennomføringen eller tilleggsbelastningen fra tildekkingsmaterialet. Dette vil medføre at begrensede sedimentarealer ikke vil bli tildekket, eventuelt få en mindre mektighet av tildekkingsmateriale.

Inn mot brygger skal det tilstrebes å legge et tildekkingslag tilsvarende som prosjektert for resten av Kanalen. Utførelsen skal ikke berøre stabilitet av kaifundamentene slik at det tilsvarende som for bryggerekker er aktuelt at det vil være begrensninger for utlegging av tildekkingsmateriale i disse områdene.

Detaljert beskrivelse av mudre og tildekkingsområder vil bli beskrevet i byggetegninger (snitt- og plantegninger).

#### **4.8 Tiltaksgjennomføring i Kanalen**

##### *4.8.1 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, beskrevet i Tabell 4.2 og vist på bilder i Figur 4.3.

I forbindelse med utførelse av mudring og tildekking i Kanalen, kan det være aktuelt å stenge Skansenløpet, Ravnkløløpet og/eller Brattørøløpet i perioder for å redusere partikkelspredning fra arbeidene ut i havnebassenget. Behovet for å stenge enkelte løp må vurderes ut ifra de krav Miljødirektoratet stiller til turbiditet for gjennomføringsfasen. En beslutning om stenging av Kanalen under tiltaksarbeidene vil ha store konsekvenser for bruken av Kanalen, f.eks. for rutegående trafikk i sommerhalvåret.

*Tabell 4.2 Beskrivelse av bruer i delområdet Kanalen*

<b>Bru</b>	<b>Type bru</b>	<b>Seilingshøyde</b>	<b>Seilingsdyp</b>
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 4.3 Bruer i Kanalen; Skansen bru (øverst til venstre), Ravnkløløpet (øverst til høyre), Brattørbrua (nederst til venstre) og Jernbanebrua (nederst til høyre)

#### 4.8.2 Flytting av flytebrygger

Flytebryggene i hele Kanalen må flyttes under tiltaksgjennomføringen, for at mudre- og tildekkingsområdene skal bli tilgjengelige. 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 mudreperioden, men når tildekkingen pågår må disse også flyttes.

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

Tiltakene i Kanalen kan gjøres seksjonsvis slik at noe av aktiviteten i området kan opprettholdes. Tidspunkt for aktivitetene i Kanalen kan imidlertid legges til en tid på året hvor det er lite trafikk for å unngå begrensninger for brukere.

#### 4.8.3 Rydding av avfall fra sjøbunn

Sjøbunnen ryddes for avfall før mudrearbeidene starter. Omfanget av ryddingen avhenger av entreprenørens utstyr og type avfall. Store fraksjoner (eks. sykler, båtvrak o.l) som begrenser effektiviteten av mudreprosessen tas opp før mudrearbeidene starter. Denne type avfall fjernes også i tildekkingsområdene.

#### 4.8.4 Gjennomføring av mudre- og tildekkingsarbeider 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.

Mudringen i Kanalen utføres før tildekking av Kanalen gjennomføres. Hvis det i senere detaljprosjektering skulle vise seg nødvendig å stille krav til seksjonsvis mudring pga. stabilitetsmessige forhold må det det gjøres spesielle avbøtende tiltak for å hindre spredning av forurensede masser til tildekkede områder. Mudrearbeidene skal utføres med miljøgrabb eller tett skuff slik at spredning av mudremasser ved transport fra sjøbunnen til overflaten begrenses.

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.

Seilingsdypet i Kanalen er begrenset for store fartøyer. Transport av mudremasser ut av Kanalen til Nyhavna bør for å opprettholde jevn fremdrift unngå begrensninger som f.eks. bruåpninger i Skansenløpet. Det vurderes derfor som hensiktsmessig at transport av masser foregår via Ravnkløløpet. Det vil ikke være aktuelt å frakte mudremasser på bil.

Tildekkingen gjennomføres ved utlegging av masser i to lag med en samlet mektighet på 40 cm. Utleggingen skal utføres i to omganger for å sikre et jevnt tildekkingslag. Utlegging i to omganger vil redusere resuspensjon av finere forurenset materiale fra sedimenter som skal tildekkes. Dokumentasjon av utleggingen utføres ved at sjøbunnen måles inn før og etter utlegging. Hvor det skal utføres tildekking innunder bruer og brygger må en skånsom metode for utlegging som ikke påvirker stabiliteten av fundamentene benyttes.

#### 4.8.5 Avbøtende tiltak mot spredning

Nidelva har noe utløp via Kanalen. Tidevann strømmer i tillegg ut og inn i Kanalen med betydelig tidevannsforskjell. Strømningsforholdene i Kanalen styres derfor av vannstrømmen i Nidelva samtidig med tidevannsstrømmen. Strømforløpet i Kanalen måles før og under tiltak for å vurdere spredningsforhold og behov for avbøtende tiltak.

Mulige avbøtende tiltak er overvåking av turbiditet (partikkelspredning) og etablering av partikkelsperrer (siltgardin). Plassering av turbiditetsmålere gjøres på bakgrunn av strømmålinger før tiltaksgjennomføring. Behov og plassering av siltgardiner må vurderes på bakgrunn av krav fra Miljødirektoratet samt på bakgrunn av målte verdier i tiltaksfasen.

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 mellom seksjoner ved seksjonsvis tiltaksgjennomføring.

Ved stenging av Kanalen eller seksjoner i Kanalen med partikkelsperrer etableres en åpning i Ravnkloløpet for transport av mudremasser ut av området. Partikkelspredning i åpningen overvåkes for å vurdere eventuelle tiltak mot spredning.

## **5 Prosjekterte tiltak i Brattørbassenget**

### **5.1 Generell beskrivelse**

Brattørbassenget er ca. 80.000 m<sup>2</sup> og er avgrenset av Brattørmoloen i nord/nordvest, St. Olavs Pir med Ravnkloløpet i vest samt fylling mot Pirterminalen i øst og kaifront mot Jernbanen i sør (Figur 5.1). 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 i tillegg en ny kai/promenade langs Brattørkaia lengst vest.



Figur 5.1 Tiltaksareal i Brattørbassenget

## 5.2 Bunnforhold, topografi

Topografien i Brattørbassenget skråner inn mot midten av bassenget fra Brattørmoloen, Pirterminalen og kaier i sør. I tillegg skråner sjøbunnen fra midtre del av bassenget ut mot utløpet 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.

## 5.3 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 sjøen 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 hurtigbåtbassenget er ikke dokumentert, men tildekkingen prosjekteres for hele delområdet.

## 5.4 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. Manøvreringsareal er vist i Figur 5.2.

Langs dagens kai sør for hurtigbåtterminalen etableres det en strandpromenade med lett trekai på trepeler. I forlengelsen av strandpromenaden mot Ravnkløløpet er gamle kaikonstruksjoner stabilisert ved en innfylling som ikke må fjernes. Det er ikke særskilt krav til seilingsdyp langs land og området vil ha tilstrekkelig seilingsdyp etter tildekking av 0,5 m.

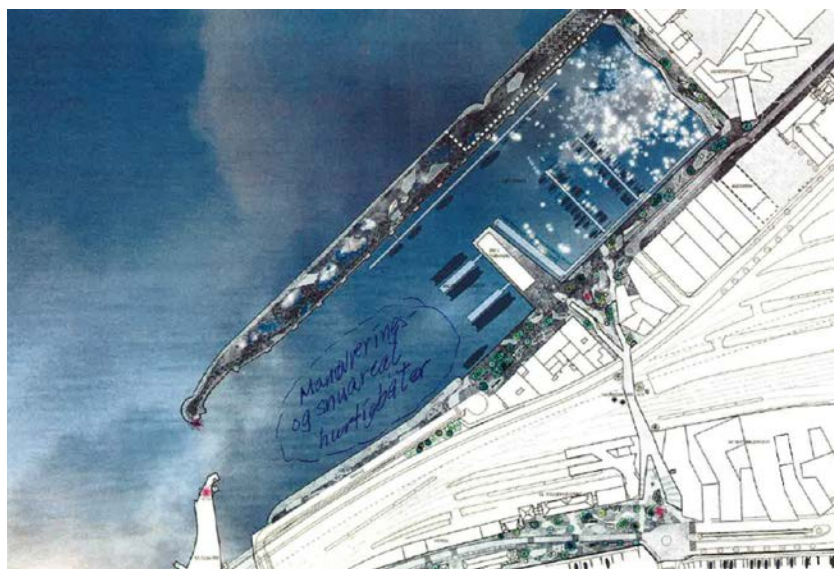
Utløpet av Ravnkløløpet vil ha tilstrekkelig seilingsdyp etter tildekking av 0,4-0,5 m. Trondheim Havn ser derfor ikke behov for mudring i dette området.

#### *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. Tegningsgrunlaget for eksisterende molokonstruksjon er mangelfullt. Det er derfor knyttet store usikkerheter til hva som er mulig å oppnå av mudredyp uten å berøre konstruksjonen.



Figur 5.2 Manøvreringsareal for hurtigbåter i Brattørbassenget

### **5.5 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.

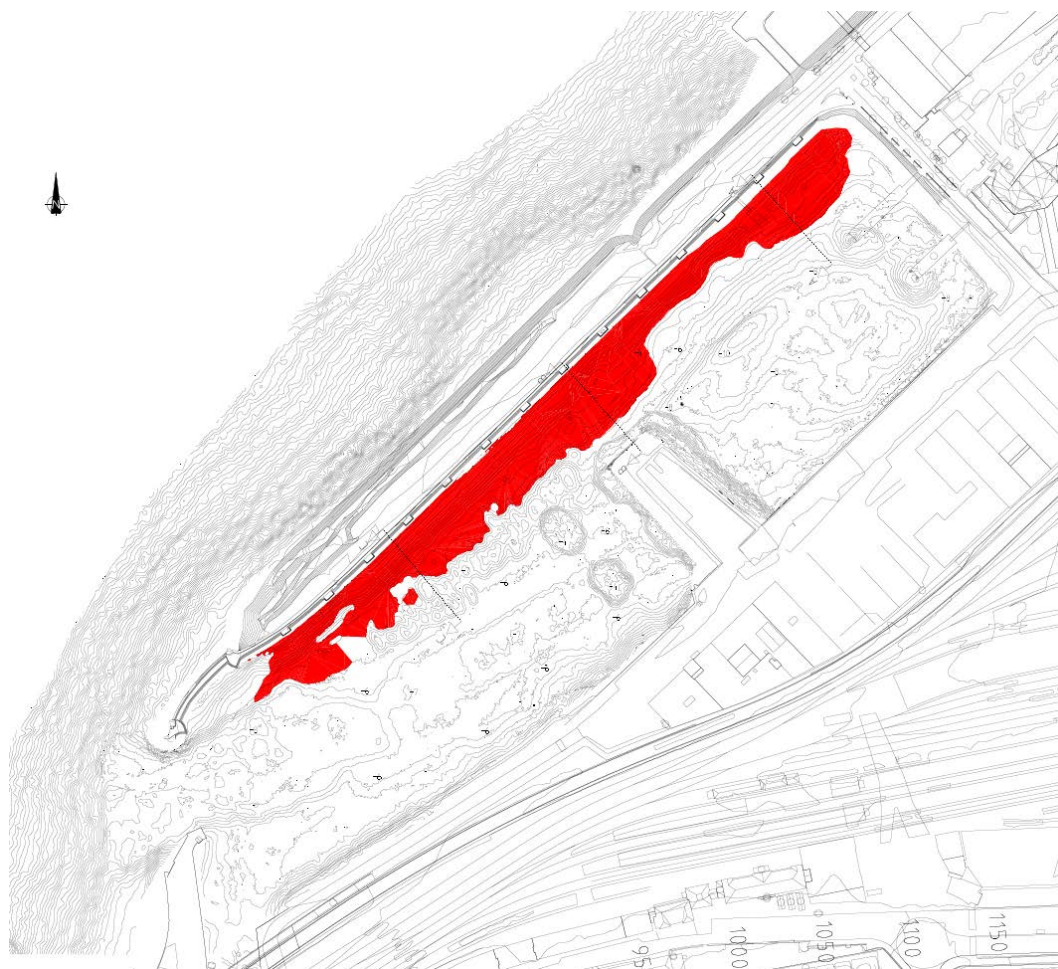
Ut fra gamle tegninger for Brattørmoloen ligger foten av blokkmuren på kote 0 referert til høyde «Trondheim lokal», dvs. ca. kote +0,84 LAT. Blokkmuren er fundamentert på underliggende steinfylling med skråning 1:3 inn mot Brattørbassenget. Ut fra dagens nivå på topp mur ser det ut (som forventet) at moloen har satt seg betydelig og at foten av blokkmuren i dag ligger på ca. kote 0 LAT. I volumberegningene er mudringsskråningene lagt med helning 1:3 fra 1,4 m utenfor antatt topp blokkmur for å unngå mudring i steinfyllingen som er fundament for blokkmuren. For indre del av bassenget er det gitt en slakere helning inn mot bassenget fra flytebrygger (1:13), etter regulering av dyp fra Trondheim havn.

## **5.6      *Mudring i Brattørbassenget***

### **5.6.1    *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 5.4. 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. Beskrivelse av seilingsdyp i kapittel 6.4 er lagt til grunn for terrengmodellen. Mudredypet langs Brattørmoloen er avgrenset av fyllingsfoten til moloen. Mudreområder i Brattørbassenget er vist i Figur 5.3 og er vist i større målestokk i kartvedlegg A-2.





*Figur 5.3 Mudreområder i Brattørbassenget*

### *5.6.2 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 12.000 m<sup>3</sup> faste masser. Størrelsen på volumet vil kunne endres under detaljprosjektering eller ved endrede forutsetninger som kommer fram under prosjekteringen.

## *5.7 Tildekking i Brattørbassenget*

### *5.7.1 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 5.1.

### 5.7.2 Beregnet tildekkingsdesign for Brattørbassenget

Basert på målte konsentrasjoner i sedimentet og informasjon om dimensjonerende strømhastighet er systematikken beskrevet i kapittel 5 benyttet til å beregne en anbefalt tildekkingsstykkelse med rene masser for indre og ytre del av delområdet Brattøra. Stedsspesifikk propellerrosjon er beregnet på bakgrunn av hvilke typer båter som benytter området (vedlegg E). I ytre del av Brattørbassenget er hurtigbåter (Kystekspressen) dimensjonerende for trafikken, mens det i indre del av Brattørbassenget er brukt en større fritidsbåt. SINTEF har ut fra sin modell beregnet  $d_{50}$  for materialet som ikke virvles opp. For ytre basseng er  $d_{50}$  36 mm og for indre basseng er  $d_{50}$  3 mm gitt i vedlegg E. Prosjektert tildekkingsmekthighet er vist i Tabell 5.1 og Tabell 5.2.

Tabell 5.1 Beregnet tildekkingsdesign for rene materialer i ytre del av Brattørbassenget

Tildeckingslag	Anbefalt tildekkingsstykkelse for Brattørbassenget – ytre basseng	Kommentar
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 3.2 og vedlegg D.
Blandingslag	5 cm	Vurdert som beskrevet i kapittel 3.2 og vedlegg D.
<b>Total prosjektert tykkelse</b>	<b>50 cm</b>	

Tabell 5.2 Beregnet tildekkingsdesign for rene materialer i indre del av Brattørbassenget

Tildeckingslag	Anbefalt tildekkingsstykkelse for Brattørbassenget – indre basseng	Kommentar
Erosjonslag	10	Bruker minimumstykkelse på 10 cm
Bioturbasjonslag	10	Basert på Miljødirektoratets veileder (TA 2802 2011)
Adveksjonslag	(20 – 20 cm) = 0 cm	Beskrevet avsnitt 3.2.1
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 og vedlegg D.
Blandingslag	5 cm	Vurdert som beskrevet i kapittel 5.6 og vedlegg D.
<b>Total prosjektert tykkelse</b>	<b>40 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 redusere utlekkingen av forurensing fra de forurensede sedimentene med mer enn 90 %. Den øvrige delen av tildeckingslaget vil redusere utlekkingen ytterligere. Den reelle reduksjonen vil være avhengig av den endelige bioturbasjonsaktiviteten og strømhastigheter i området.

I kapittel 3.2.2 er det gitt rammebetingelser for bestemmelse av filterkriterier for tildeckingslaget. Sand-masser tilsvarende handelsfraksjon 0/8 vil normalt være egnet for tildekking av siltige/sandige masser. Endelige filterkriterier skal bestemmes i detaljprosjekteringen når resultater fra supplerende kornfordelinger foreligger. For å unngå erosjon av tildekkingsmaterialet er det beregnet oppvirvling fra båt-trafikk som angir en  $d_{50}$  lik 36 mm gitt i Tabell 5.2. Dette er betydelig større fraksjoner enn hva som må til for å ivareta filterkriteriene mot sedimentet. Erosjonsbeskyttelsen må derfor bestå av et grovere materiale ( $d_{50} > 36$  mm) enn i de underliggende delene av tildeckingslaget.

Partiklene i erosjonslaget mindre enn 36 mm blir påvirket av propellstrøm, men dette vil kun skje i den øvre delen av erosjonslaget og mektigheten av erosjonslaget vil sørge for at det beholder sin funksjon også på lang sikote.

### 5.7.3 Avslutning mot land og under bryggerekker

For områder hvor det ikke er kai avsluttes tildeckingslaget i på kote middel høyvann og tildekkingen avtrappes med naturlig helningsvinkel for området. I områder mot

land hvor det er begrensninger mht. stabilitet, vil stabiliteten være styrende for avslutning av tildekkingslaget.

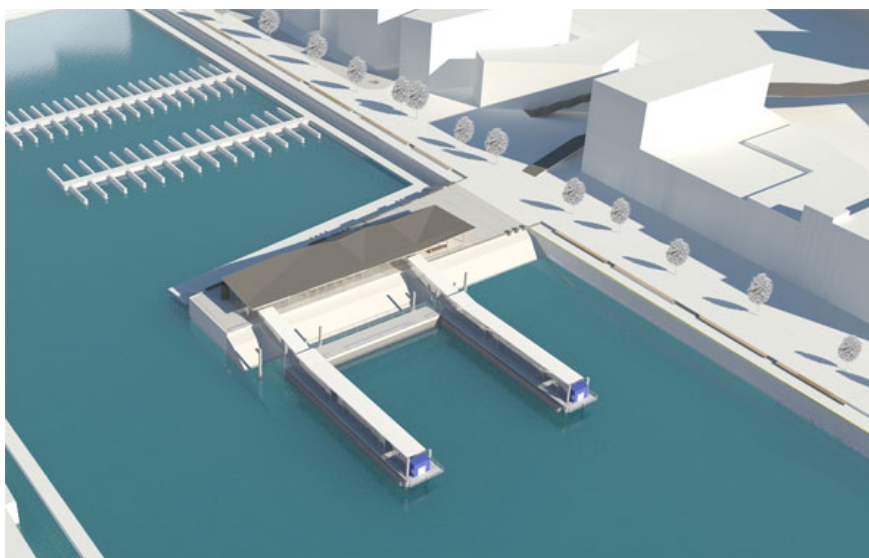
Tildekkingen skal avsluttes mot molofyllinger og i naturlig aktuell helningsvinkel for området, men ikke brattere enn 1:3. Tildekking inntil kaifronter prosjekteres på en slik måte at det ikke svekker stabiliteten. Avslutning mot land og kaier vil medføre at begrensede arealer vil oppnå lavere mektighet av tildekkingsmateriale enn det som er angitt i Tabell 5.1.

## 5.8 Tiltaksgjennomføring i Brattørbassenget

### 5.8.1 Trafikklogistikk i Brattørbassenget i tiltaksperioden

#### *Ytre basseng med hurtigbåtterminal og søndre kai*

I Brattørbassenget åpnet ny Hurtigbåtterminal i ytre basseng januar 2014 og er en del av kollektivknutepunktet i Trondheim (tog, båt, buss). Kystekspresen har med dagens trafikk ca. 20 avganger/anløp pr dag. Manøvreringsarealet for hurtigbåtene ligger ikke innenfor det planlagte mudringsarealet langs Brattørmoloen. Trafikken ved piren kan opprettholdes i området under mudrearbeidet, ved regulering av seilingsled og avbøtende tiltak mtp spredning. 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. Langs søndre kai planlegges etablering av ny trekai og promenade med fyllingsfront mot sjø. Etablering av kai er planlagt ferdigstilt før tiltakene ved de øvrige områdene i Brattørbassenget gjennomføres. Dagens sjøbunn under fylling vil isoleres i forbindelse med kai-prosjektet, mens tildekkings av sjøarealet utenfor ny kai inngår i Renere havneprosjektet og utføres i sammenheng med tildekkingen hurtigbåtterminal i ytre basseng.



Figur 5.4 Hurtigbåtterminal og småbåthavn (Lusparken arkitekter)

### *Brattøra molo og kaier langs molo*

Langs hele vestre del av Brattørbassenget, langs Brattøra molo, skal det på sikt etableres flytebrygger for gjestehavn, charterbåter og tilsvarende båttrafikk. Langs molo er det planlagt mudring for å oppnå tilstrekkelig dyp ved flytebrygger etter tildekking. Området kan trafikkeres under regulerte former under mudrearbeidene, men det vil være hensiktsmessig med begrensning av trafikken under tildekking av området.

### *Ny småbåthavn i indre basseng*

I området fra hotellet ut til ny hurtigbåtterminal skal det kun utføres tildekkingsarbeider. Innerst i Brattørbassenget, langs hotellet og Pirterminalen er det planlagt en sjøtrapp for publikum. Det skal etableres ny småbåthavn i indre basseng. 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. 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.

#### *5.8.2 Forskuttert 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 gitt i fase 1-rapport (NGI, 2013).

#### *5.8.3 Rydding av avfall fra sjøbunn*

Sjøbunnen ryddes for avfall før mudrearbeidene starter. Omfanget av ryddingen avhenger av entreprenørens utstyr og type avfall. Store fraksjoner (eks. sykler, båtvrak o.l) som begrenser effektiviteten av mudreprosessen tas opp før mudrearbeidene starter. Denne type avfall fjernes også i tildekkingsområdene.

#### *5.8.4 Gjennomføring av mudre- og tildekkingsarbeider i Brattørbassenget*

Mudringen i Brattørbassenget utføres før tildekking av andre deler av bassenget gjennomføres. Mudrearbeidene skal utføres med miljøgrabb eller tett skuff slik at spredning av mudremasser ved transport fra sjøbunnen til overflaten begrenses. Det er ikke begrensninger mht i hvilket område mudringen starter. For å minimere innvirkning på rutetrafikk i området kan mudringen foregå samtidig som at hurtigbåttrafikken opprettholdes. Hvis arbeidene medfører stor spredning, kan det imidlertid være aktuelt med avbøtende tiltak som medfører stenging av inn og utløp til bassenget. Mudremassene transporteres på lekter fra Brattørbassenget til deponi i Nyhavna. En stenging vil derfor også påvirke logistikk for transporten av massene til deponiet.

Ved behov for seksjonsvis mudring og tildekking pga stabilitetsmessige forhold må rekkefølgen styres av hovedstrømningsretninger i bassenget. Dette måles før oppstart. Avslutning av mudring innerst ved Pirterminalen må avklares mot planer for sjøtrapp i en detaljprosjekteringsfase, og grensesnitt for disse prosjektene må synliggjøres.

Dokumentasjon av utleggingen utføres ved at sjøbunnen måles inn før og etter utlegging. Hvor det skal utføres tildekking innunder bruer og brygger må en skånsom metode for utlegging som ikke påvirker stabiliteten av fundamentene benyttes.

#### *5.8.5 Avbøtende tiltak mot spredning*

Brattørbassenget har utløp mot Trondheimsfjorden mellom St Olavs Pir og molohodet på Brattørmoloen. I tillegg strømmer vann ut og inn til Kanalen gjennom ytre del av Brattørbassenget via Ravnklølopet til Kanalen. Tidevannstrømmen er betydelig i området. Strømforløpet i Brattørbassenget måles før og under tiltak for å vurdere spredning og avbøtende tiltak.

Det er ikke vurdert å stenge av Brattørbassenget ved mudrearbeidene da det er tenkt at hurtigbåttrafikken ikke stanses eller flyttes mens mudringen pågår. Det må likevel vurderes hvis arbeidene medfører så stor spredning at et slikt tiltak er nødvendig.

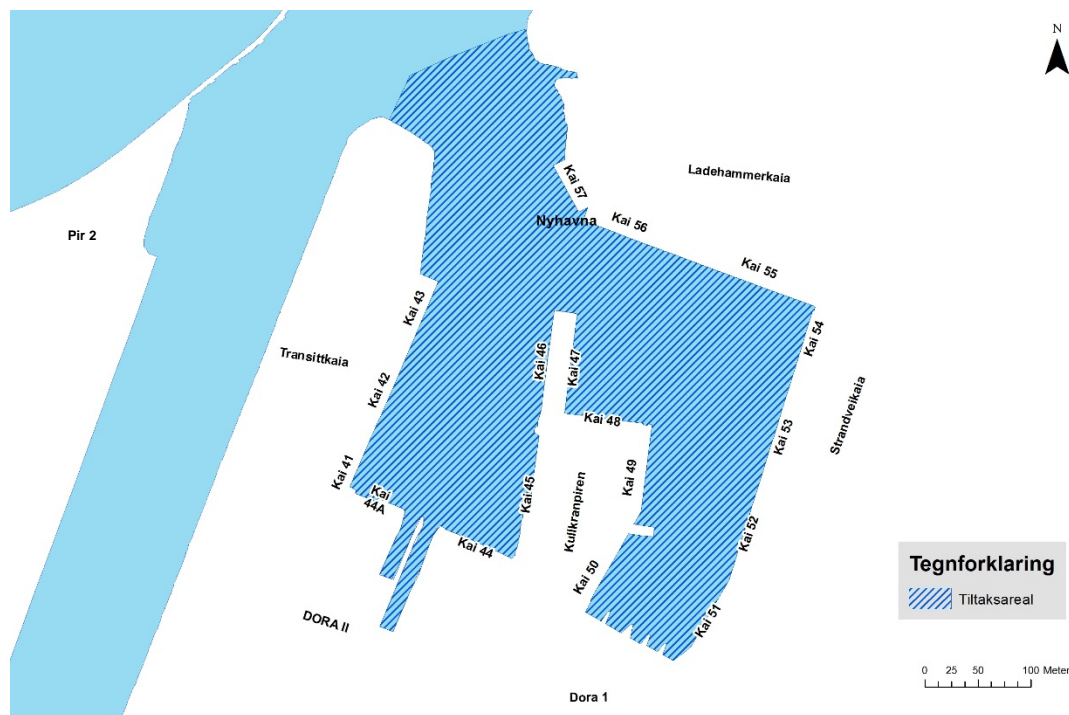
## **6 Prosjekterte tiltak i Nyhavna**

### *6.1 Generell beskrivelse*

Delområdet ligger i den østlige delen av Trondheim havn rett øst for utløpet av Nidelva. 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 u-båtbunkere 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 Ladebakk-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 6.1 Nyhavna med tiltaksareal skravert

## 6.2 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 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 LAT. Resterende områder i østre basseng ligger i dag hovedsakelig på kote -6 LAT.

## 6.3 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.

## 6.4 *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. Eksisterende kaiers forfatning kan medføre restriksjoner med hensyn til dybde foran kai for ikke å svekke konstruksjonene. (se pkt. 6.5).

### *Østre basseng*

I østre basseng skal området som ikke omfattes av nye deponiarealer dekket av alternativ 7 i Multiconsults forprosjekt-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. Eksisterende kaiers forfatning kan medføre restriksjoner med hensyn til dybde foran kai for ikke å svekke konstruksjonene. (se pkt. 6.5)

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

Tiltaksområdet i Nyhavna er omkranset av en rekke kaikonstruksjoner av varierende kvalitet. Det foreligger tegninger for noen av disse samt noen tidligere, visuelle tilstandsregistreringer utført av Trondheim havn. Vurdert tilstand av de enkelte konstruksjoner kan medføre restriksjoner i forhold til de dybdekrav som er stilt og kan derfor influere noe på de utførte volumberegninger. De enkelte konstruksjoner og evt. restriksjoner for mudring kommenteres i det følgende:

### *Kai 41 – 43 (Transittkaia)*

Kaiene er utført med spunt som er registrert å være i brukbar forfatning. Tegninger viser prosjektert dybde ved kaifront på kote ÷9 (Trh.lokal) tilsvarende ca. kote ÷8,2 (LAT). Mudring til kote ÷8,5 (LAT) inn mot kaia med senere tildekking med 0,55 m vurderes gjennomførbart.

### *Kai 46 (Kullkranpiren)*

Kaien er utført med stålspunt og registrert i dårlig forfatning. Det er innført lastbegrensninger på kaia. Mudring vurderes gjennomførbart til kote ÷7,5 inn mot kaia med skråning 1:10 ut mot kote ÷8,5. Senere tildekking med 0,55 m.

### *Kai 54 (Strandveikaia)*

Kaien er i meget dårlig forfatning og det foreligger i dag restriksjoner på bruken. På grunn av dårlig tilstand tillates ikke ytterligere utdyping inn mot kaien. Mudring til kote ÷5,2 begrenses utført til en avstand 20 meter utenfor kailinja. Arealet innenfor mot kaia tildekkes.



### *Kai 55 (Ladehammerkaia)*

Østre del av Ladehammerkaia er i meget dårlig forfatning. Det settes derfor restriksjoner til mudring som angitt for kai 54. Resterende del av kai 55 er av noe nyere dato. Utenfor hele kaien vurderes det mulig å mudre til kote  $\div 5,2$  begrenses utført til en avstand 20 meter utenfor kailinja for senere tildekking med 0,65 m. Den nyeste delen av kaien er fundamentert på stålrørspeler til berg og tegninger viser prosjektert seilingsdyp på kote  $\div 6,2$  (LAT). Mudredyp må derfor detaljeres mer i senere faser.

### *Kai 56 (Ladehammerkaia)*

Kaien er i meget dårlig forfatning og det foreligger i dag restriksjoner på bruken. På grunn av dårlig tilstand tillates ikke ytterligere utdyping inn mot kaien. Mudring til kote  $\div 5,2$  begrenses utført til en avstand 20 meter utenfor kailinja. Arealet innenfor mot kaia tildekkes.

### *Kai 57 (Norcemkaia)*

Kaien er utført med «svevende» stålpunt bakforankret til berg med prosjektert seilingsdyp på ca. kote  $\div 7,7$  (LAT). I prosjekteringen for kaien er det anført at selv små dybdeøkninger ut over prosjektert kan være kritisk for konstruksjonen. Ut fra dette vurderes mudring inn mot kaien og i en avstand 20 meter ut fra kaifront begrenset til kote  $\div 7,6$ . Senere tildekking/erosjonsbeskyttelse med ca. 30 cm tykke betongmadrasser. I området nord for kaien er det registrert noe utsig av masser som reduserer dagens seilingsdyp. Denne problemstillingen behandles i eget prosjekt med Trondheim havn og kan medføre behov for sikringsarbeider. Mudring nord for kaien tillates derfor ikke før evt. sikring er gjennomført.

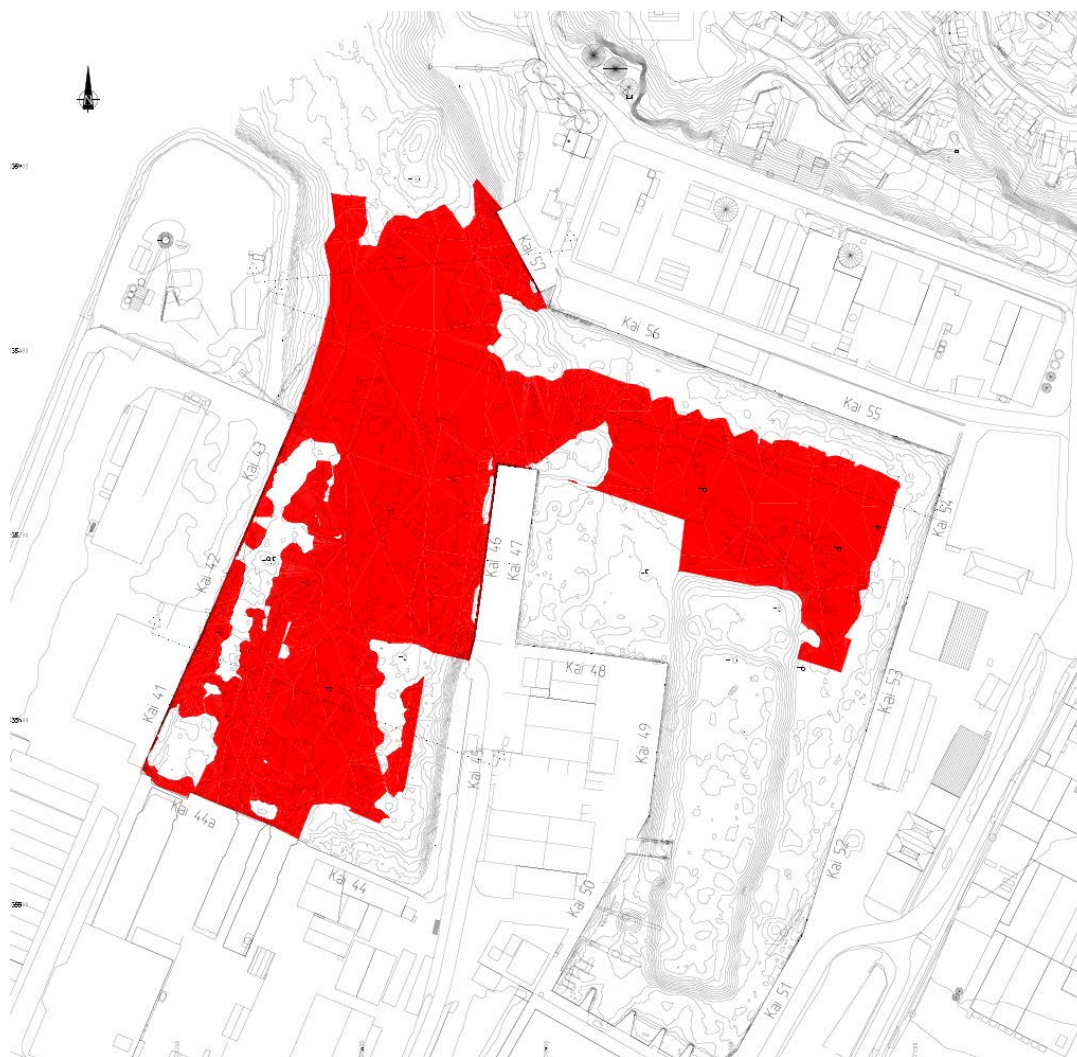
## **6.6 Mudring i Nyhavna**

### *6.6.1 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 spesifikasjon 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. Beskrivelse av seilingsdyp i kapittel 7 er lagt til grunn for terrengmodellen. Mudreområder i Nyhavna er vist i Figur 6.1, og er vist i større målestokk i kartvedlegg A-2.

### *6.6.2 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 35.000 m<sup>3</sup> faste masser. Størrelsen på volumet vil kunne endres under detaljprosjektering eller ved endrede forutsetninger som kommer fram under prosjekteringen.



Figur 6.2 Mudreområder i Nyhavna

## 6.7 Tildekking i Nyhavna

### 6.7.1 Beregnet tildekkingsdesign i Nyhavna

Basert på målte konsentrasjoner i sedimentet og informasjon om dimensjonerende strømhastighet samt systematikken beskrevet i kapittel 3 og vedlegg D, er en anbefalt tildekkingsstykkelse med rene masser for delområdet Nyhavna beskrevet her.

Tabell 6.1 Beregnet tildekkingsdesign for rene masser Nyhavna Kai 41-43 og 46

Tildeckingslag	Anbefalt tildekkingsstykkelse Kai 41-43, 46 (d50=14 mm)	Kommentar
Erosjonslag	10	I denne delen av Nyhavna er det relativt lav dimensjonerende strømhastighet. Tykkelse: 1,4 cm x 3 = 4,2 cm. Bruker minimumstykkelse på 10 cm
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 3.2 og vedlegg D.
Blandingslag	5 cm	Vurdert som beskrevet i kapittel 3.2 og vedlegg D.
<b>Total prosjektert tykkelse</b>	<b>55 cm</b>	

Tabell 6.2 Beregnet tildekkingsdesign for rene masser Nyhavna Kai 44 og 45

Tildeckingslag	Anbefalt tildekkingsstykkelse for Kai 44 og 45 (d50=69 mm)	Kommentar
Erosjonslag	20	I denne delen av Nyhavna er det høy dimensjonerende strømhastighet. Tykkelse 6,9 x 3 = 21
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 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 5.7 og vedlegg D.
Blandingslag	5 cm	Vurdert som beskrevet i kapittel 5.6 og vedlegg D.
<b>Total prosjektert tykkelse</b>	<b>65 cm</b>	

Tabell 6.3 Beregnet tildekkingsdesign for rene masser Nyhavna Kai 54-56

Tildeckingslag	Anbefalt tildekkingsstykkelse for Kai 54, 55 og 56 ( $d_{50}=46$ mm)	Kommentar
Erosjonslag	15	I denne delen av Nyhavna er det relativt høy dimensjonerende strømhastighet. Tykkelse $4,6 \times 3 = 14$
Bioturbasjonslag	10	Basert på Miljødirektoratets veileder (TA 2802 2011)
Adveksjonslag	$(40 - 25 \text{ cm}) = 15 \text{ cm}$	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 5.7 og vedlegg D.
Blandingslag	5 cm	Vurdert som beskrevet i kapittel 5.6 og vedlegg D.
<b>Total prosjektert tykkelse</b>	<b>65 cm</b>	

I beregningene er det forutsatt et generelt mudredyp på 0,5 m. Prosjekterte tildekkingsmektigheter 5 - 15 cm større enn mudredypet endrer ikke justering av mudredypet, men gir en reduksjon i seilingsdypet.

I kap. 3.2.2 er det gitt randbetingelser for bestemmelse av filterkriterier for tildeckingslaget. Sand-masser tilsvarende handelsfraksjon 0/8 vil normalt være egnet for tildekking av siltige/sandige masser. Endelige filterkriterier skal bestemmes i detaljprosjekteringen når resultater fra supplerende kornfordelinger foreligger. For å unngå erosjon av tildekkingsmaterialet er det beregnet oppvirvling fra båt-trafikk som angir en  $d_{50}$  lik 14-69 mm gitt i Tabell 5.2, Tabell 6.1 og Tabell 6.2. De høyeste fraksjoner er betydelig større fraksjoner enn hva som må til for å ivareta filterkriteriene til tildeckingslaget i forhold til sedimentene under. Tildeckingslaget må derfor bestå av to ulike materialer hvor erosjonslaget må bestå av et materiale med større partikler ( $d_{50} > 14-69$  mm) og mindre finstoff enn de underliggende delene av tildekkingen.

Ved Kai 57 er det i fase 1 av prosjektet beregnet en mektighet på 75 cm tildekking på grunn av stor erosjon i området. Kaia har imidlertid dårlig geoteknisk stabilitet som begrenser mudringsdyp. Sammen med et grunnere mudrenivå pga. stabilitet medfører en stor mektighet av tildeckingslaget et betydelig redusert seilingsdyp for området. Det skal derfor legges betongmadrasser med ca. 30 cm mektighet er for å opprettholde seilingsdypet i dette området.

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 69 mm er nødvendig i enkelte områder. Dette gjør at erosjonslaget må være minimum 20 cm tykt og at 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 (jfr kap 3.2.2). Dette må det tas hensyn til i detaljprosjekteringen av oppbyggingen av tildekkingslaget (SFT, 2006).

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 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.

#### *6.7.2 Avslutning mot land og under bryggerekker*

For områder hvor det ikke er kai (eks. steinfylling, molofylling) skal tildekkingslaget avsluttes på kote middel høyvann og tildekkingen avtrappes med naturlig helningsvinkel for området. Tildekking inntil kaifronter prosjekteres på en slik måte at det ikke svekker stabiliteten. Avslutning mot land og kaier vil medføre at begrensede arealer vil mindre mektighet av tildekkingsmateriale.

#### *6.7.3 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 erosjonslaget forventes en nødvendig mektighet for tildekkingslaget under DORA på 25 til 30 cm. Filteregenskapene for massene dekklaget skal spesifiseres basert på nye kornfordelinger i områder. En sandfraksjon 0/8 vil normalt være aktuelt å bruke i et område hvor det ikke er båttrafikk. Foran DORA er tildekkingen avhengig av om det skal være båttrafikk i området. Dette vil være en del av detaljprosjekteringen og er derfor ikke vurdert særskilt her. SINTEF har vurdert at en tildekking på 25-30 cm vil ikke påvirke vannstrømmen eller temperaturforholdene under Dora på en merkbar eller målbar måte. Der det er et mindre og avgrenset område kan det stilles et høyere krav til presisjon, som under DORA for å kunne redusere mektigheten av tildekkingslaget ytterligere.

Tabell 6.4 Tildekkingsdesign under DORA

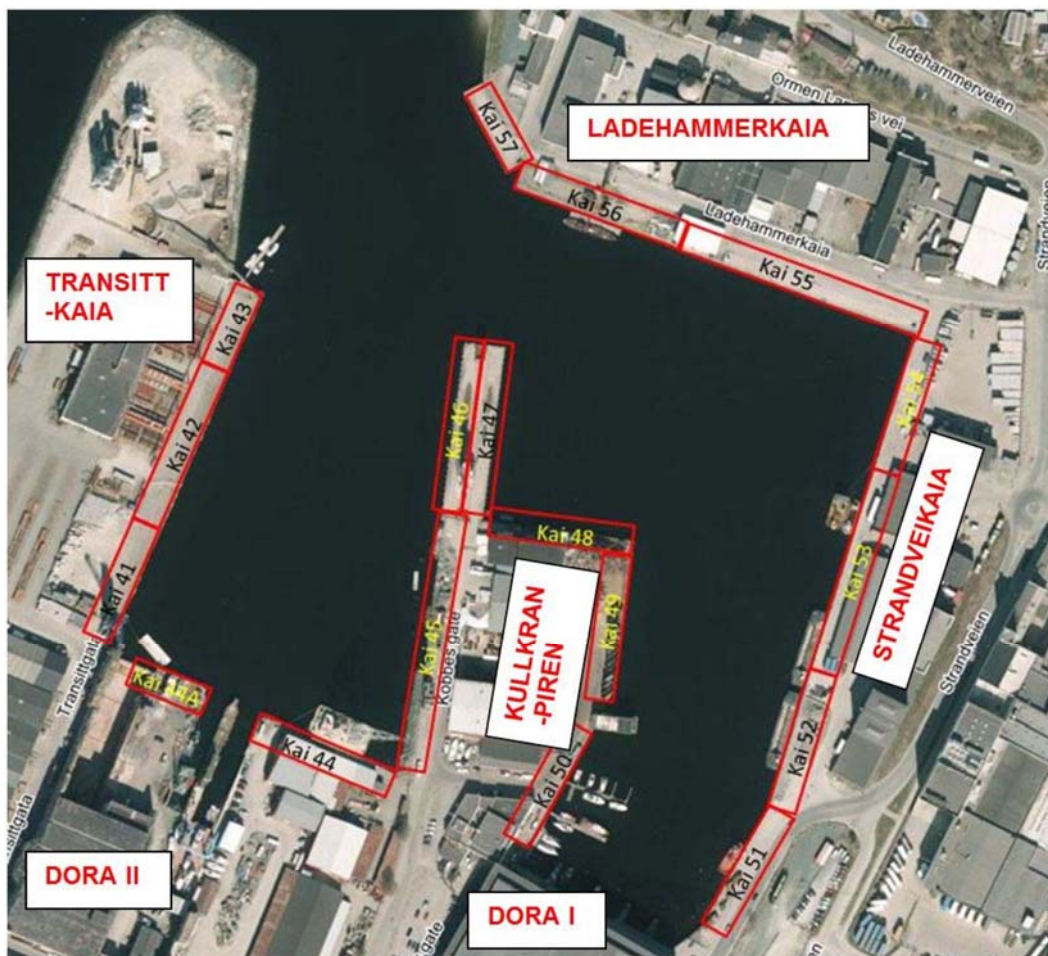
Tildekkingslag	Anbefalt tildekkingsstykkelse under DORA	Kommentar
Erosjonslag	0	Ingen båttrafikk og lav gjennomstrømning av vann gjør at det ikke vurderes nødvendig med et eget lag som hindrer erosjon
Bioturbasjonslag	10	Basert på Miljødirektoratets veileder (TA 2802 2011)
Adveksjonslag	(10 – 10 cm) = 0 cm	
Isolasjonslag	6	Beregningene viste behov for 6 cm isolasjonslag for TBT dette blir derfor dimensjonerende
Usikkerhet konstruksjon	10 cm	Vurdert som beskrevet i kapittel 5.7 og vedlegg D.
Blandingslag	5 cm	Vurdert som beskrevet i kapittel 5.6 og vedlegg D.
<b>Total prosjektert tykkelse</b>	<b>31 cm</b>	

## 6.8 Tiltaksgjennomføring i Nyhavna

### 6.8.1 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 6.2). 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.

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, 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.



Figur 6. Oversiktsbilde Nyhavna med kainummer (Multiconsult, 2013b)

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. Området hvor siltgardinen er plassert skal også mudres. De vil da være aktuelt å eventuelt flytte siltgardin eller utføre mudre- og deponeringsarbeider uten operativ siltgardin.

Manøvreringsarealer for båttrafikk ved kai 41-43 samt kai 46 er gitt i Figur 6..

Overordnet rekkefølgebeskrivelse for deponiet er styrende for rekkefølgen av mudre – og tildekkingsaktiviteter for Nyhavna (MC, 2013c). Tiltak med etablering av betongmadrass ved Norcem- kai (kai 57) beskrives spesielt i detaljfasen.



Figur 6.4 Manøvreringsarealer i Nyhavna (Trondheim Havn)

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 vestre basseng/kaier hvor det ikke pågår mudrearbeider. 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.

### 6.8.2 Rydding av avfall fra sjøbunn

Sjøbunnen ryddes for avfall før mudrearbeidene starter. Omfanget av ryddingen avhenger av entreprenørens utstyr og type avfall. Store fraksjoner (eks. sykler, båtvrak o.l) som begrenser effektiviteten av mudreprosessen tas opp før mudrearbeidene starter. Denne type avfall fjernes også i tildekkingsområdene.

### 6.8.3 Avbøtende tiltak mot spredning

I Nyhavna er det prosjektert mudring i store deler av vestre basseng, samt foran deponiet i 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 for trafikk under tildekking.

Nyhavna har utløp i Nidelva. I tillegg strømmer tidevann ut og inn i bassenget. 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.

For de arbeider som pågår i vestre basseng vil mudrearbeider foregå innenfor prosjektert siltgardin for deponiet.



## 7 Prosjekterte tiltaksløsninger - kostnader

Prosjekterte tiltaksløsninger for de ulike delområdene er:

### *Kanalen*

Prosjekterte løsning i Kanalen omfatter:

- Mudring av 11.500 m<sup>3</sup>
- Tildekking av hele Kanalen (100.000 m<sup>2</sup>) med rene masser i 40 cm (30 cm dekkmasse + 10 cm erosjonslag)

Estimerte kostnader for prosjekterte løsning er vist i Tabell 7.1.

Tabell 7.1 *Kostnader for tiltak i Kanalen*

Kanalen - Tildekking med rene masser						
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	11 500	2 300 000	4 600 000
Innfilling i lokalt deponi	m3	80	80	11 500	920 000	920 000
40 cm tykk normal tolags tildekking	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>25 220 000</b>	<b>39 520 000</b>

### *Brattørbassenget*

Prosjekterte løsning i Brattørbassenget omfatter:

- Mudring av 12.000 m<sup>3</sup>
- Tildekking i Brattørbassenget (80.000 m<sup>2</sup>) med rene masser 50 cm (35 cm dekkmasse +15 cm erosjonslag) ytre basseng med rene masser 40 cm (30 cm dekkmasse + 10 cm erosjonslag) indre basseng

Estimerte kostnader for prosjekterte løsninger vist i Tabell 7.2.

Tabell 7.2 *Kostnader for tiltak i Brattørbassenget*

Brattørbassenget - Tildekking med rene masser						
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	12 000	2 400 000	4 800 000
Innfilling i lokalt deponi	m3	80	80	12 000	960 000	960 000
50 cm tykk normal tolags tildekking med dekklag (sand) og erosjonslag (grus)	m2	225	340	50 000	11 250 000	17 000 000
40 cm tykk normal tolags tildekking med dekklag (sand) og erosjonslag (grus)	m2	200	300	30 000	6 000 000	9 000 000
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>22 410 000</b>	<b>35 360 000</b>

### Nyhavna (ikke inkludert deponi)

Prosjekterte løsning i Nyhavna omfatter:

- Mudring av 35.000 m<sup>3</sup>
- Tildekking med rene masser:
  - Kai 41-43 og 46 inkludert manøvreringsareal i østre basseng (ca. 33.600 m<sup>2</sup>)  
55 cm (45 cm dekkmasse + 9 cm erosjonslag)
  - Kai 44 og 45 (ca. 14 000 m<sup>2</sup>)  
65 cm (45 cm dekkmasse + 20 cm erosjonslag)
  - Ladehammerkaia, Kai 55 og 56 (ca. 20.500 m<sup>2</sup>)  
65 cm (50 cm dekkmasse + 15 cm erosjonslag)
  - Norcem-kaia, Kai 57 (ca. 1 700 m<sup>2</sup>)  
Betongmadrass ca. 30 cm tykk.

Estimerte kostnader for tiltak i Nyhavna er vist i Tabell 7.3.

Tabell 7.3 Kostnader for prosjekterte tiltak i Nyhavna (ikke inkl. deponi)

Nyhavna - Tildekking rene masser						
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	35 000	7 000 000	14 000 000
Innfilling i lokalt deponi	m3	80	80	35 000	2 800 000	2 800 000
55 cm tykk normal tolags tildekking med dekklag (sand) og erosjonslag (grus)	m2	240	360	33 600	8 064 000	12 096 000
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	20 500	5 330 000	8 097 500
Betongmadrass. Kostnad for madrass og utlegging.	m2	1 000	1 500	1 700	1 700 000	2 550 000
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>30 234 000</b>	<b>48 473 500</b>

## **8 Kontroll og oppfølging**

### **8.1 Geoteknikk**

Høydereferanser på gamle kai-tegninger er usikre men er etter opplysninger fra Trondheim Havn antatt å referere til «Trondheim lokal». Det bør foretas ny høydemåling på kaifrontene ut mot mudringsområder i forbindelse med detaljprosjekteringen, referert til LAT, for å sikre riktig høydegrunnlag.

I områder der det skal utføres mudring inn mot kaier/konstruksjoner skal det utføres kontroll av evt. deformasjoner. Dette beskrives nærmere i detaljprosjekteringen.

### **8.2 Mudring**

Utførende entreprenør er ansvarlig for å dokumentere mudrearbeidene, dyp, mektighet og mengder. Mudreområder skal måles opp før oppstart mudring og mudredyp må dokumenteres før utlegging av tildekkingsmateriale.

Overvåking av partikkeltransport samt eventuelle andre avbøtende tiltak utføres for alle mudrearbeider. Plassering av overvåkingsstasjoner, omfang av overvåking og avbøtende tiltak med prosedyrer for drift og stans, inngår i en kontrollplan som skal innarbeides i entreprenørens planer for arbeidet.

### **8.3 Tildekking**

Tildeckingsmektighet skal dokumenteres med synlige markører (målestaver el. tilsv.) for å dokumentere oppfyllingsnivå for tildekkingslaget. Tildekkingen skal utføres i to omganger for å sikre jevn utlegging. Sluttkontroll av mektighet av hele tildekkingslaget skal dokumenteres ved at området måles opp før og etter utlegging.

Overvåking av partikkeltransport og eventuelle andre avbøtende tiltak utføres under alle tildekkingsarbeider. Plassering av overvåkingsstasjoner, omfang av overvåking og avbøtende tiltak med prosedyrer for drift og stans samt krav til prøvetaking og overvåking av tildekkede områder inngår i en kontrollplan som skal innarbeides i entreprenørens planer for arbeidet.

## **9 Etterbruk**

Den prosjekterte tildekkingsløsningen er basert på framtidig arealbruk; trafikk- og seilingsdyp for delområdene.

*Kanalen* skal brukes som småbåthavn med enkelte rutegående fartøy. Dybder er begrenset av terskler i Skansenløpet og seilingshøyde under Ravnklobru og Jernbanebru. Betingelser for seilingsdyp, arealbruken og dermed forutsetninger for at tiltaksløsningen skal oppfylle de lokale miljømålene for området er:

- 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.

*Brattørbassenget* er trafikkhavn for hurtigbåter og gjestehavn. Brattørbassenget har ingen fysiske barrierer mot andre delområder eller mellom indre og ytre basseng, slik at arealbruken begrenses av annen trafikkregulering (merking på kart, fysisk merking, trafikkmønster). Betingelsene for arealbruken i Brattørbassenget er:

- Innside av flytebrygger langs Brattørmolo, kote -2 LAT, ytre del av flytebrygge – 3 LAT
- Ytre del av bassenget ved Hurtigbåtpir, kote -7 LAT
- Indre del av bassenget skal benyttes som gjestehavn med seilingsdyp som dagens dyp noe redusert av tildekkingslag

*Nyhavna* skal opprettholdes som trafikkhavn i vestre basseng, mens arealene østre basseng reguleres avhengig av fyllingshøyde for sjødeponi. Seilingsarealer som ikke inkluderes av strandkantdeponiløsning og sjøbunnsdeponiløsning har ingen fysiske barrierer for å regulere trafikken. Arealbruken etter tiltak må derfor begrenses av annen trafikkregulering.

Levetiden for tiltakene i Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna forutsetter at tilførsel fra Nidelva og overvannsnettene ikke overskrider tilstandsklasse 3, gitt i de operasjonelle målene i kapittel 1.3.

## 10 Usikkerheter og SHA forhold

Det er etter forprosjektering av tiltak usikkerheter som det er behov for å utrede nærmere i detaljprosjekteringen. Usikkerheten for mudring og tildekking samt for utførelse er presentert i det videre.

### 10.1 Usikkerhet mudring

Beregnet mudrevolum for forprosjekteringen er:

- Kanalen 11.500 m<sup>3</sup>
- Brattørbassenget 12.000 m<sup>3</sup>
- Nyhavna .000 m<sup>3</sup>

Usikkerheter i prosjektering av mudrevolum og mudring er knyttet til:

- Økning av volum pga vanninnhold i mudremasser.
- Områder som kan gi begrensning i mudrearealet/mektighet langs kai- og brukonstruksjoner samt langs brygger i Kanalen.

- I mudreområder i Kanalen er det usikkerheter knyttet til volumberegninger i områder hvor det ikke foreligger data. Ny beregning i Kanalen etter gjennomgang av alle brygger og kartdata skal utføres
- Mudrevolum i Brattørbassenget basert på usikkerhet i mulig mudrenivå pga usikkert kartgrunnlag for fyllingsfot og molofylling
- Økning i mudrevolum pga overmudring
- Mudreområder i Nyhavna knytte til stabilitet av deponikonstruksjon

## **10.2 Usikkerhet tildekking**

Usikkerheter i prosjekterte tildekkingsløsninger for de ulike delområdene er:

- Utleggingsmetodikk (10 cm i tildekkingsdesign er inkludert)
- Forbruk av tildekkingsmateriale, tap av masser (strøm)
- Endelige mektigheter av tildekkingsarealer basert på endring/avgrensning av seilingsleder/trafikk

## **10.3 SHA-plan**

Det arbeides kontinuerlig med SHA-arbeid i prosjektet som ledes av prosjektets egne SHA-koordinator. For mudring og tildekking er følgende aktiviteter i gjennomføringsfasen avdekket som aksjonspunkter:

- Arbeidsoperasjoner på mudrefartøy
- Arbeidsoperasjoner på tildekkingsfartøy
- Arbeidsoperasjoner på transportlekter, lasting/lossing
- Anleggsarbeid i områder med annen båt-trafikk
- Stabilitet av brygger, kai-konstruksjoner og bruer

## 11 Referanser

DNV, 2008

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

GeoSubsea, 2014

Supplerende kartlegging, Renere havn, Trondheim havn, Kanalen, Gryta. Opprag nr 253-13 B. GeoSubsea 19.januar 2014.

HUETTEL, M., and I. T. WEBSTER, 2001

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.

Klif, 2011

Risikovurdering av forurenset sediment. Veileder TA-2802/2011.

Klif, 2012

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

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

MC, 2013a

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

MC, 2013b

Renere havn Trondheim. Konsekvensutredning. Rapport 20131031 415566-PLAN-PBL-007-rev 01 . Rev 01. 31.10.2013. Multiconsult 2013.

MC, 2013c

Renere havn Trondheim. Deponi for mudringsmasser i Nyhavna – Forprosjekote Rapport 425566-TVF-RAP-001.2511.2013. Multiconsult 2013.

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

NGI,2013

Renere havn - Prosjektering av tiltak. Prosjektering av mudring og tildekking – Fase 1. Rapport ne 20130339-01-R. 6.desember 2013.

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

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 forurensede 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.

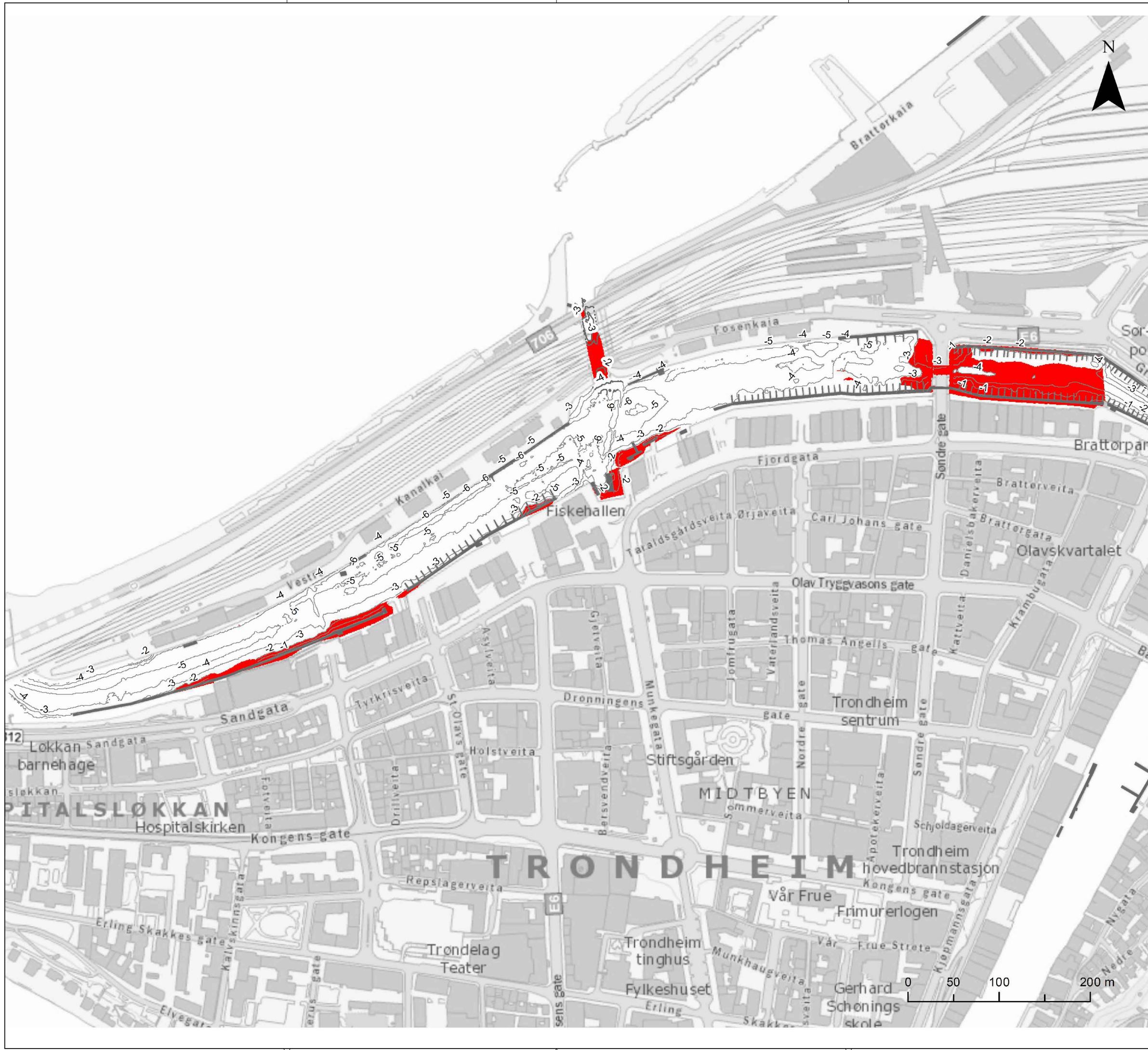


# Vedlegg A - Kartvedlegg med mudrearealer

## Innhold

<b>A-1</b>	<b>Mudrearealer i Kanalen</b>	<b>2</b>
<b>A-2</b>	<b>Mudrearealer i Brattørbassenget</b>	<b>3</b>
<b>A-3</b>	<b>Mudrearealer i Nyhavn</b>	<b>4</b>





**FORKLARINGER:**

Koordinatsystem: EUREF89 - UTM sone 32  
 Høydesystem, land: NN2000  
 Høydesystem, sjøbunn: LAT  
 Ekvivalens, sjøbunn: 0.5m

Rød farge: Mudreareal

**BESTEMMELSER:**

-

**HENVISNINGER:**

-

Tegningstittel:	Tegningsnr.:	Rev.:
RENERE HAVN - Prosjektering av tiltak	A1	0

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

Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontroll.	Godk.
-	-	-	-	-	-

RENERE HAVN Prosjektering av tiltak		Status
Kanal		Original format
Mudringsarealer		A1
		Tegningsfilnavn
		12000
		14000 (A3)

NGI Sognsveien 72 - PO Box 3930 Lillelvi 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	MMa	MMa
Oppdragsnr.:	Tegningsnr.:	Rev.:		
20130339	A1	0		





**FORKLARINGER:**

Koordinatsystem: EUREF89 - UTM sone 32  
 Høydesystem, land: NN2000  
 Høydesystem, sjøbunn: LAT  
 Ekvivalens, sjøbunn: 0.5m

Rød farge: Mudreareal

**BESTEMMELSER:**

-

**HENVISNINGER:**

-

Tegningstittel	Tegningnr.	Rev.
RENERE HAVN - Prosjektering av tiltak	A2	0

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

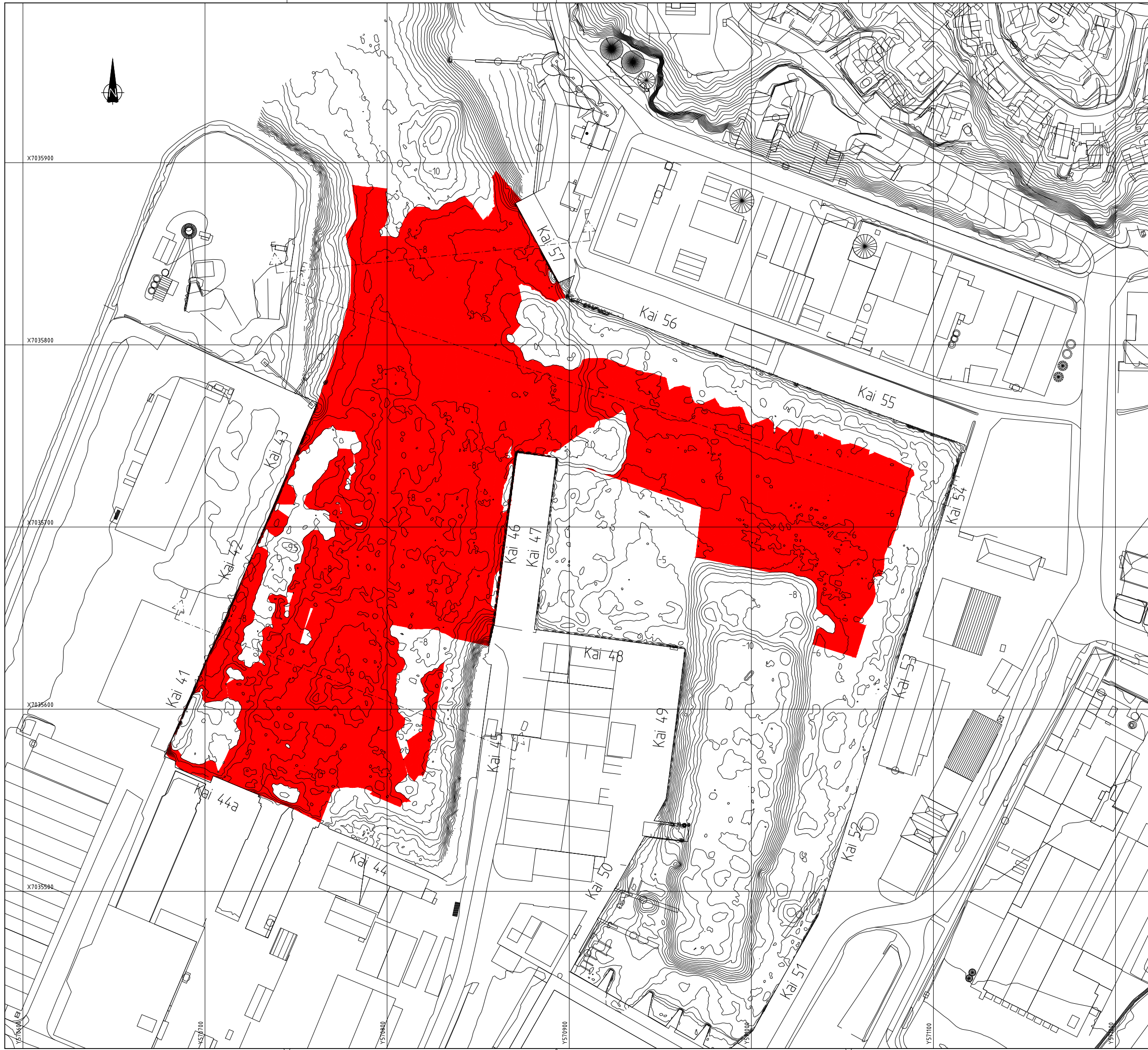
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontroll.	Godkj.
-	-	-	-	-	-

<b>RENERE HAVN</b>		Status		
Prosjektering av tiltak		Original format A1		
Brattørbassenge Mudrearealer		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 27.01.2014 Oppdragsnr. 20130339	Konstr./Tegnet MMe Tegningnr. A2	Kontrollert MMa Rev.	Godkjert MMa 0
--	--	---	---	----------------------------	----------------------



**FORKLARINGER:**

Koordinatsystem: EUREF89 - UTM sone 32  
 Høydesystem, land: NN2000  
 Høydesystem, sjøbunn: LAT  
 Ekvivalens, sjøbunn: 0.5m

Rød farge: Mudreareal

**BESTEMMELSER:**

-

**HENVISNINGER:**

-

Tegningstittel	Tegningnr.	Rev.
RENERE HAVN - Prosjektering av tiltak	A3	0

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

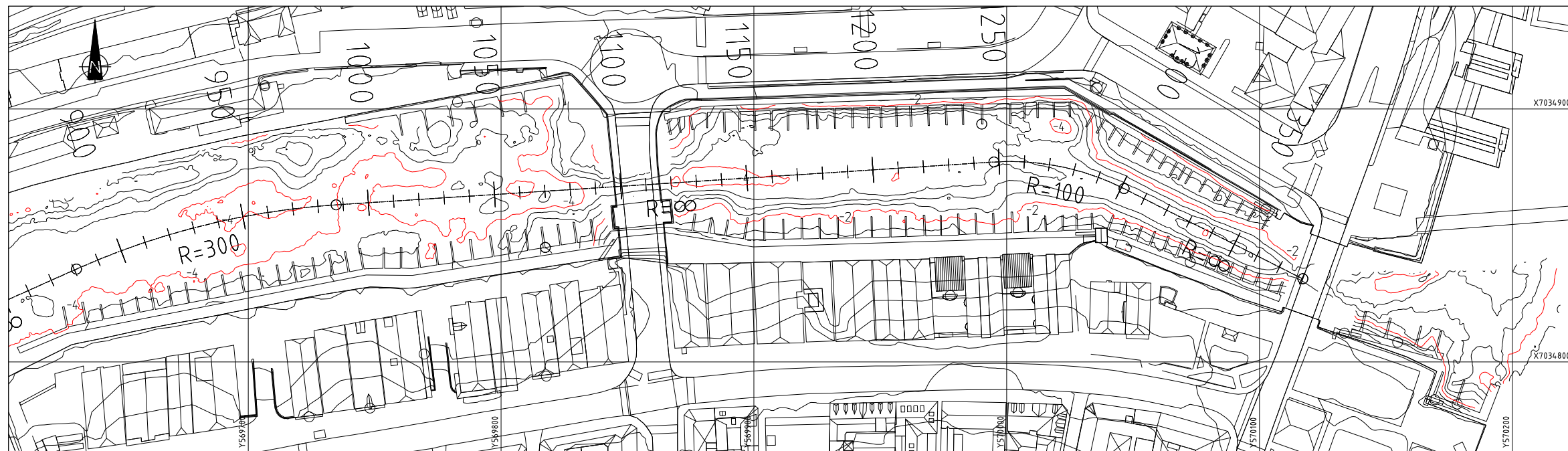
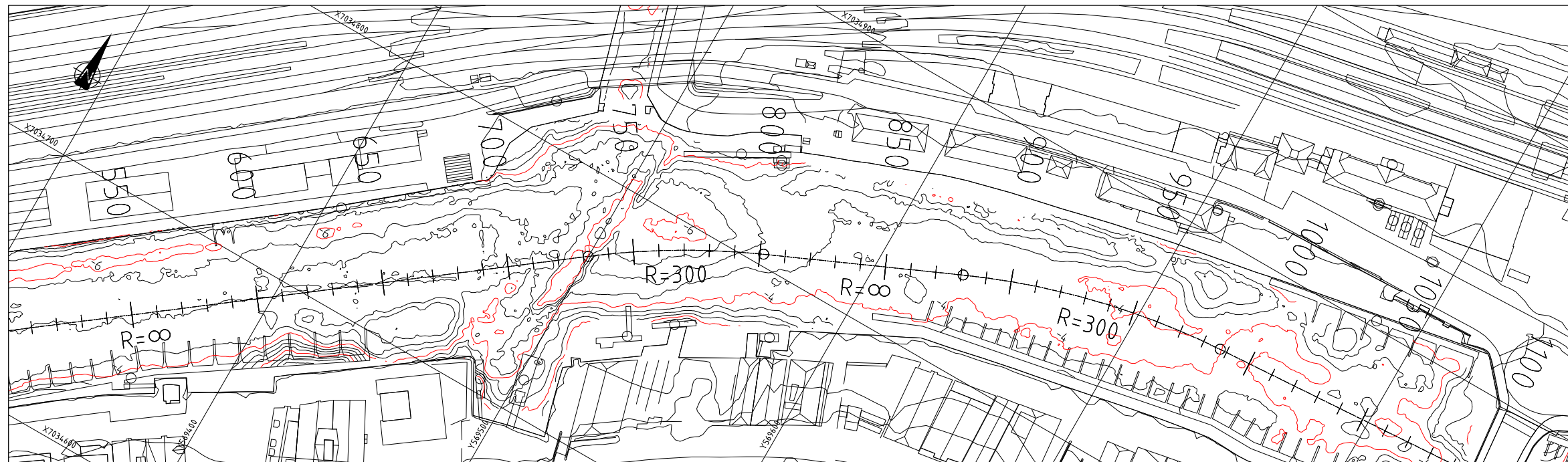
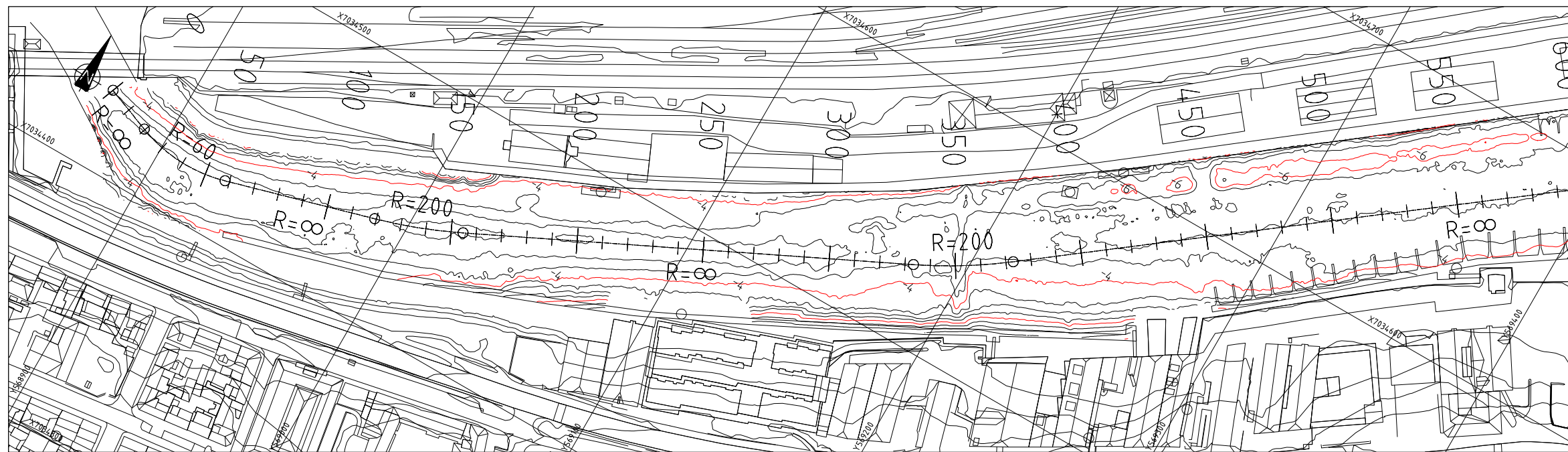
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontrollert	Godkjent
-	-	-	-	-	-
<b>RENERE HAVN</b> Prosjektering av tiltak		Status A1 Tegningens tittel Nyhavna Mudrearealer		Målestokk 1:1000 1:2000 (A3)	
NGI Sognsveien 72 - PO Box 3930 Lilleulv Stadion NO-0806 Oslo, Norway T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48 www.ngi.no		Dato 30.01.2014 Oppdragsnr. 20130339	Konstr./Tegnet MMe Tegningnr. A3	Kontrollert MMe Rev.	Godkjent MMe Rev. 0



## Vedlegg B - Situasjonsplan, snitt og prinsippsskisser for volumberegning

### 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 T104 Nyhavna mudreplan</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Tegning T105 Nyhavna tildekkingsarealer</b>	<b>6</b>
<b>6</b>	<b>Tegning T201 Profil Kanalen</b>	<b>7</b>
<b>7</b>	<b>Tegning T202 Profil A Brattøra</b>	<b>8</b>
<b>8</b>	<b>Tegning T203 Profil B Brattøra</b>	<b>9</b>
<b>9</b>	<b>Tegning T204 Profil C Brattøra</b>	<b>10</b>
<b>10</b>	<b>Tegning T205 Profil D Nyhavna</b>	<b>11</b>
<b>11</b>	<b>Tegning T206 Profil E Nyhavna</b>	<b>12</b>
<b>12</b>	<b>Tegning T207 Profil F Nyhavna</b>	<b>13</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

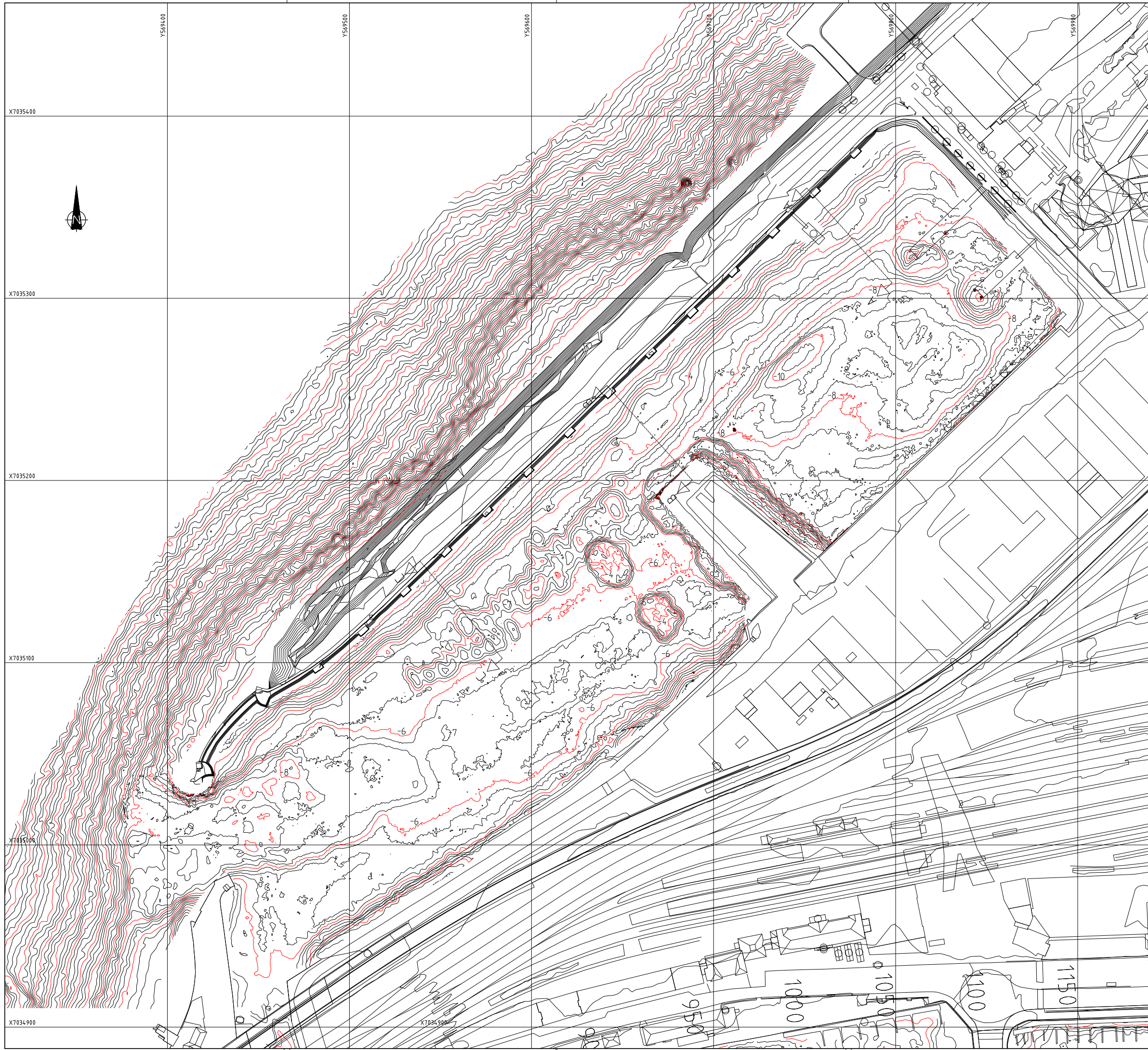
**BESTEMMELSER:**

**HENVISNINGER:**

Tegningssett:	Tegningnr:	Rev:
RENERE HAVN - Prosjektering av tiltak	101	0

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

Rev	Beskrivelse	Dato	Tegn	Kontroll	Godkj
-	-	-	-	-	-
<b>RENERE HAVN</b> Prosjektering av tiltak		Status A1 Tegningens tittel Situasjonsplan		Målestokk 1:1000 1:2000 (A3)	
NGI Sognsvelen 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 29.10.2013 Oppdragsnr: 20130339	Konstr./Tegnet MMe Tegningnr: 101	Kontrollert MMe Rev: 0	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 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>		Status A1 Tegningens tilnavn Situasjonsplan		Målestokk 1:1000 1:2000 (A3)	
Brattørbassenget Situasjonsplan		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		NGI logo	
Dato 28.10.2013 Oppdragsnr. 20130339		Kontrollert MMe Tegningnr. 102		Godkjent MMe Rev. 0	



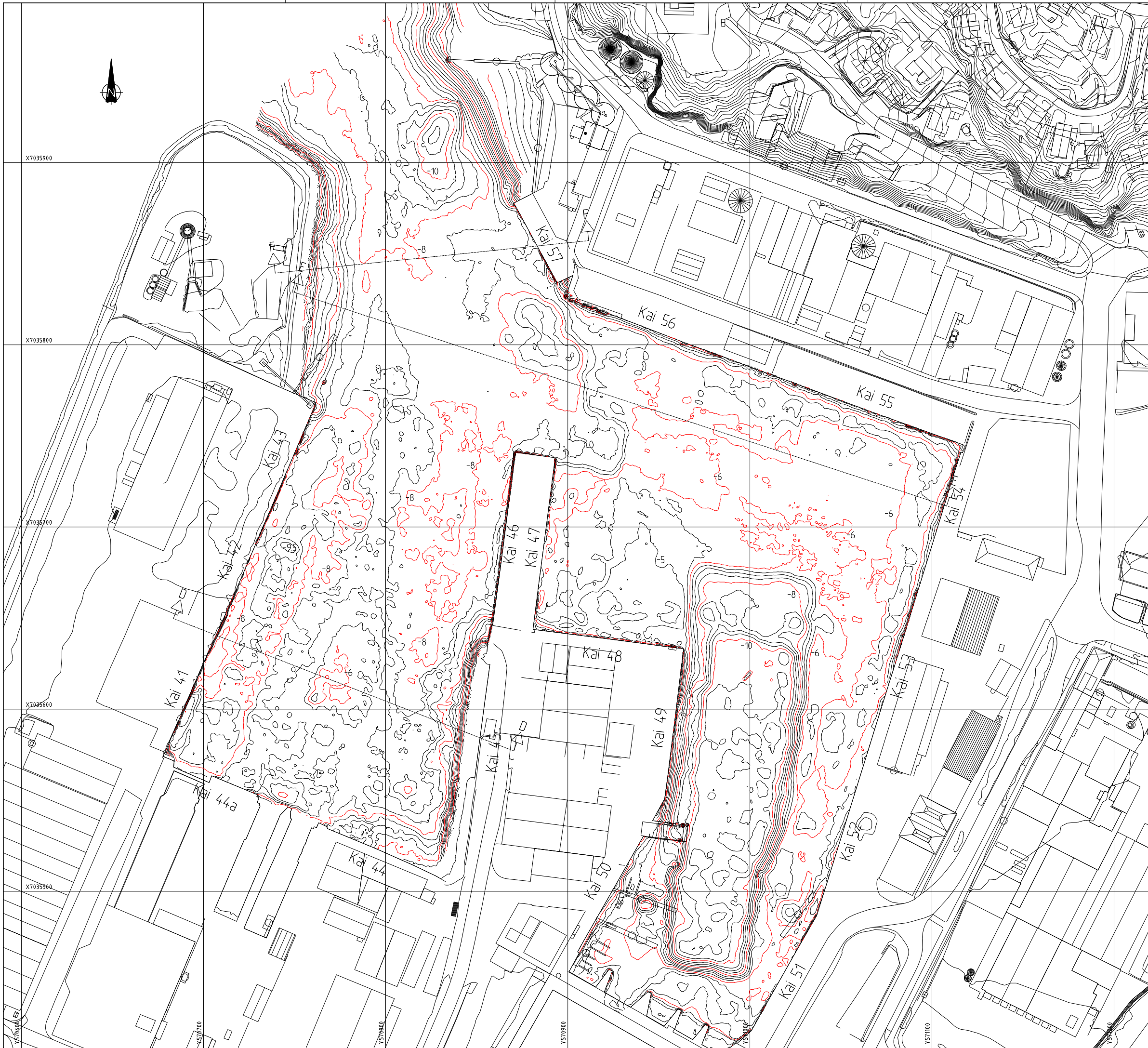
**FORKLARINGER:**

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

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

**BESTEMMELSER:**

**HENVISNINGER:**



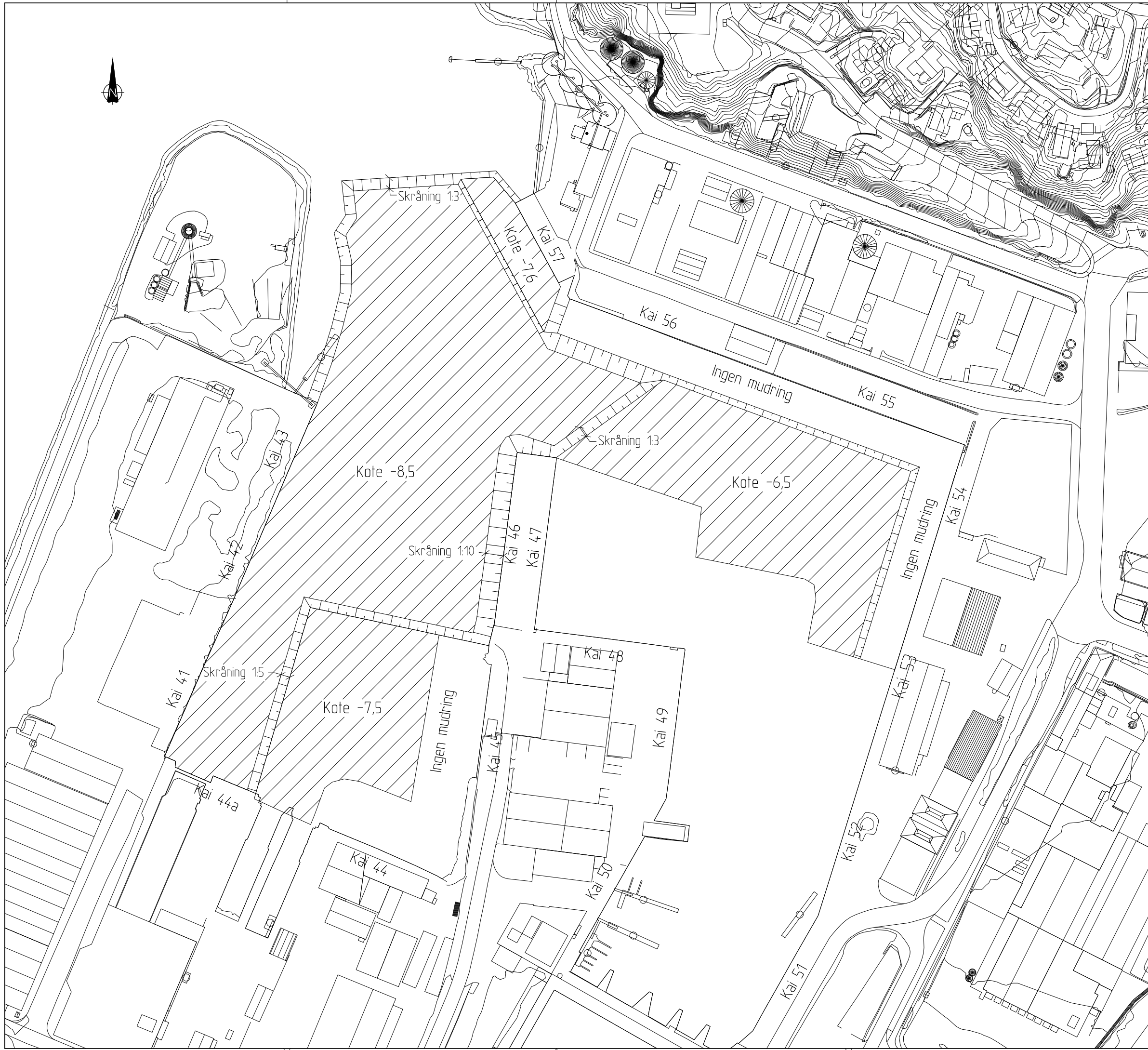
Tegningssett	Tegningsnr.	Rev.
RENERE HAVN - Prosjektering av tiltak	103	0

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		A1	
Nyhavna		Tegningens tittel		Situasjonsplan	
Situasjonsplan		Målestokk		1:1000 1:2000 (A3)	
NGI		Logo			
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		29.10.2013	
Oppdragsnr.		Konstr./Tegnet		MMe	
20130339		Kontrollert		MMa	
Tegningsnr.		Godkjert		MMa	
103		Rev.		0	



FORKLARINGER:

BESTEMMELSER:

HENVISNINGER:

Tegningstittel:	Tegningnr.:	Rev.:
RENERE HAVN - Prosjektering av tiltak	104	0

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

Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontrollert	Godkjent
-	-	-	-	-	-
<b>RENERE HAVN</b> Prosjektering av tiltak		Status Original format A1 Tegningens tittel Nyhavna Mudreplan	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 30.01.2014 Oppdragsnr. 20130339	Konstr./Tegnet MMe Tegningnr. 104	Kontrollert MMe Rev.	Godkjent MMe Rev.





Arealer utenfor kai 57  
(ca. 1 700 m<sup>2</sup>)  
Betongmadrasser

Arealer utenfor kai 41-42  
og kai 46 (ca. 33 600 m<sup>2</sup>)  
Tildekking 55 cm

Arealer utenfor kai 55 og  
kai 56 (ca. 22 500 m<sup>2</sup>)  
Tildekking 65 cm

Arealer utenfor kai 44 og  
kai 45 (ca. 14 000 m<sup>2</sup>)  
Tildekking 65 cm


FORKLARINGER:

BESTEMMELSER:

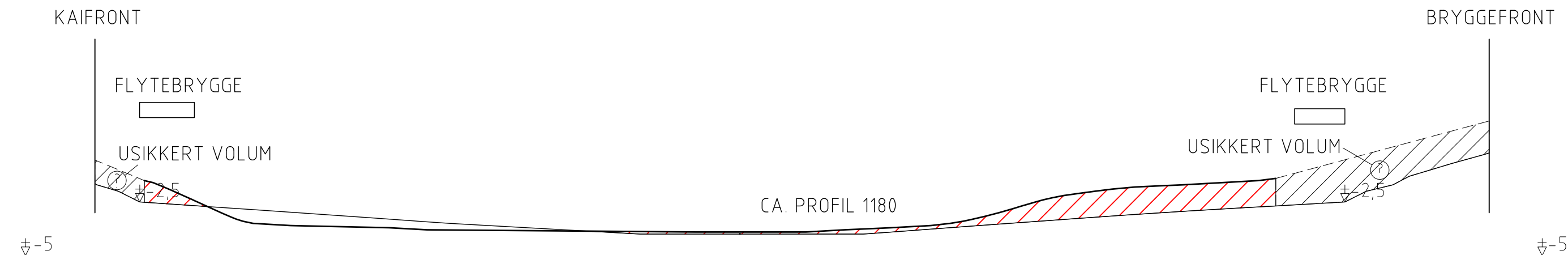
HENVISNINGER:

Tegningstittel:	Tegningnr.:	Rev.:
RENERE HAVN - Prosjektering av tiltak	105	0

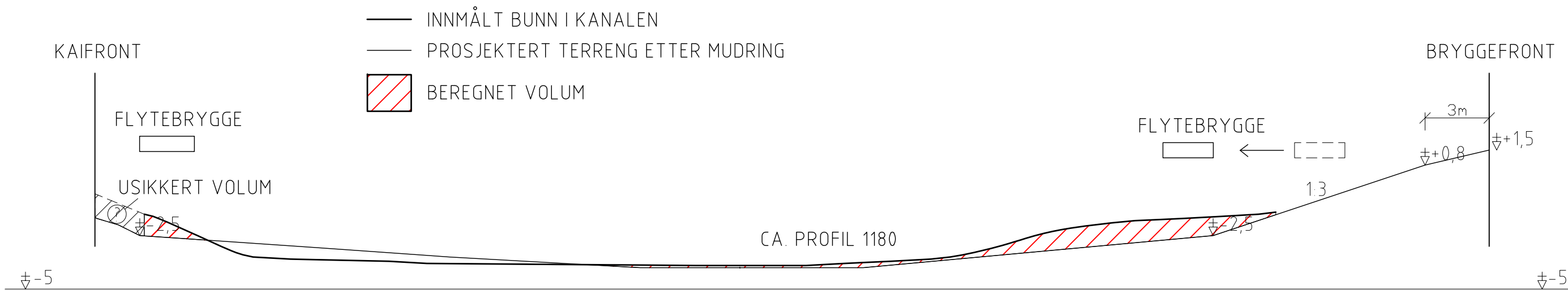
Tegningen er redusert til halv målestokk uten at målestokkangivelsen er redusert tilsvarende.


Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontrollert	Godkjent
-	-	-	-	-	-
RENERE HAVN Prosjektering av tiltak		29.01.2014	MMe	MMa	MMa
Nyhavna Tildeckingsarealer		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		20130339	105	0	0

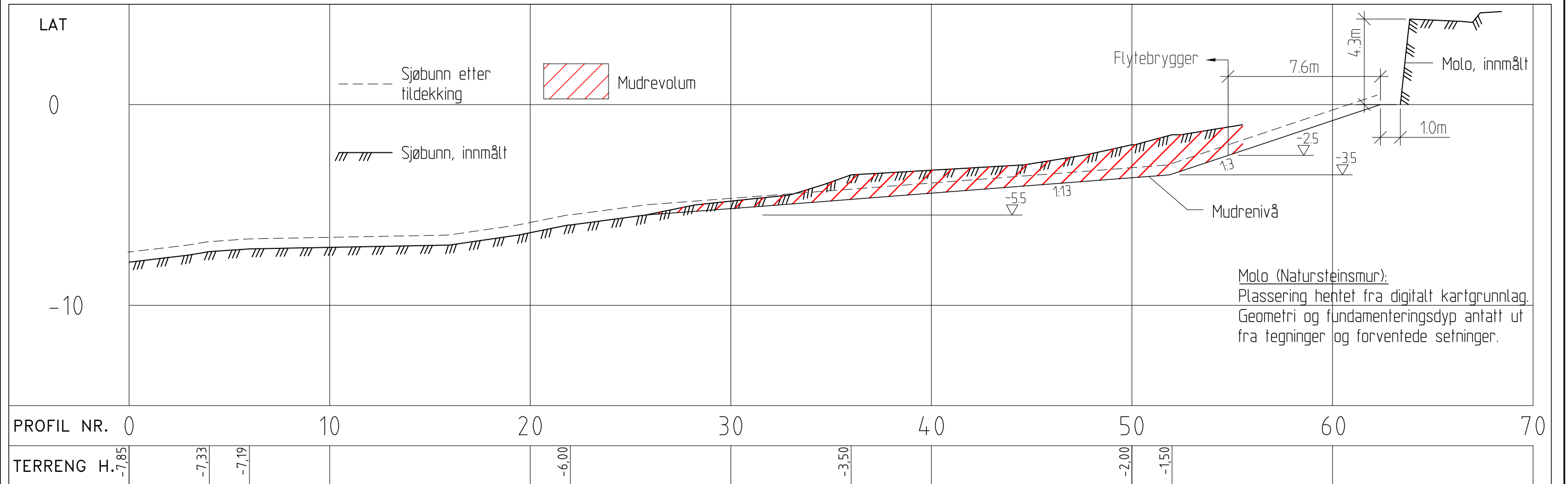
A)



B)

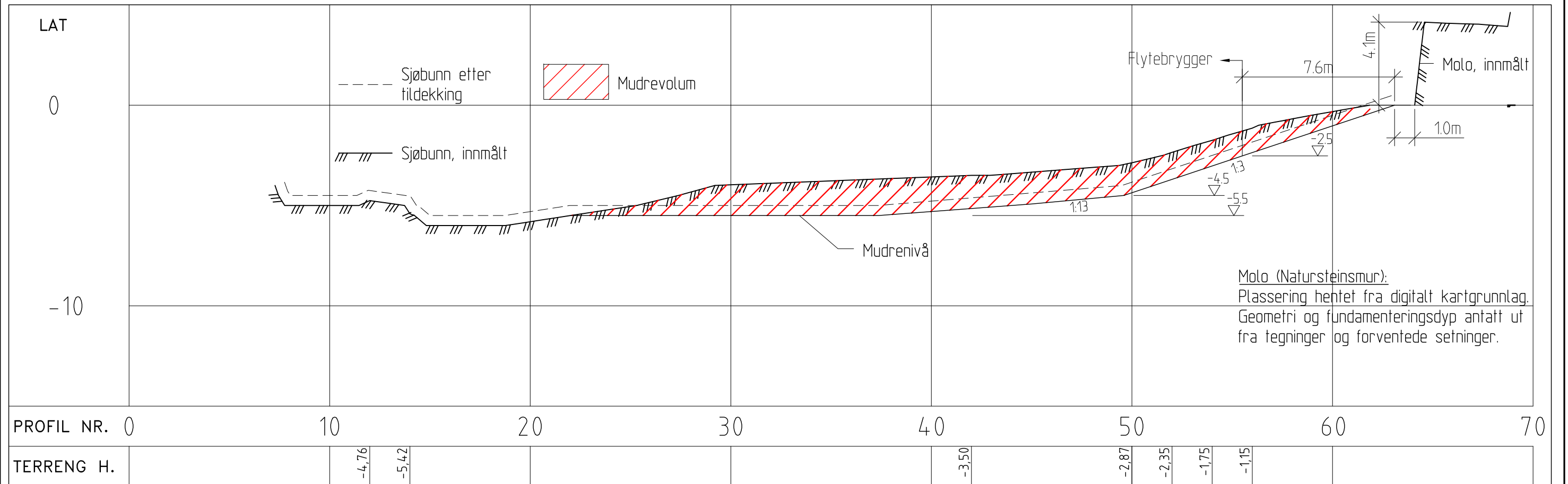


-		-	-	-	-
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
RENERE HAVN Prosjektering av tiltak		Status	-		
		Original format	A3		
		Tegningens filnavn	G:\geoparkiv\20130339\AUTOGRAF\RIT\Fagmodeller\fm_situasjonsplan.dwg		
Kanalen Prinsippskisse for volumberegninger (Se beskrivelse i kapittel 6.8.2)		Målestokk	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	



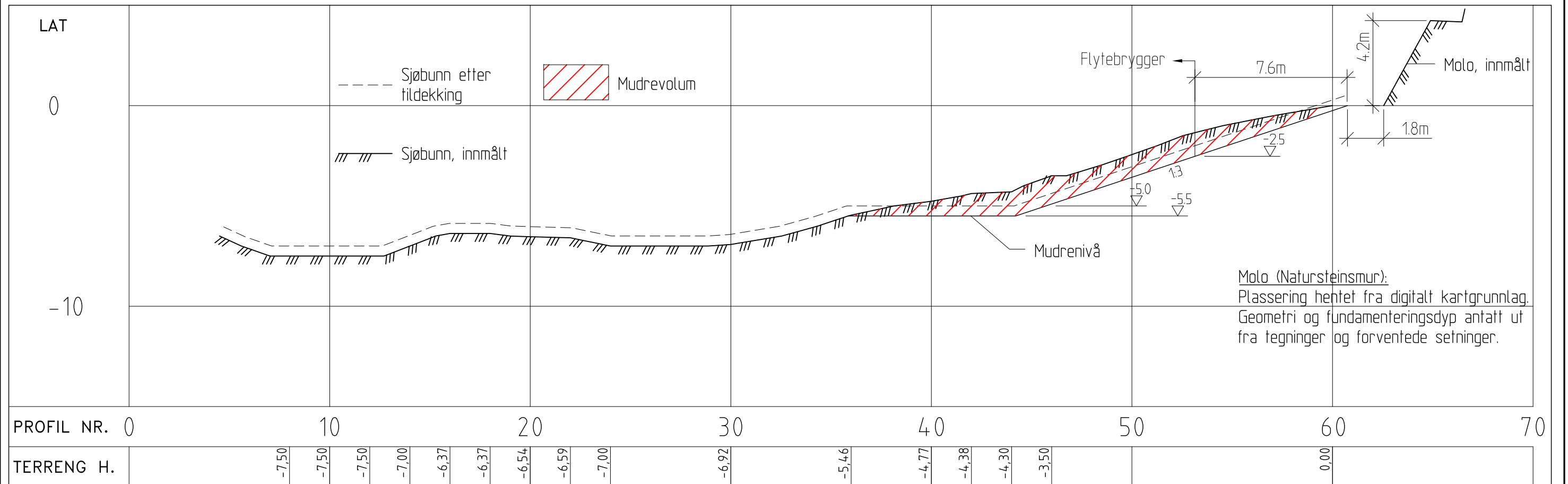
Profil A  
1:200

Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
-	-	-	-	-	-
<b>RENERE HAVN</b> <b>Prosjektering av tiltak</b>		Status	-		
Brattørbassenget Profil A		Original format	A3		
		Tegningens filnavn	G:\geotekn\20130339\AUTOGRAF\ITV\agmodeller\fm_situasjonsplan.dwg		
		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
		28.10.2013	MMe	MMo	MMo
		Oppdragsnr.	Tegningsnr.	Rev.	
		20130339	202	0	



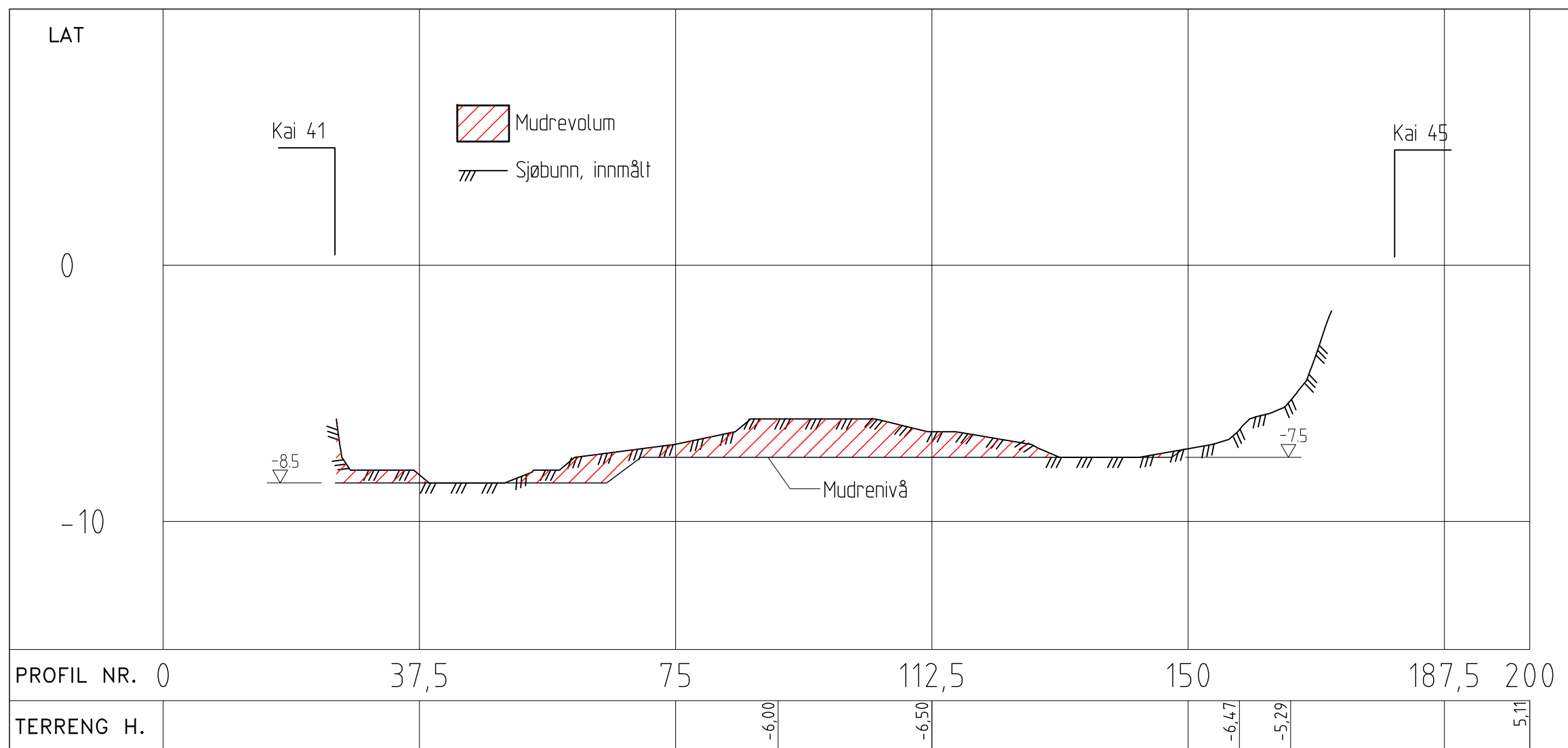
**Profil B**  
 1:200

Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
-	-	-	-	-	-
<b>RENERE HAVN</b> <b>Prosjektering av tiltak</b>		Status	-		
Brattørbassenget Profil B		Original format	A3		
		Tegningens filnavn	G:\gearkiv\20130339\AUTOGRAF\IT\Fagmodeller\fm_situasjonsplan.dwg		
		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
		28.10.2013	MMe	MMo	MMo
		Oppdragsnr.	Tegningsnr.	Rev.	
		20130339	203	0	



**Profil C**  
 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\ITV\Fagmodeller\fm_situasjonsplan.dwg</small>			
Brattørbassenget Profil C		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. <b>20130339</b>	Tegningsnr. <b>204</b>		Rev. <b>0</b>



### Profil D

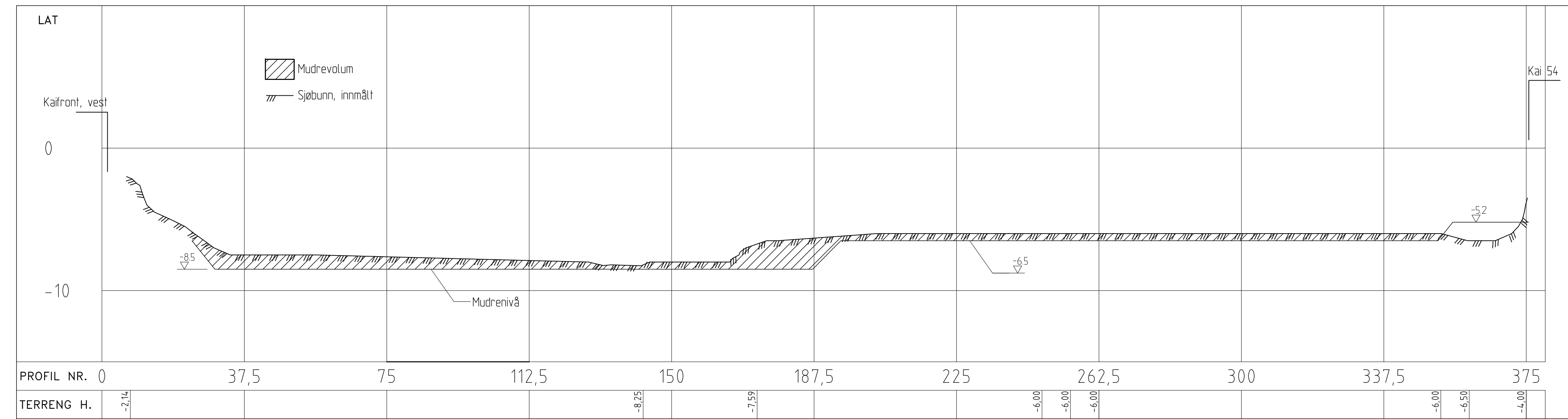
H 1:750, V 1:200

Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.		
-	-	-	-	-	-		
RENERE HAVN Prosjektering av tiltak		Status -		Original format A3		Tegningens filnavn G:\gearkiv\20130339\AUTOGRAF\IT\Fagmodeller\fm_situasjonsplan.dwg	
Nyhavna Profil D		Målestokk H 1:750 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:

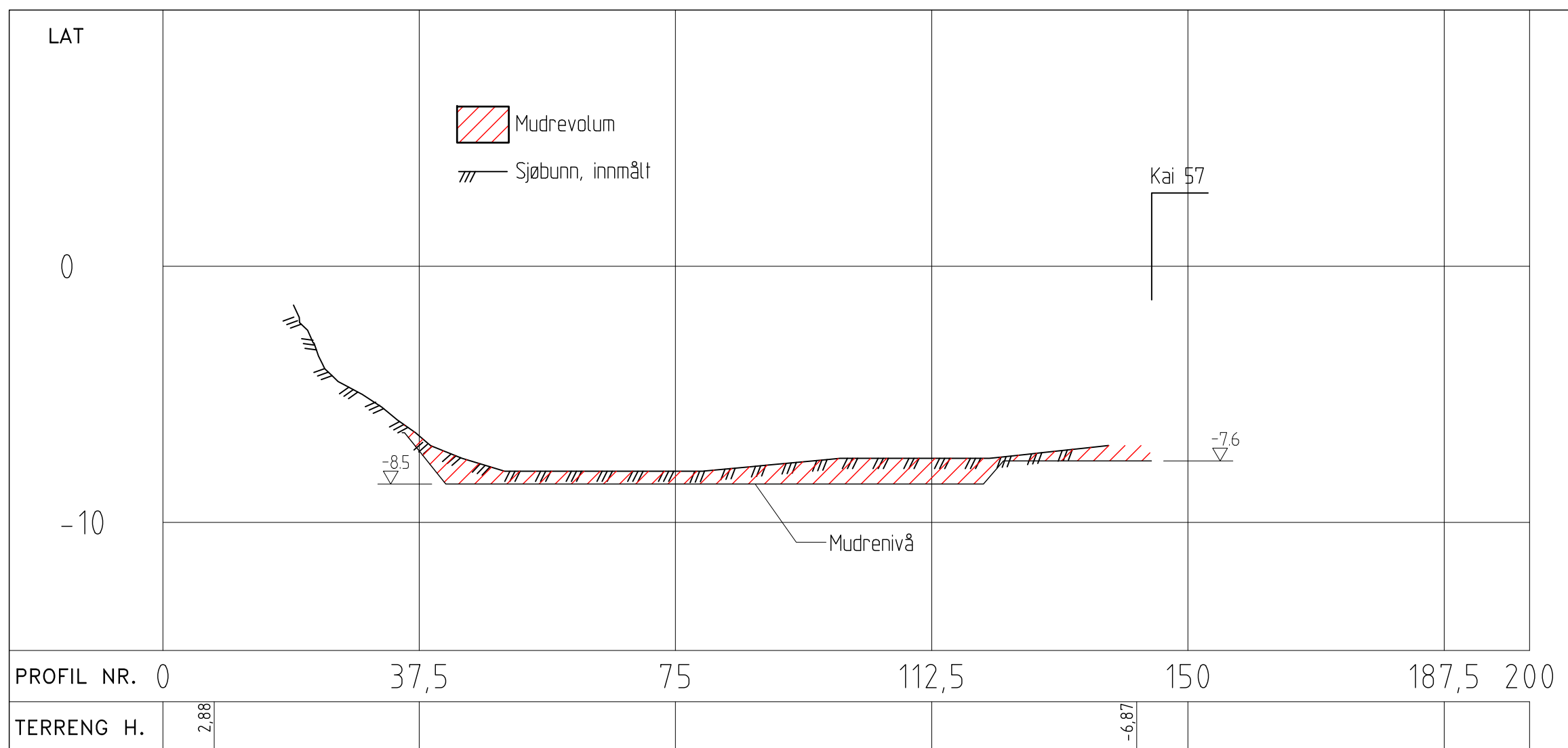
BESTEMMELSER:

HENVISNINGER:



Profil E  
H 1:750, V 1:200

Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
-	-	-	-	-	-
<b>RENERE HAVN</b> Prosjektering av tiltak		Status - Original format A3-L Tegningens filnavn <small>G:\geararkiv\20130339\AUTODRAF\RT\Vsagmodeller\fm_situasjonplan.dwg</small>			
Nyhavna Profil E		Målestokk H 1:750 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. <b>20130339</b>		Tegningsnr. <b>206</b>		Rev. <b>0</b>	



Profil F  
H 1:750, V 1:200

Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
RENERE HAVN Prosjektering av tiltak		Status -			
		Original format A3			
		Tegningens filnavn G:\geoparkiv\20130339\AUTOGRAF\ITV\figmodeller\fm_situasjonsplan.dwg			
Nyhavna Profil F		Målestokk H 1:750 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. 207	Rev. 0	



# Vedlegg C - Beregningsmetodikk for mudring

## Innhold

<b>C1 Beregninger av mudrevolum</b>	<b>2</b>
C1.1 Oppbygging av ny terrengmodell og beregning av mudrevolum	2
C1.2 Forutsetninger for terrengmodell for Kanalen	2
C1.3 Forutsetninger for terrengmodell for Brattørbassenget	2
C1.4 Forutsetninger for terrengmodell for Nyhavna	3

## **C1 Beregninger av mudrevolum**

### ***C1.1 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 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.

### ***C1.2 Forutsetninger for terrengmodell for Kanalen***

I Kanalen ble områdene Jernbanebrua-Gryta, Jernbanebrua-Ravnkloa, Ravnkløløpet, Ravnkloa, samt Ravnkloa-Skanssen 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.

### ***C1.3 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.

#### ***CI.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.

# Vedlegg D - Beregningsmetodikk for tildekking

## Innhold

<b>D1 Beregning av tildekkingsmektighet</b>	<b>2</b>
D1.1 Overordnet cap-design	2
D1.2 Erosjonsbeskyttelse	3
D1.3 Bioturbasjonslag	5
D1.4 Adveksjonslag	5
D1.5 Kjemisk isolasjonslag	6
D1.6 Usikkerhet konstruksjon	10
D1.7 Blandingssone mellom sediment og tildekking	10
<b>D2 Referanser</b>	<b>10</b>

## D1 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
- Hindre organismene som lever på sjøbunnen å komme i direkte kontakt med det forurensede sedimentet under tildekkingen og hindre at organismenes blanding av sediment (bioturbasjon) gir økt transport gjennom hele tildekkingen
- Redusere transporten gjennom tildekkingen slik at miljømålet for overflatesedimentet overholdes

Samt ta høyde for:

- 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.

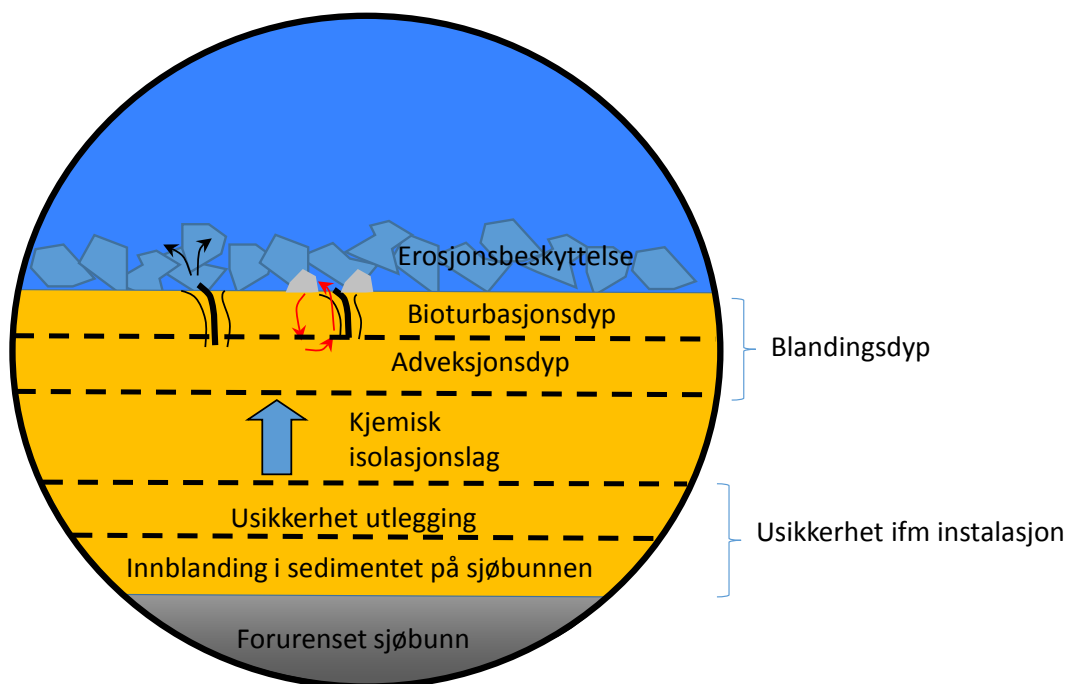
### D1.1 Overordnet cap-design

For å ivareta alle funksjonene beskrevet ovenfor kan designet av tildekkingen bygges opp slik som illustrert i Figur D1.1.

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. Estimerer 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 D1.1 Prinsipp illustrasjon for prosjektering av tildekkingslag

## D1.2 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 større enn 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. Dette anbefales for å gi tilstrekkelig sikkerhet for at erosjonsbeskyttelsen dekker hele området og beholder funksjonen også om deler av de fineste partiklene i dette laget eroderes.

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 D1.1. 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 D1.1 Beregnet propellstrøm for båter i de ulike delområdene gitt i SINTEFvurdering vedlegg E. Propellstrømmen er brukt for å vurdere behov for erosjonsbeskyttelse

Delområde:	Nyhavna				Brattørbassenget		Kanalen
	Kai 41-43, 46	Utenfor kai 44	Kai 55 (og 56)	Kai 57, Norcem-kai	Ytre basseng	Indre basseng	
<b>Kaier/lokalitet</b>							
<b>Båt</b>	Nordvåg	BOA Tyr	With Junior	Cartagena, Cork	Kystekspressen	Princess 52 e.l.	Delphia 40 e.l.
<b>Dypgående (m)</b>	5,2	5	5,3	6,8	2	1,25	2,2
<b>Propelldyp (m)</b>	3,4*	3,7	3,5	4,5*	1	0,5	0,8
<b>Motoreffekt (kW)</b>	2237	2 x 1640	1840	2 x 2500	2 x 2320	2 x 515	30
<b>Propelldiameter</b>	2,5	2,5	3,2	3,4*	0,71	0,3	0,3
<b>Vanddyp</b>	-8 LAT	-7 LAT	-6 LAT	-7,5 LAT	-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	30	70
<b>Makshastighet lavt motorpådrag (m/s)</b>	1,5	2,6	2,2	3,3	2,2	0,9	N/A
<b>Makshastighet høyt motorpådrag (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	3	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 vanddypet 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 tildekkingstykkelse enn i andre områder og kan derfor medføre behov for større mudredyp for å opprettholde seilingsdyp. Alternative måter å håndtere dette på kan være:

- 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.
- 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.

Alternativ til erosjonsbeskyttelse med stein, kan erosjonsbeskyttelsen eventuelt bygges opp av betongmattor med mindre mektighet.

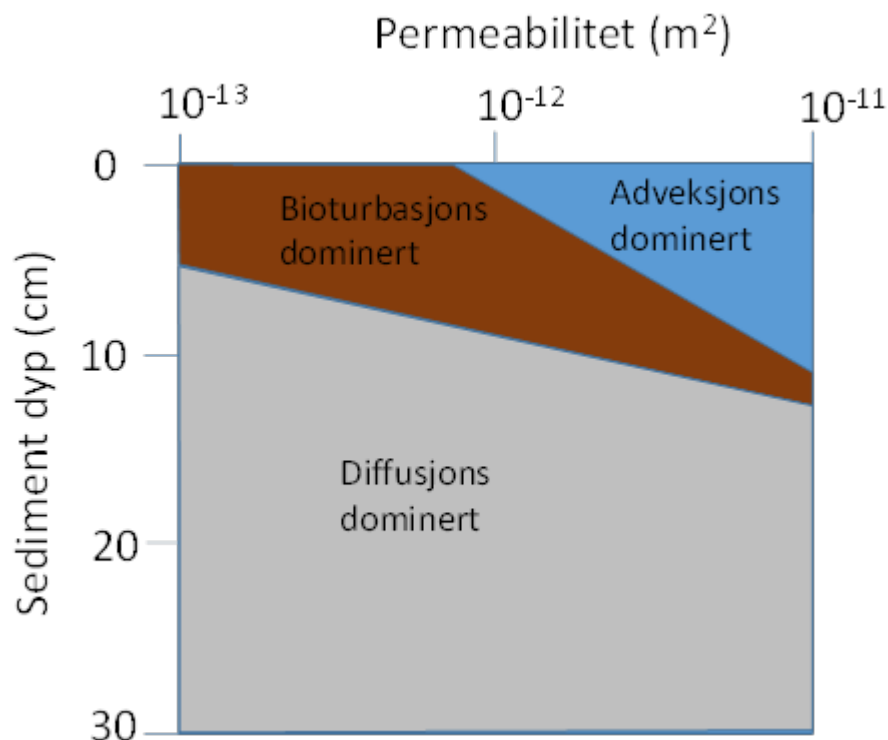
### ***D1.3 Bioturbasjonslag***

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 hovedtyngden av biomasse finnes og der det skjer en aktiv blanding av sedimentene er mindre enn 10 cm tykk.

### ***D1.4 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 D1.2. 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 30 cm ved strømhastighet på 1 – 2,5 m/s og 40 cm ved strømhastighet over 2,5 m/s.





Figur D1.2 Fra Huettel and Webster 2001, opprinnelig fra Huettel and Gust 1992 MEPS

## D1.5 Kjemisk isolasjonslag

### D1.5.1 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, PAH, 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.

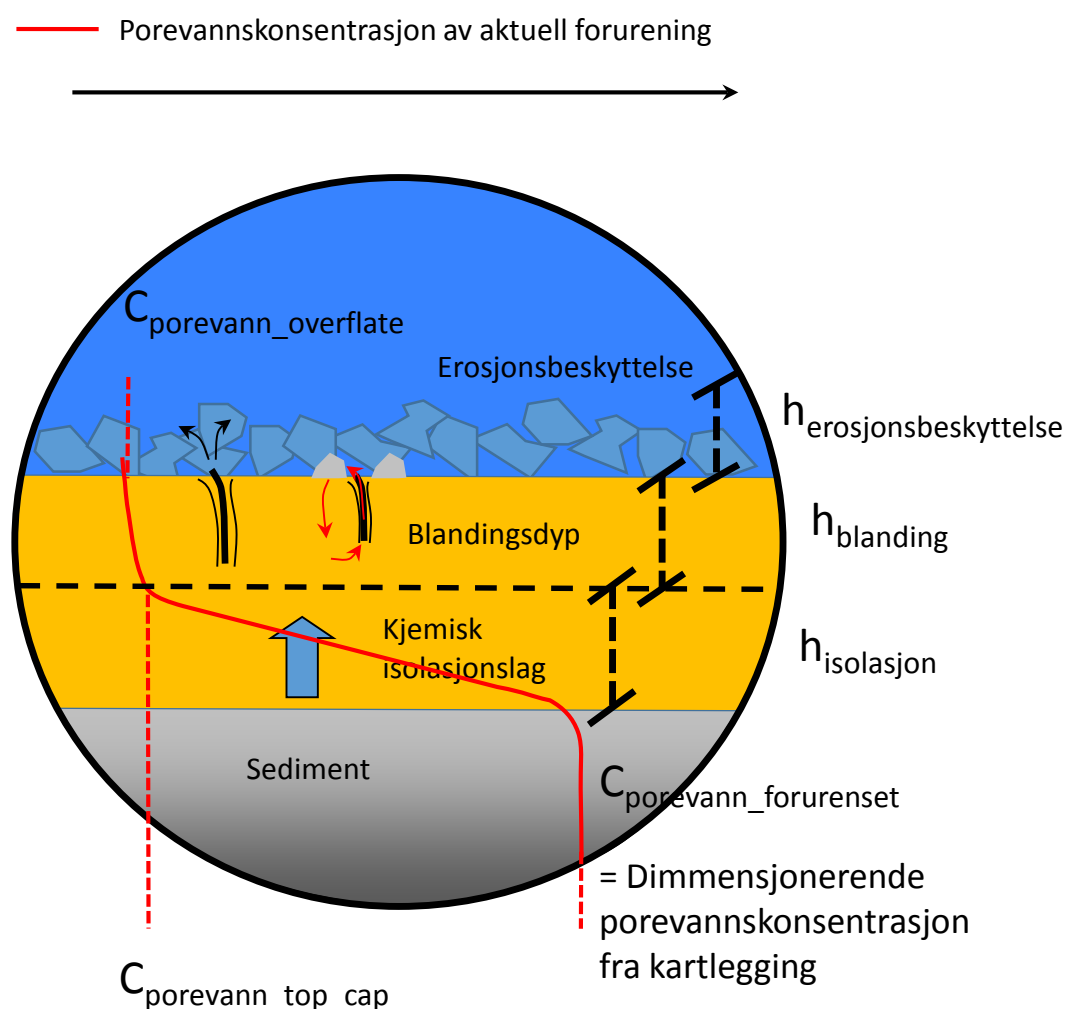
Beregningene for PCB7 gjøres basert på PCB52 som er en relativ mobil komponent. Inputparametere benyttet i beregningene er gitt i Tabell D1.2.

Tabell D1.2 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)
Gjennomstrømning (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 tildekkingsmateriale -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

### D1.5.2 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. Danny 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.



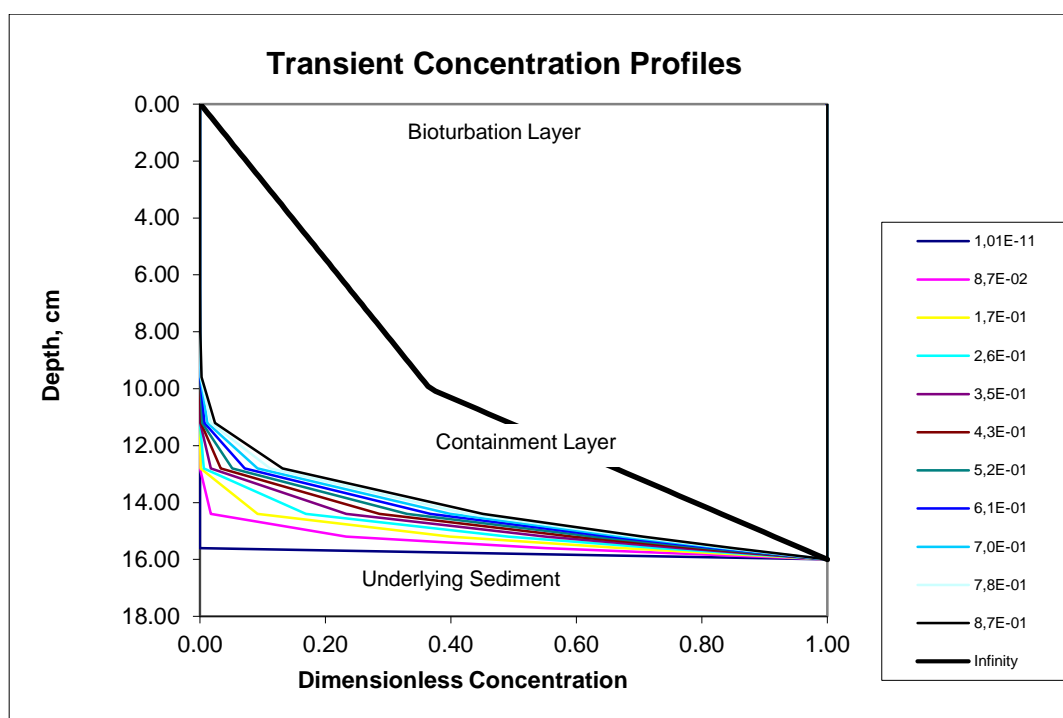
Figur D1.3 Illustrasjon av konsentrasjonsgradient og transport gjennom tildekking

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 overflatesedimentet.

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 D1.4 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

### **D1.6 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.

### **D1.7 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.

## **D2 Referanser**

HUETTEL, M., and I. T. WEBSTER (2001)

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

NGI, 2005

Capping of contaminated sediments. Rapport nr 20021244-4, datert 7. juni 2005.

NGI, 2011b

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



Dokumentnr.: 20130339-02-R  
Dato: 2014-01-31  
Rev.nr.: 0  
Vedlegg D, side 11

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



Dokumentnr.: 20130339-02-R  
Dato: 2014-01-31  
Rev.nr.: 0  
Vedlegg E, side 1

## Vedlegg E - SINTEF-rapport, skipsoppvirvling

# Notat

Foretaksregister:

## Renere havn Trondheim Oppvirvling av sediment fra båttrafikk (Revidert utgave)

**SAKSBEHANDLER / FORFATTER**Grim Eidnes  
Ragnhild L. Daae

BEHANDLING	UTTALELSE	ORIENTERING	ETTER AVTALE
------------	-----------	-------------	--------------

**GÅR TIL**

Mari Moseid, NGI

X

**PROSJEKTNR / SAK NR**

102004724

**DATO**

2014-01-10

**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. Det er en revidert utgave av et tilsvarende notat fra 2013-10-31 og inkluderer de endrede forutsetningene i Brattørbassenget etter at Hurtigbåtterminalen ble flyttet lenger ut.

### 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

Etter at Hurtigbåtterminalen ble flyttet midtveis ut i bassenget og tatt i bruk fra nyttår 2014, er det to båttyper som nå dominerer i Brattørbassenget. Kystekspresen antas fortsatt å være dimensjonerende i ytre del av bassenget, mens cabin cruisere forventes å råde grunnen i den indre delen. Data for Kystekspresen er tatt fra Daae og Rye (2011), mens *Princess 52*, med dypgående på 1,25 m og motor på 2 x 700 hk (2 x 515 kW), er brukt som dimensjonerende i indre del.

## 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)	Propelldyp (m)	Motor-effekt (kW)	Propelldiameter (m)	Vanddyb
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>Kystekspresen</i>	2,0	1,0	2 x 2320	0,71	-5 LAT
	Indre basseng	<i>Princess 52 e.l.</i>	1,25	0,5	2 x 515	0,3	-5 LAT
Kanalen		<i>Delphia 40 e.l.</i>	2,2	0,8	30	0,3	-3,5 LAT

\*) Estimat, ingen sikre data funnet

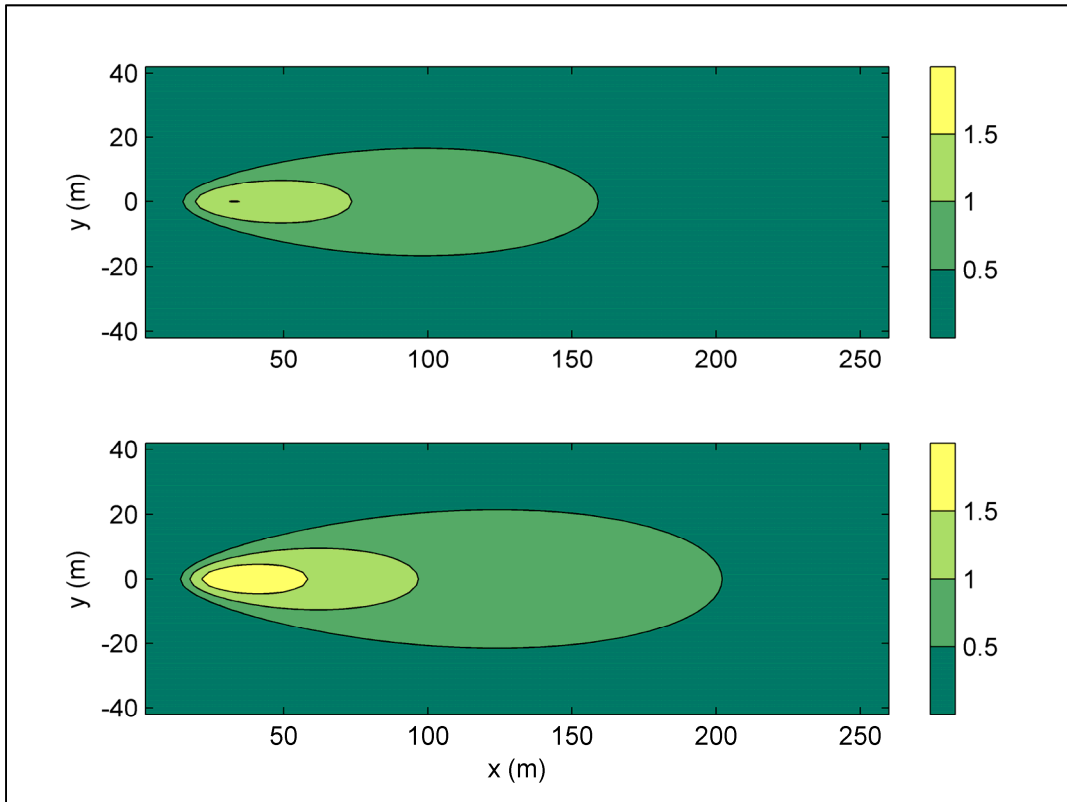
### 3 Modellresultater

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

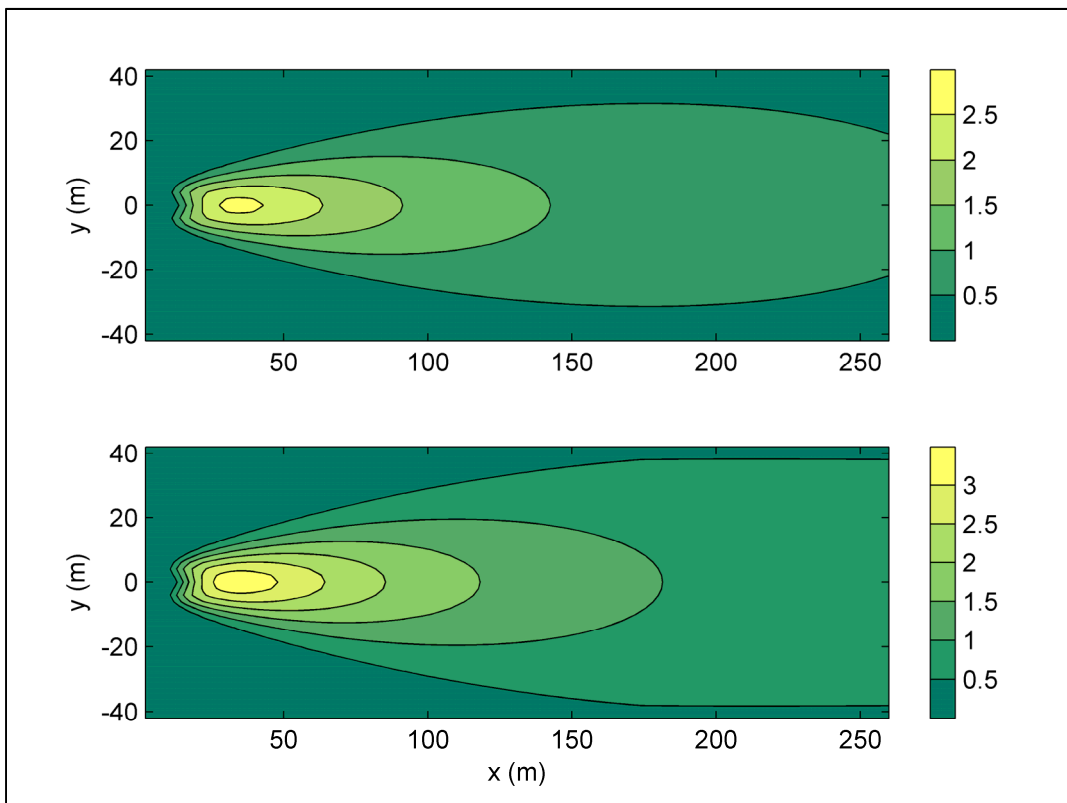
Tabell 3.1 Maksimal propellstrøm ved bunnen for gitt pådrag på motoren.

Sted	Delområde	Båt	Vanddyb	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>Kystekspresen</i>	-5 LAT	40 og 60	2,2	2,5
	Indre basseng	<i>Princess 52 e.l.</i>	-5 LAT	30	0,9	-
Kanalen		<i>Delphia 40 e.l.</i>	-3,5 LAT	70	-	0,4

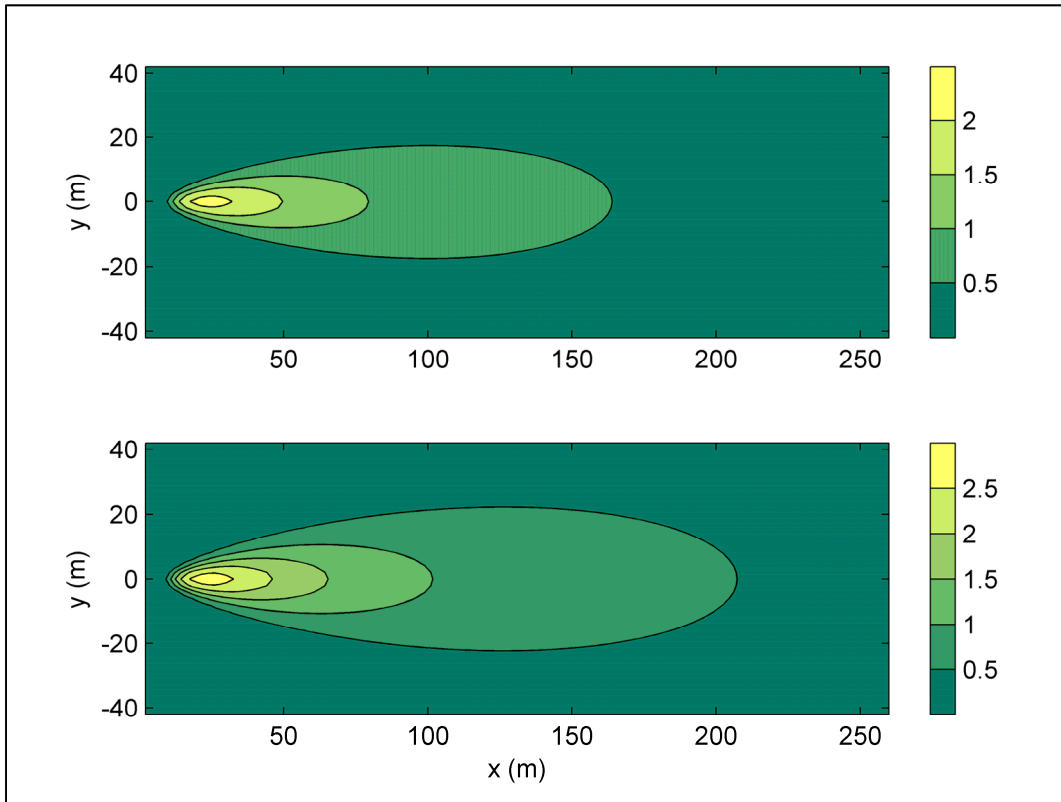
Tabell 3.1 viser resultatet av modellberegningene i form av maksimalhastigheten på propellstrålen ved bunnen for gitt pådrag på motoren. Propellstrålen er visualisert i figurene 3.1 – 3.7 med isolinjer for bunnstrømhastigheter inntegnet, mens maksimalhastigheten som funksjon av vanddypet for de forskjellige båtene er vist i figur 3.8.



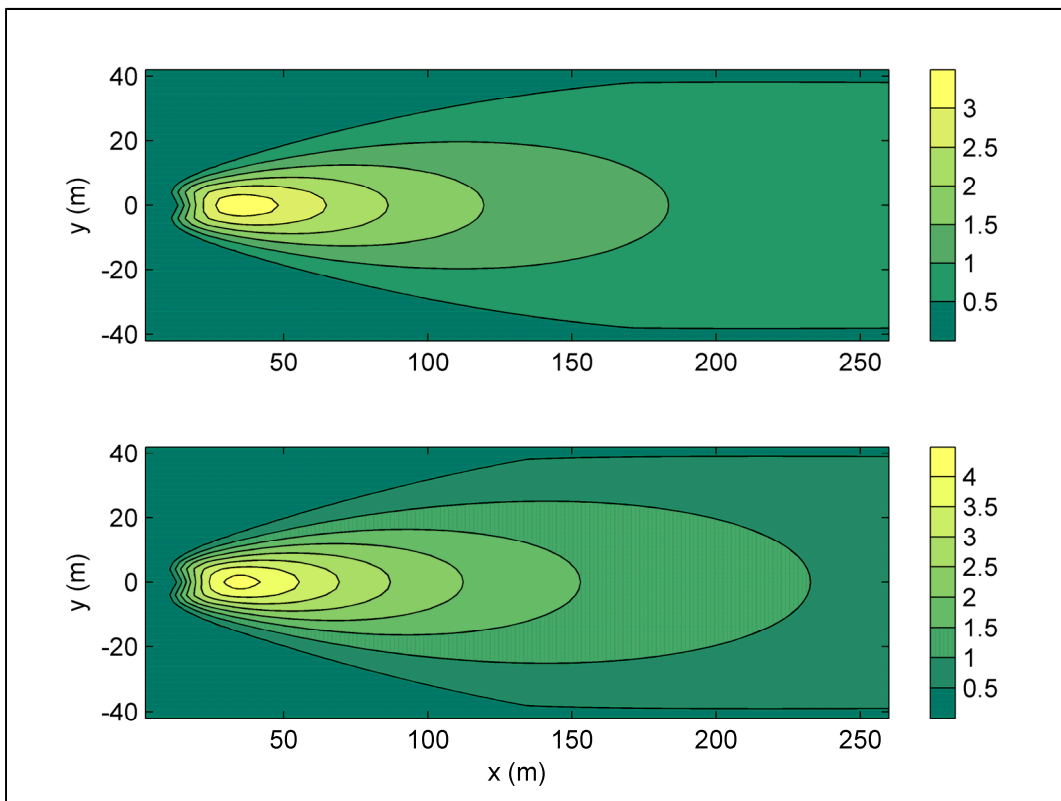
Figur 3.1. Beregnet hastighet ved bunnen (m/s) for *Nordvåg* ved 30 og 60 % motorpådrag.



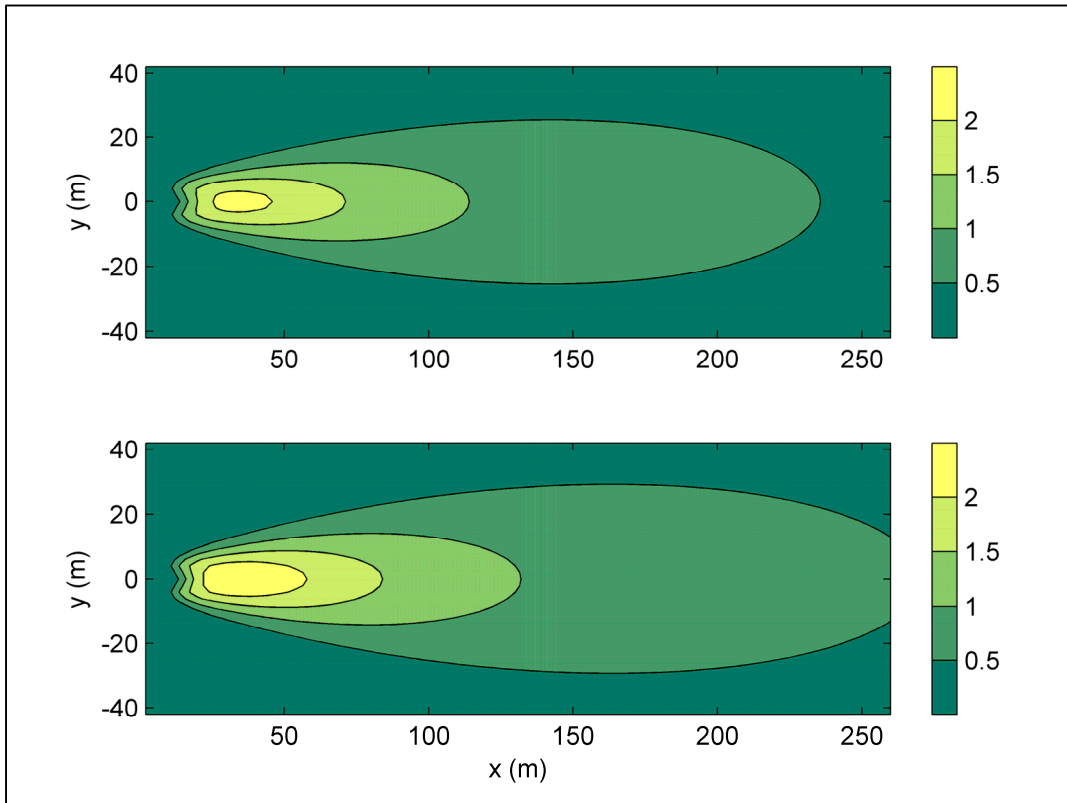
Figur 3.2. Beregnet hastighet ved bunnen (m/s) for *BOA Tyr* ved 30 og 60 % motorpådrag.



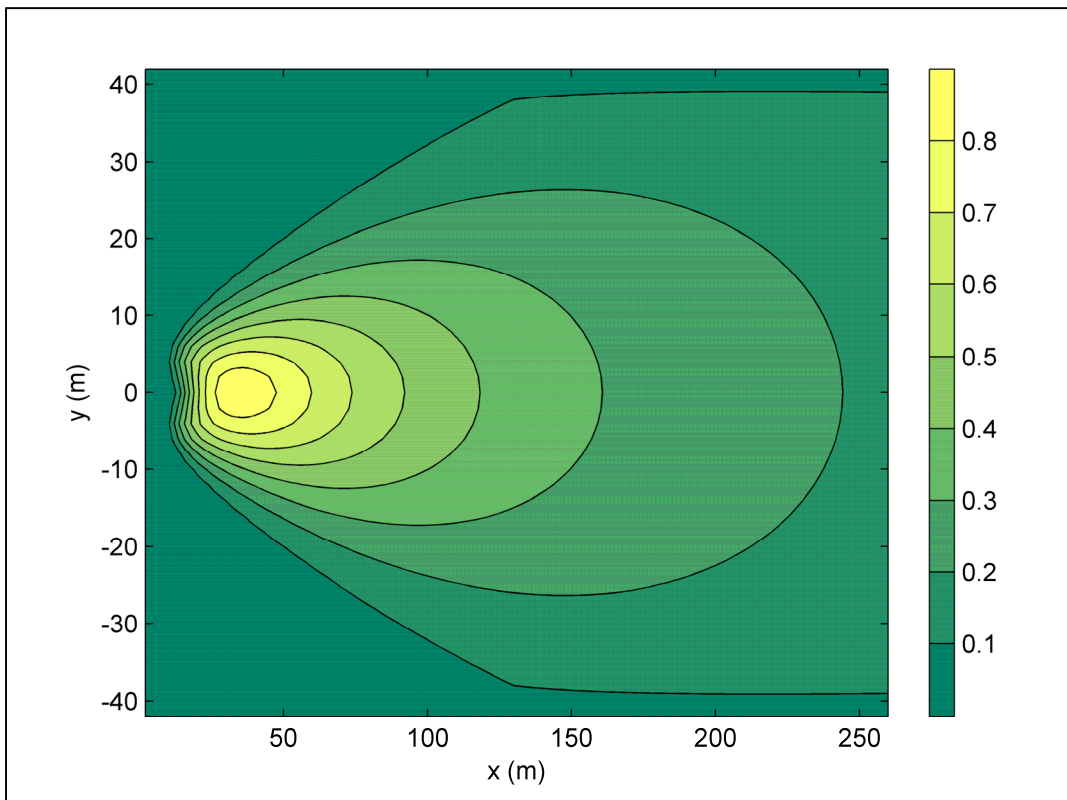
Figur 3.3. Beregnet bunnstrømhastighet (m/s) for *With Junior* ved 30 og 60 % motorpådrag.



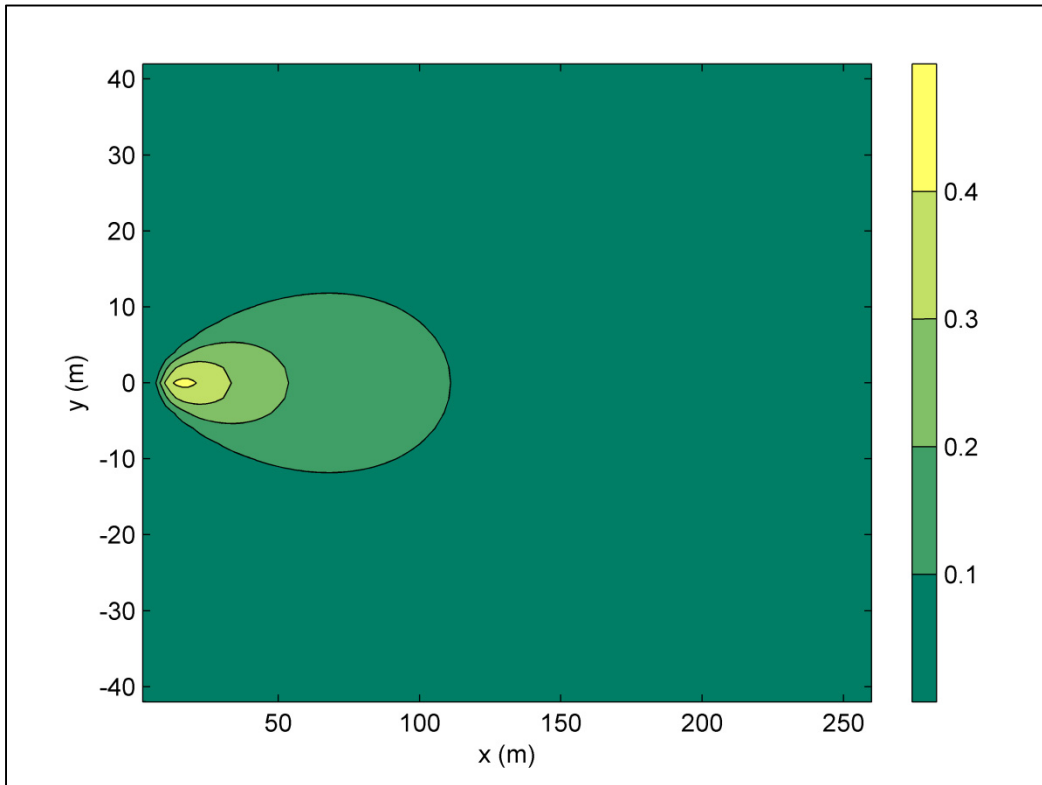
Figur 3.4. Beregnet hastighet ved bunnen (m/s) for *Cartagena/Cork* ved 30 og 60 % motorpådrag.



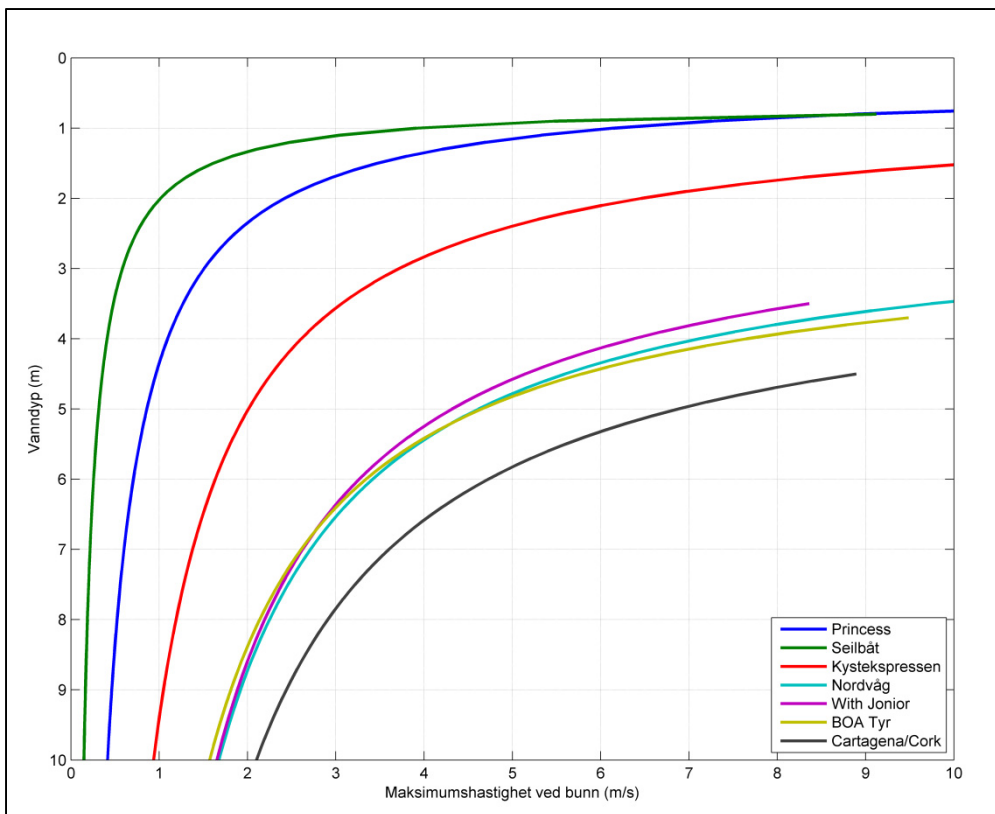
Figur 3.5. Beregnet hastighet ved bunnen (m/s) for *Kystekspresen* ved 40 og 60 % motorpådrag.



Figur 3.5. Beregnet hastighet ved bunnen (m/s) for *Princess 52* ved 30 % 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 vanndyp.

## 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
	Indre basseng	<i>Princess 52 e.l.</i>	-5 LAT	30	0,9	-	3	-
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.

# Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



Dokumentinformasjon/Document information						
Dokumenttittel/Document title Prosjektering av mudring og tildekking i Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna. Forprosjekt				Dokumentnr./Document No. 20130339-02-R		
Dokumenttype/Type of document Rapport/Report		Distribusjon/Distribution Begrenset/Limited		Dato/Date 31. januar 2014		Rev.nr.&dato/Rev.No.&date 0
Oppdragsgiver/Client Trondheim kommune						
Emneord/Keywords Forurenset sjøbunn, tiltak, tildekking, mudring						
Stedfesting/Geographical information						
Land, fylke/Country, County Norge, Sør-Trøndelag				Havområde/Offshore area		
Kommune/Municipality Trondheim				Feltnavn/Field name		
Sted/Loca.tion Trondheim				Sted/Loca.tion		
Kartblad/Map				Felt, blokknr./Field, Block No.		
UTM-koordinater/UTM-coordinates						
Dokumentkontroll/Document control						
Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001						
Rev./Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision	Egen-kontroll/ Self review av/by:	Sidemanns-kontroll/ Colleague review av/by:	Uavhengig kontroll/ Independent review av/by:	Tverrfaglig kontroll/ Inter-disciplinary review av/by:	
0	Originaldokument	MMo MKv	GBr	KE		
Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release		Dato/Date 31. januar 2014		Sign. Prosjektleder/Project Manager 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