



Rapport / Report

Pilottest tynntildekking Fagervika/Ilsvika

Sluttrapport

20120405-04-R
4. mars 2014
Rev. nr.: 2 / 20. januar 2015

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: Pilottest tynntildekking Fagervika
Dokumenttittel: Sluttrapport
Dokumentnr.: 20120405-04-R
Dato: 4. mars 2014
Rev. nr./rev. dato: 2 / 20. januar 2015

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
www.ngi.no

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: Trondheim kommune
Kontaktperson: v/Stein Ove Brandslet
Kontraktreferanse: Kontrakt datert 28.september 2012

For NGI

Prosjektleder: Mari Moseid
Utarbeidet av: Mari Moseid
Vidar Gjelsvik
Gijs Breedveld
Kontrollert av: Jean-Sebastian L' Heureux
Kyrre Emaus
Espen Eek

Sammendrag

Trondheim kommune har fått utarbeidet en tiltaksplan for forurenset sjøbunn i Trondheim havnebasseng, som foreslår tiltak i fire delområder Ilsvika, Brattørbassenget, Kanalen og Nyhavna. Planen beskriver tildekking av sjøbunnen, et tildekkingsareal på totalt 110.000 m² ned til kote -20 m, i Ilsvika. Tildekking i disse to områdene gir utfordringer grunnet stabiliteten til en bratt skrånende og stedvis ravinert sjøbunn. Tildekkingen er derfor tenkt som en tynntildekking. For å komme fram til egnet tildekkingsløsning er det derfor utført en pilottest som ser på materialsammensetning og utlegging av tildekkingsmasser i et testfelt på ca. 4.000 m². Utlegging i prøvetildekkingsfeltet har som mål å avklare om tildekkingen lar seg gjennomføre i hele tiltaksområdet i Ilsvika og hva forventet effekt vil være.

Sammendrag (forts.)



Dokumentnr.: 20120405-04-R
Dato: 2015-01-20
Rev. nr.: 2
Side: 4

Deler av området er et sensitivt område med tanke på områdestabilitet. Like sør for testfeltet ligger det en kvikkleiresone som strekker seg utover i sjøen. I forbindelse med utbygging av boligområde i Iilsvika er det utført omfattende utredning av stabilitet, som har resultert i meget strenge krav om å ikke påføre området ekstra belastning. I forbindelse med Pilottesten har dette ligget som et viktig premiss, og er grunnen til at det kun har vært aktuelt med et tynt tildekkingslag i delområdet Iilsvika.

Testforsøket viser at materialet ligger som et jevnt lag på 5-7 cm mektighet også i bratte helninger, og det konkluderes med en praktisk grense for helningsvinkel på $26,5^\circ$ som angir hvor man kan forvente at tildekkingsmaterialet vil ligge i ro. Denne grensen vil ikke påvirkes dersom mektigheten utvides til 10 cm i fullskala gjennomføringen. Sedimentarealet som har $26,5^\circ$ helning eller større er ca. 4300 m^2 av arealet grunnere enn 20 m i Iilsvika, som tilsvarer 4% av planlagt tiltaksareal på 110.000 m^2 . Dette må det tas hensyn til i detaljering og utførelse av tildekkingen. Konsekvenser av brudd over store sammenhengende flater på kritisk helning må tas i betraktning og ses i sammenheng med rekkefølgebestemmelser ved utlegging.

Pilottesten viser at tynntildekking kan ha en god tiltakseffektivitet. Det observeres ingen erosjon eller innblanding av forurensede masser i tildekkingslaget, med en mektighet på 5-7 cm, et år etter utleggingen. Tildekkingen har en stor miljøeffekt ved å hindre spredning som følge av oppvirvling og diffusjon. På lengre sikt vil bioturbasjon kunne påvirke effekten. Derfor skal en mektighet på 10 cm realiseres under fullskala tildekkingen ved å øke mengde masser som legges ut. Effektvurderingen tilsier at en tynntildekking på 10 cm kan gi en teoretisk reduksjon i forurensningsspredning og forbedring av miljøkvaliteten i topplaget på mer enn 97 %. Tar man hensyn til variasjonen i mektigheten og helningen ved utleggingen vil en fortsatt forvente en forbedring større enn 90%.

Forutsetningen for et godt resultat er:

- Jevn lagtykkelse av massene i hele tiltaksområdet også i områder med relativt sterk skråning
- Utlegging i flere omganger for å unngå innblanding av underliggende forurensede massene

Dette stiller krav til utstyr og utleggingsmetodikk samt krav til rekkefølge i fullskala-utlegging i Iilsvika.

Innhold

1	Innledning	7
2	Målsetning med prosjektet	7
3	Generelt om tildekking og tynntildekking	8
3.1	Diffusjonsberegning	8
3.2	Tildekkingstykkelse	10
3.3	Utleggingsmetoder	13
4	Forutsetninger for prosjektet	15
5	Forstudier og planlegging av testfeltet	15
5.1	Lokalisering	15
5.2	Forundersøkelser av testfelt	17
5.3	Valg av tildekkingsmateriale	20
5.4	Rekolonerinseregenskaper	21
6	Etablering av testfelt	21
6.1	Utlekking av tildekkingsmateriale i testfeltet	21
6.2	Kontroll under utførelse	22
7	Overvåking av testfeltet	23
7.1	Kontroll etter utlegging	23
7.2	Overvåking av testfelt etter 6 måneder	26
7.3	Overvåking av testfelt etter 1 år	27
7.4	Dykkerbilder sommer 2013 og høst 2014	30
8	Vurdering av helningsvinkel og skråningsstabilitet	32
8.1	Generelt	32
8.2	Helning	32
8.3	Stabilitet mot glidning	32
8.4	Stabilitet mot erosjon	33
9	Miljøeffekt av tildekkingen	34
9.1	Spredningsberegning	34
9.2	Diffusjon gjennom tildekkingslaget	35
10	Gjennomførbarhet storskala	38
11	Referanser	40

Vedlegg:

- Vedlegg A: Kartvedlegg
A-1 Situasjonsplan Testfelt
A-2 Prøvepunkter Testfelt
A-3 Prøvepunkter NTNU
A-4 Helningsvinkel over $18,4^\circ$
A-5 Helningsvinkel over $26,5^\circ$
A-6 Helningsvinkel over 30°
A-7 Helningsvinkel over $18,4^\circ$ for Fagervika og Ilsvika
A-8 Helningsvinkel over $26,5^\circ$ for Fagervika og Ilsvika
A-9 Helningsvinkel over 30° for Fagervika og Ilsvika
- Vedlegg B: Feltrapport etterkontroll 6 mnd.
- Vedlegg C: Feltrapport etterkontroll 1 år
C-1 Feltrapport fra sedimentprøvetaking
C-2 Feltrapport ROV-inspeksjon
- Vedlegg D: Kontroll- og overvåkingsprogram for tildekking

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

Trondheim kommune har fått utarbeidet en tiltaksplan for forurensning i Trondheim havnebasseng. Tiltaksplanen foreslår tiltak i fire delområder Ilsvika, Brattørbassenget, Kanalen og Nyhavna. Planen beskriver tildekking av sjøbunnen, et tildekkingsareal på totalt 110.000 m² ned til kote -20 m, i Fagervika/Ilsvika nord og Ilsvika øst (NGI/DNV, 2011). Tildekking i disse to områdene gir utfordringer knyttet til valg av tildekkingsmateriale og mektighet grunnet stabiliteten til en bratt skrånende sjøbunn. Tildekkingen er derfor tenkt som en tynntildekking. For å komme fram til egnet tildekkingsløsning er det derfor utført en pilottest med utlegging av tildekkingsmasser i et testfelt på ca. 4.000 m². Testfeltet ligger i et område med sterkt skrånende bunn. Deler av feltet ligger i en tidligere rasgropp og har tydelige tegn på erosjon med en ravinert sjøbunn. Dette stiller krav til både utleggingsmetodikk og valg av tildekkingsmaterialet.

Målsetningen med pilotstudiet er å vurdere: 1) den fysiske og kjemiske stabilitet av sedimentene i området som er sterkt påvirket av avgangsmassene fra Killingdal Gruber, 2) hvordan den fysiske stabiliteten av sedimentene påvirkes av en tynntildekking på skrånende terreng, 3) hvordan det ville være mulig å legge ut et jevnt tildekkingslag, 4) hvordan stabiliteten av tildekkingslaget utvikles over tid (bæreevne, erosjon), 5) effekten av tynntildekkingen i forhold til reduksjon i vannkonsentrasjon og tilgjengelighet/frigjøring av miljøgifter fra sedimentene, 6) den forventede effekten av fullskala tildekking i området (NGI, 2012a).

Denne sluttrapporten for pilottesten sammenfatter forstudier og kontrollmålingene som har blitt gjort underveis og gir en vurdering av forventet effekt av tiltaket og gjennomførbarhet for tildekking i hele tiltaksområdet.

2 Målsetning med prosjektet

Pilottesten er et forskningsprosjekt hvor hovedproblemstillingene presentert i prosjektplanen i 2012 var følgende (NGI, 2012a):

- Hvordan er den fysiske og kjemiske stabilitet av sedimentene i området som er sterkt påvirket av avgangsmassene fra Killingdal Gruber?
- Hvordan vil den fysiske stabiliteten av sedimentene påvirkes av en tynntildekking på skrånende terreng?
- Hvordan vil det være mulig å legge ut et jevnt tildekkingslag?
- Hvordan er den langsiktige stabiliteten av tildekkingslaget (bæreevne, erosjon)
- Hvilken effekt forventes av tynntildekkingen i forhold til reduksjon i vannkonsentrasjon og tilgjengelighet/frigjøring av miljøgifter fra sedimentene
- Hva vil den forventede effekten av fullskala tildekking i området være?

Dette har vært forutsetninger for vurdering av metoder, analyseprogram og kontroll under planlegging og gjennomføring av pilottest-prosjektet.

Undersøkellesprogrammet samt planer for utførelse har imidlertid blitt justert med bakgrunn i resultater fra undersøkelser og kunnskap om området gjennom feltundersøkelser, analyser og observasjoner. I tillegg har erfaringer knyttet til tidligere gjennomførte prosjekter vært grunnlag for endringer. Hovedformålet med å vurdere om en tildekking i et bratt og ravinert området kan gjennomføres kan gjennom denne testingen sies å være oppfylt.

3 Generelt om tildekking og tynntildekking

Tildekking av forurenset sjøbunn gjøres for å redusere kontakten mellom bunnfauna og vannet over disse med forurensete massene. Før tildekking spres forurensning på grunn av biodiffusjon og oppvirvling. Etter tildekking vil transport fra forurensete masser via diffusjon være sterkt redusert i forhold til før tildekking. Tynntildekking har vært utprøvd i forskningsprosjektet OPTICAP som ser på tynntildekking med aktive og passive (uten spesifikke bindingsegenskaper) materialer for å hindre spredning av organiske miljøgifter (NGI, 2007). Bakgrunnen for prosjektet var å se på mulige tiltaksløsninger for store sedimentarealer hvor mudring og isolering (tradisjonell tildekking) vil medføre et betydelig inngrep i fjordområdet og medføre stor ressursbruk og store kostnader. I tillegg vil tynntildekking være aktuelt der det av tekniske årsaker ikke er mulig å legge ut et tildekkingslag i full isolasjonstykkelse (ca. 0,5 m). Tynntildekking forventes å ha mindre negativ effekt på bunnfaunaen og vil også koste mindre enn både mudring og isolasjonstildekking.

3.1 Diffusjonsberegning

Tildekkingslaget skal redusere transport som følge av diffusjon fra forurenset sjøbunn til vannet over. Dette skjer ved at tildekkingslaget sørger for et tykkere lag med stillestående vann der advektiv transport er ubetydelig og diffusjon derfor er viktigste transportmekanisme (Figur 1). Diffusjonsfluks av miljøgifter er omvendt proporsjonal med diffusjonsveien. Diffusjonsvei uten tildekking (diffusivt grenselag mellom sediment og vannet over, δ) er i størrelsesorden 1 mm. Et isolasjonslag på 10 cm vil derfor kunne redusere transport fra de forurensete massene med 99 %. Denne effekten er en ren fysisk effekt av et tykkere lag som miljøgiftene må diffundere gjennom for å transporteres til vannet over tildekkingen. Likning 1 i faktaboksen under beskriver størrelsen på spredningsfluks (F) på grunn av diffusjon, som reduseres på grunn av tildekkingslaget (NGI, 2005).

$$F = D \cdot \frac{C_{\text{porevann}} - C_{\text{sjøvann}}}{\Delta z} \quad (1)$$

der

D er diffusjonskoeffisienten; i vann: $D = D_m$ (molekylær diffusjonskoeffisient), i porevann i tildekkingslaget: $D = \varepsilon^{4/3} \times D_m$ (ε = porøsitet).

C_{porevann} = konsentrasjonen av miljøgifter i porevannet

$C_{\text{sjøvann}}$ = konsentrasjonen av miljøgifter i vannet over sedimentet

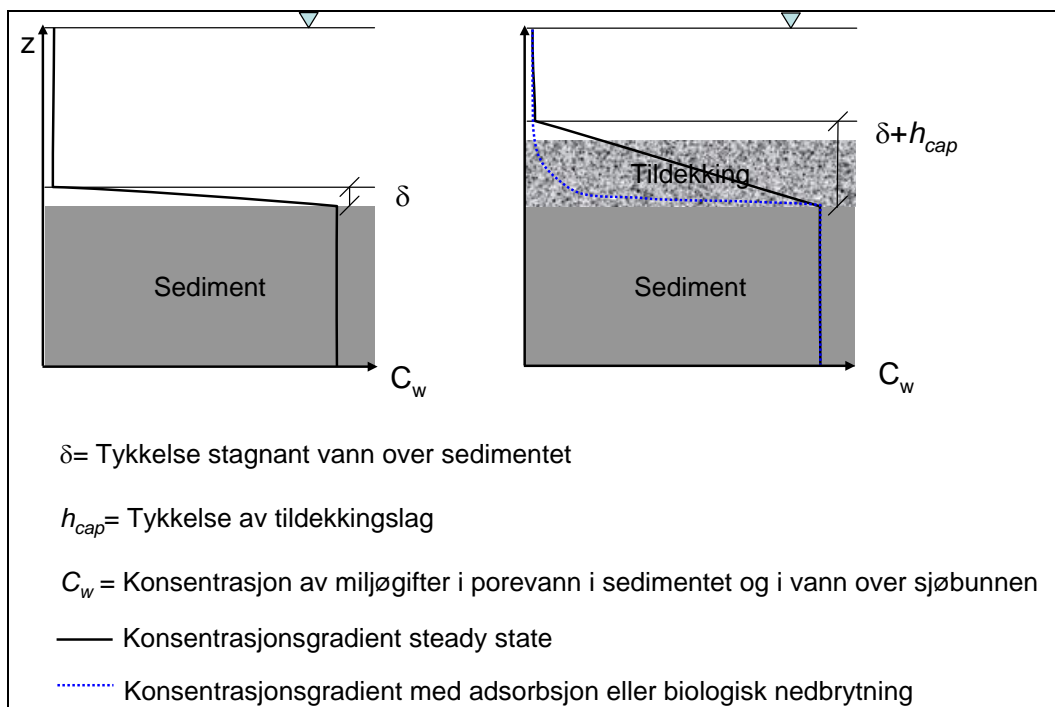
Δz = lengden på diffusjonsveien

Uten tildekking:

$\Delta z = \delta$

Med tildekking

$\Delta z = h_{\text{cap}} - \text{bioturbasjonslag}$



Figur 1: Transport av miljøgifter fra forurenset sediment med og uten tildekking (NGI, 2005).

Studier av effekten av tildekkingen gjennomført av NGI, viser at 1 cm uforstyrret tildekking (uforstyrret av for eksempel bioturbasjon) kan redusere transport av enkelte miljøgifter med opptil 90 %. Disse resultatene stemmer overens med analytiske modeller for diffusjonstransport gjennom tildekkingslag (Eek et al. 2007).

3.2 Tildekkingsstykkelse

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
- Redusere transporten gjennom tildekkingen slik at miljømålet for overflate sedimentet overholdes

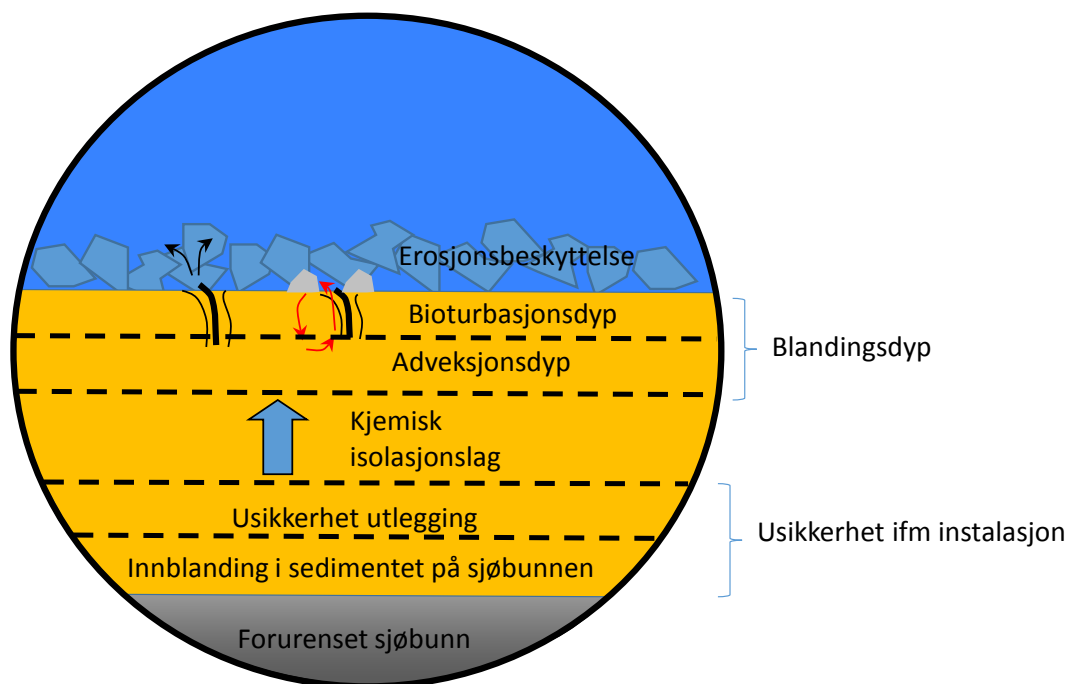
Samt ta høyde for:

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

For å ivareta alle funksjonene beskrevet ovenfor kan designet av tildekkingen bygges opp slik som illustrert i Figur 2, dette er utførlig beskrevet i NGIs rapport for prosjektering av tiltak i Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna (NGI, 2013c).

Den totale tildekkingsstykkelsen basert på tykkelsen av de ulike lagene blir derved:

$$h_{cap_design} = h_{erosjon} + h_{bioturbasjon} + h_{adveksjon} + h_{kjemisk_isolasjon} + h_{installasjon}$$



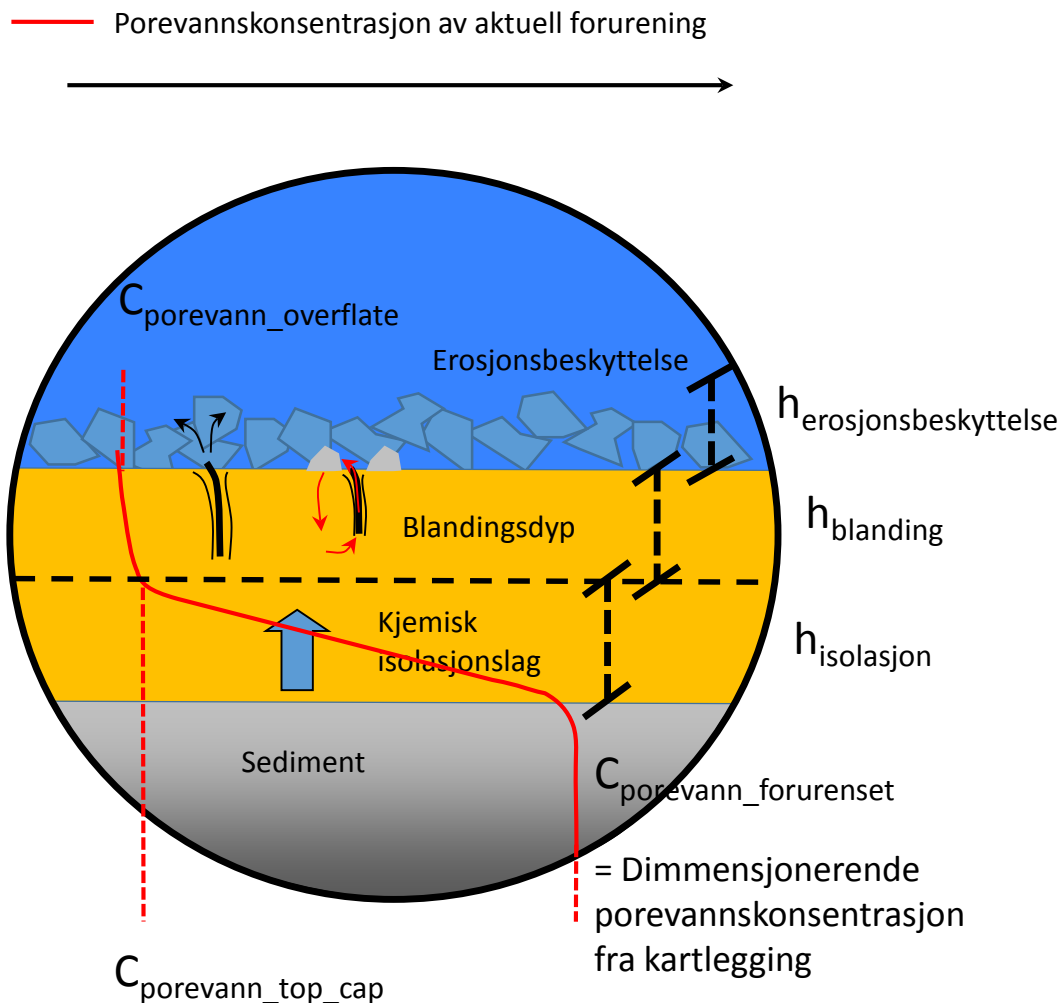
Figur 2: Prinsipp illustrasjon for prosjektering av tildekkingslag.

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.

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

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.

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. Beregning av transport gjennom tildekkingslaget kan estimeres med en analytisk modell (Lampert og Reible, 2009). Denne modellen beregner transport gjennom et isolasjonslag, et bioturbasjonslag og fra tildekkingsoverflaten og ut i vannet.

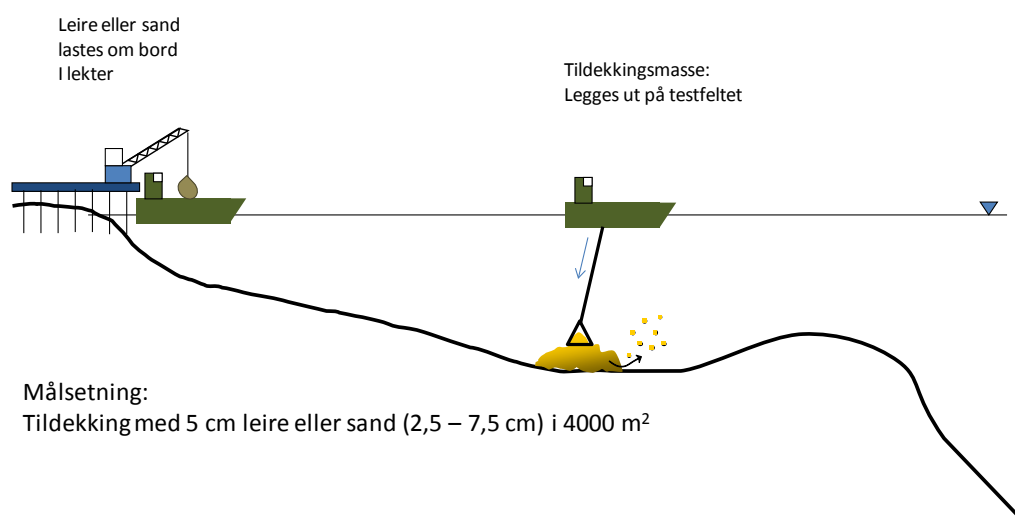


Figur 3: Illustrasjon av konsentrasjonsgradient og transport gjennom tildekking.

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. Til slutt er det bare den forlengede diffusjonsveien gjennom tildekkingen som begrenser transporten og dermed konsentrasjonen i overflate sedimentet. 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.

3.3 Utleggingsmetoder

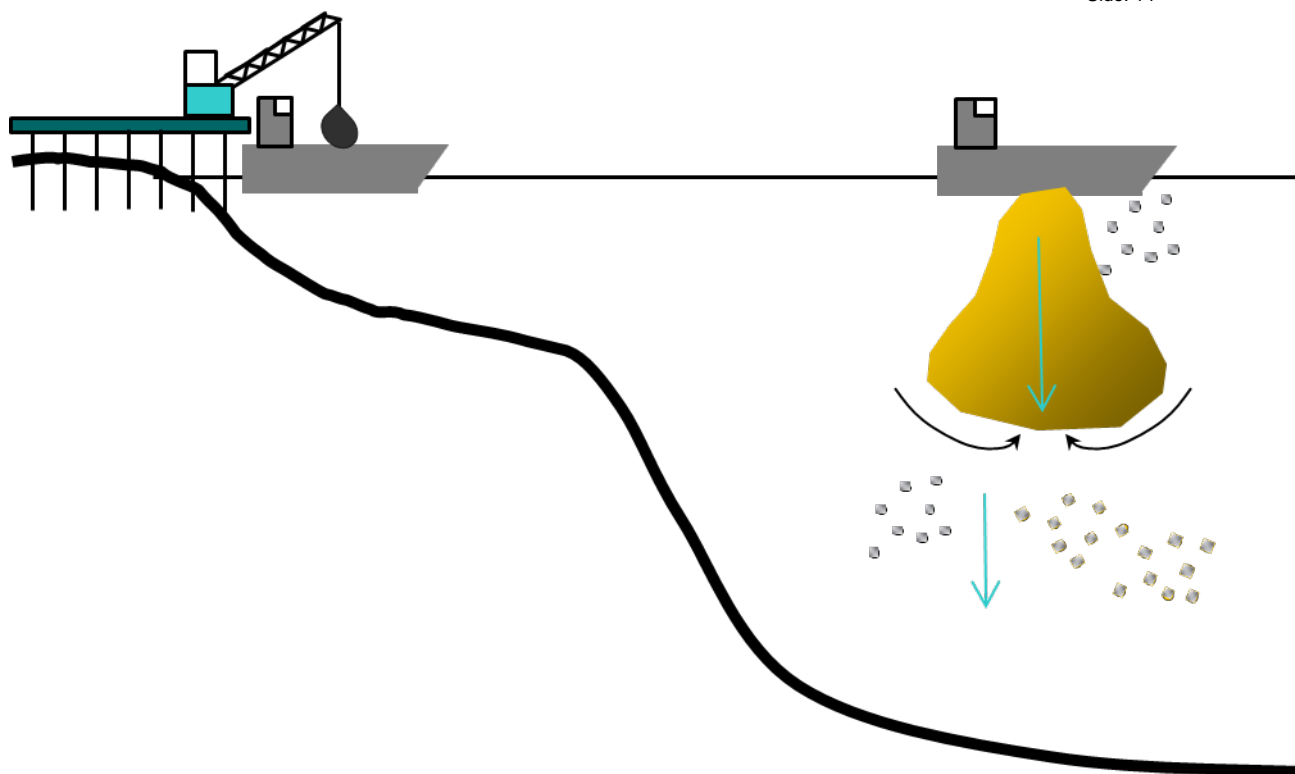
Planlagt utleggingsmetodikk var å benytte om mulig leirmasser fra et lokalt mudreprosjekt (Grilstad marina). Metodikken som ble vurdert for å gjenbruke rene mudremasser består i å transportere mudremasser på en lekter hvor massene deretter behandles og legges ut med pumping fra et sugemudringsfartøy. Alternativt kan en sugemudringsfartøy anvendes til både opptak og utlegging av leire eller sand. Massene legges deretter ut ved å pumpe massene fra båtens lasterom via pumpe-slange til utslipp ca. 5 m over bunnen (Figur 4).



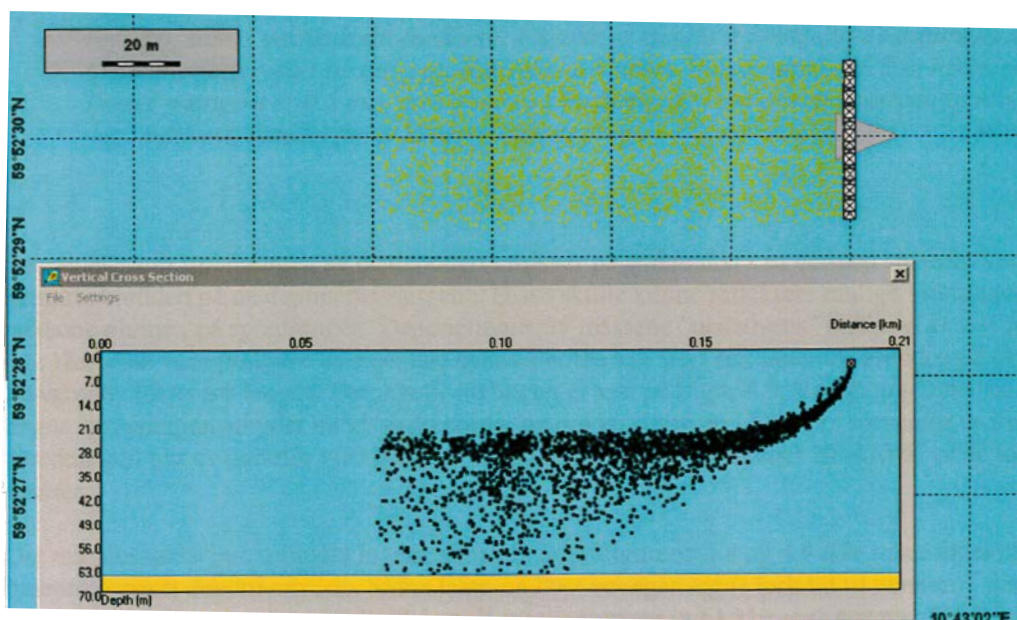
Figur 4: Illustrasjon av hvordan tildekkingen kan gjennomføres. (Eksempel hentet fra Opticap)

Under utredning av metodikk for etablering av testfeltet ble det i planlegging av gjennomføringen vurdert at rigging av et mindre utleggingsfartøy med utlegging fra sjøoverflaten ville gi et like bra resultat mhp utleggingskriterier. En slik utlegging ville gi en konsentrert og skånsom utlegging for det begrensede arealet som testfeltet utgjør. Utlegging fra overflaten vil ved store dyp kunne gi en økt spredning, i forhold til pumping gjennom slange over sjøbunnen. Ved en vanndybde på testfeltet på 15-20 m dybde vil ikke spredningseffekten ha samme innvirkning som f. eks. beskrevet i forbindelse med utlegging av sand i Oslo Havn der vanndybde var 60 m (figur 5 og 6). Figur 6 viser at masser som slippes fra overflaten går hovedsakelig samlet ned til sjøbunnen i de øvre 20 m. Dermed forventes ingen store forskjeller som følge av utleggingsmetoden under pilottesten.

For å sikre jevn belastning av området skal massene som legges ut ligge i et jevnt lag over hele forsøksfeltet. Materialet ble lagt ut parallelt med dybde-konturene i en 20 m bred stripe mellom kote - 15 og - 20.



Figur 5: Utlegging med split-lekter fra sjøoverflaten.



Figur 6: Modellering av spredning fra splitlekter ved tildekking (SINTEF, 2008).

4 Forutsetninger for prosjektet

Pilottesten skal vurdere egnethet av ulike materialer (leire og sand) som tildekking for sterkt metall forurenset sediment utenfor Killingdal grubers oppredningsverk i Trondheim. Formålet er å legge opp til en metodikk som ligger nært opptil det man ville gjort ved en fullskala utlegging.

Forsøksfeltet skulle etableres slik at det dekket et 4000 m² stort areal og plasseres i relativt grunt område (< 20 m vanddyp). Forskningsfeltet var planlagt overvåket i minst 1 år.

Viktige forurensing i sedimentet utenfor Killingdal er tungmetaller (hovedsakelig As, Pb, Cu, Zn).

I forbindelse med vurdering av leire som tildekkingsmateriale var det et ønske om å kunne benytte oppmudret ren leire fra Grilstadjæra, hvis prosjektframdrift tilsa at dette var gjennomførbart.

Fordeler ved valg av de ulike materialer er:

- Leireholdig materiale kan mudres lokalt og gir begrenset transportbehov. Om mulig kombineres med mudreprosjekt ved Grilstad.
- Sandig materialet forventes å ha bedre sedimentasjonsegenskaper enn leire og kan øke stabiliteten av overflaten mot erosjon

Leire forventes til å ha en effekt på metall-mobiliteten gjennom sorpsjon, mens sand vil være en passiv fysisk barriere.

5 Forstudier og planlegging av testfeltet

5.1 Lokalisering

Testfeltet ble planlagt lagt i en skråning like utenfor Killingdal Gruber der det er meget høye konsentrasjoner av tungmetaller (As, Pb, Cu og Zn). Et felt på 4 000 m² var planlagt dekket til med suspendert leire eller sand.

Testfeltets lokalisering er planlagt for å få data fra ulike problemstillinger knyttet til tildekkingsområdets bunntopografi. Følgende tre problemstillinger var sentralt i valg av lokaliseringen til testfeltet:

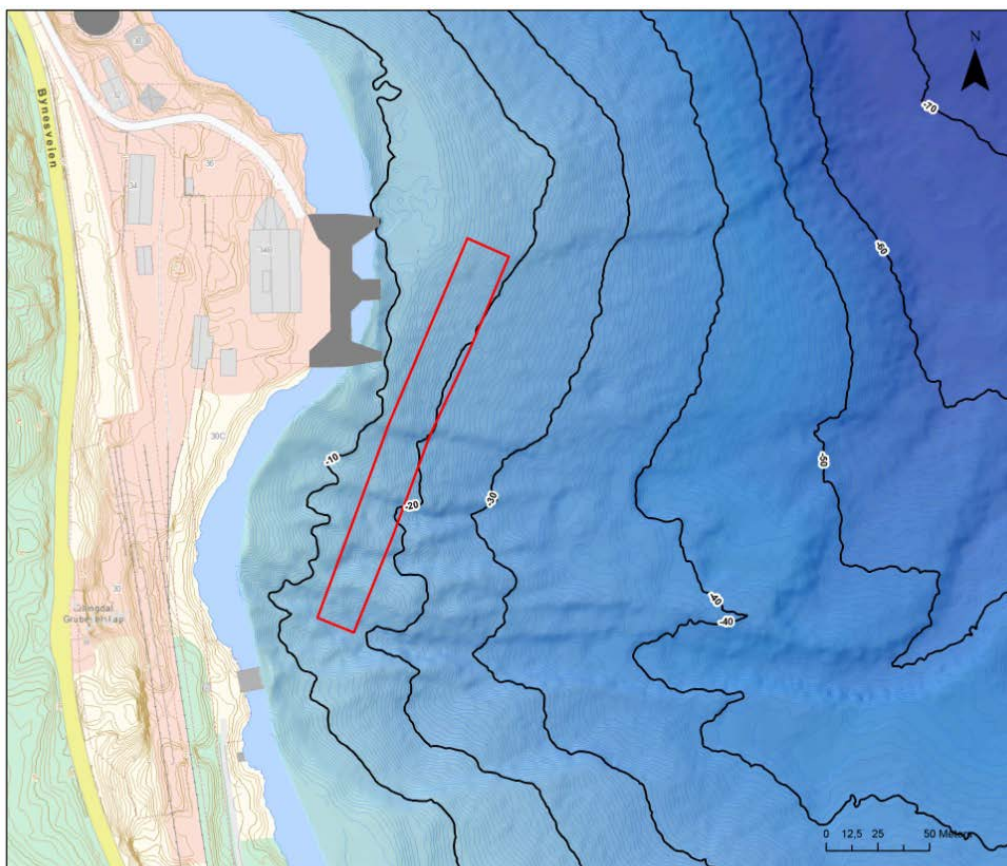
- Erosjonsområde
- Område innenfor en undersjøisk rasgrop fra 1950
- Område utenfor rasgrop

Forsøksfeltet ble etablert rett utenfor den tidligere utskipingskaia til Killingdal gruber og det strekker seg innover mot Ilsvika, vist i Figur 7. Feltet er plassert på en slik måte at det ikke er i konflikt med båttrafikk i tilknytning til Killingdal kai (NGI,

2012b). Det er noe båttrafikk inn til denne kaia, ellers er det begrenset båttrafikk i Fagervika-området. Området som er tildekket har meget variert sjøbunnstopografi, som enkelte steder er ravinert. Basert på beregninger fra dybdekart for området varierer helningsvinkelen i størrelsesorden 10 - 20° opptil 40° langs gamle erosjonskanter i testfeltet. Dette tilsvarer sjøbunnsbelning flere steder i Fagervika og Iilsvika. Siden plasseringen av feltet ble justert ble området utenfor rasgrop, med slakere sjøbunn ikke inkludert i området, slik at følgende problemstillinger ble dekket av det endelige feltet:

- Erosjonsområde
- Område innenfor en undersjøisk rasgrop fra 1950

For å få realisert dette ble forsøksfeltet etablert som en stripe på 20 x 200 m grunnere enn kote -20 m. Hele testfeltet på 4.000 m² ble prosjektert med et tildekkingslag med 0,1 m mektighet, som tilsvarer ca. 400 m³ (teoretisk mengde).



Figur 7: Plassering av forsøksfeltet pilottest i Fagervika (rød ramme). (Sjøbunnsdata fra GeoSubSea). Begrenset datagrunnlag langs land angitt med blå farge.

5.2 Forundersøkelser av testfelt

For å overvåke utviklingen av testtildekkingen samt måle effekt er det behov for grundige målinger i forkant av tildekkingen. Forundersøkelser omfattet undersøkelser av sjøbunnen og uttak av prøver.

Planlagt testfelt ble før utlegging av tildekkingsmaterialet undersøkt med hensyn til forurensningsnivå og geotekniske egenskaper til massene.

Feltstudier omfattet undersøkelse av

- Prøvetaking med grabb, kjerner
- NTNU utført kjemiske analyser av forurensningsprofiler
- Geotekniske undersøkelser

Laboratorieundersøkelser omfattet:

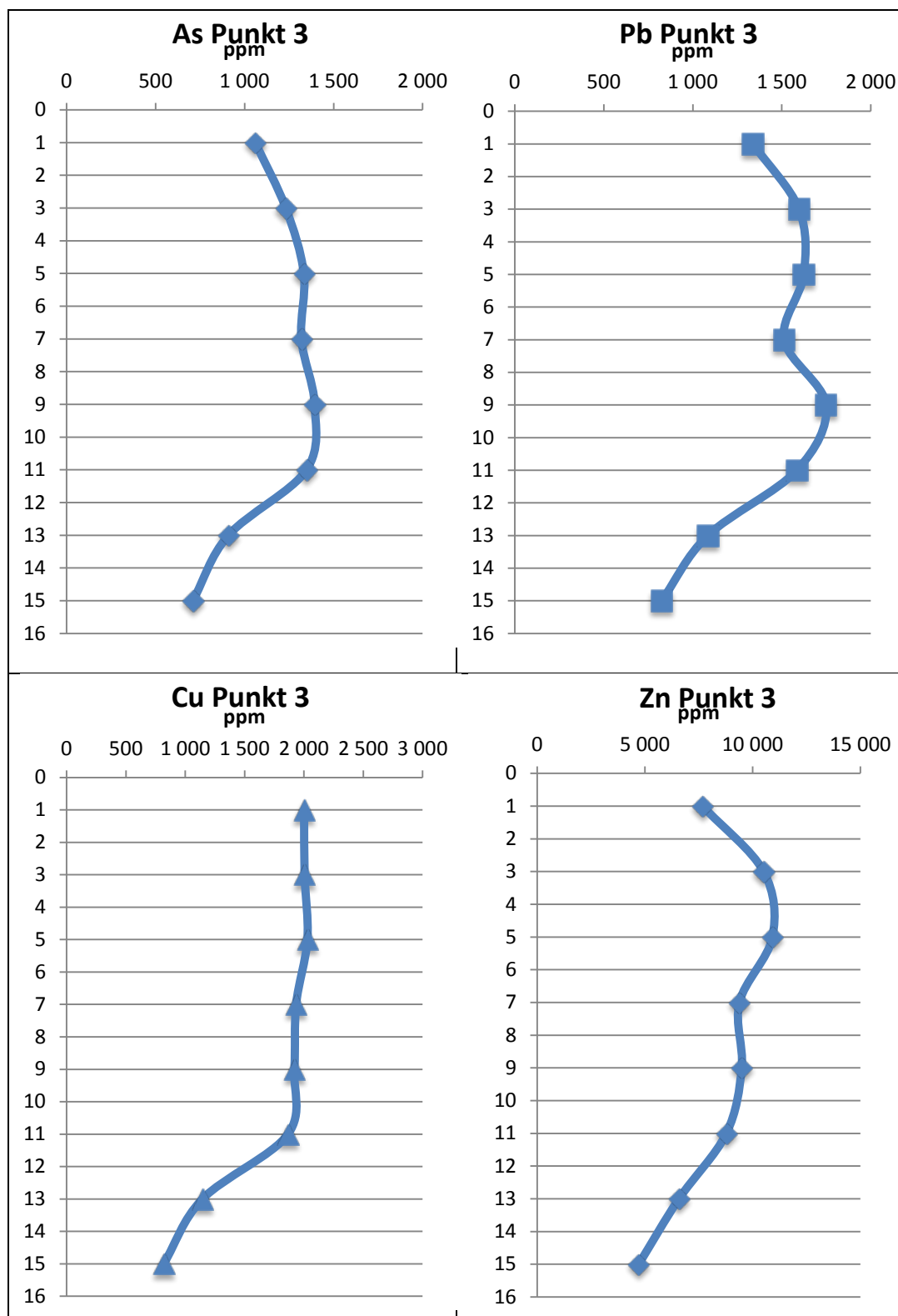
- Fysiske parametre: Konsistens (vanninnhold, kornfordeling)
- Kjemiske parametre: innhold av uorganisk forurensning og karakterisering av organisk karbon i sedimentene.
- Fysiske styrke parameter av opprinnelig sjøbunn

NTNU utførte analyser av sjøbunn i 10 stasjoner i testfeltet og 4 stasjoner utenfor testfeltet før det ble lagt ut tildekkingsmasser i området. Stasjoner fra forundersøkelser er vist i vedlegg A-2 og A-3. Forurensningsprofil fra de øvre 0-15 cm i prøvepunkt 3 er vist i Figur 8.

Resultatene viste at materialet på sjøbunnen består av et siltig leirig materiale med meget høye konsentrasjoner av arsen, kobber, sink og bly, Tabell 1.

Tabell 1: Konsentrasjoner i øvre 2 cm i Fagervika, målt av NTNU høsten 2012. Fargeklassifisering etter Klifs tilstandsklasser for forurenset sediment (Klif/SFT, 2007)

Stoff	Arsen	Bly	Kobber	Sink	Kadmium	Krom	Kvikksølv	Nikkel
Dybde	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2
Punkt 1	761	951	1 739	4 238	8,58	115,5	0,64	39,34
Punkt 2	892	1 070	1 950	5 306	10,81	122,4	0,83	41,23
Punkt 3	1060	1 338	2 000	7 665	15,51	144,2	0,90	41,24
Punkt 4	755	1 018	1 946	5 405	10,43	131,7	0,71	41,47
Punkt 5	760	869	1 514	3 694	4,91	128,3	0,61	41,52
Punkt 6	666	817	1 147	3 791	6,52	131,6	0,60	42,65
Punkt 7	568	685	1 101	3 248	5,73	109,1	0,66	38,59
Punkt 8	455	580	1 219	2 881	4,64	97,0	0,53	30,15
Punkt 9	765	1 045	2 010	5 981	13,17	113,4	0,70	33,63
Punkt 10	681	801	1 989	5 077	13,41	90,3	0,83	33,95
Punkt 11	934	1 084	1 574	5 642	13,55	103,3	0,65	26,74
Punkt 12	982	1 385	2 294	8 302	20,30	93,6	0,85	25,22
Punkt 13	710	730	1 726	3 845	9,07	82,7	0,61	29,88
Punkt 14	1283	1 374	1 443	6 159	16,06	93,7	0,61	21,63



Figur 8: Profiler for sedimentkonsentrasjoner i opprinnelig sjøbunn i testfeltet.

For geotekniske undersøkelser av opprinnelig sjøbunn ble kjerneprøver etter prøvetaking fraktet og lagret stående frem til analyse i NGIs lab for best å bevare topplaget i prøvene. Kjerneprøver ble skjøvet ut i NGIs lab og splittet i prøver for hver 10 cm. For grabbprøver ble det tatt ut en representativ prøve av blandprøve som representerer de øvre 10 cm av sjøbunnen i den aktuelle prøvestasjonen.

Resultater fra kornfordelingsanalysene klassifiserer alle prøvene i testfeltet som leirholdig silt. Leire-innholdet varierer fra 7,9 til 13,2 %. Resultater er oppsummert i tabell 2.

Tabell 2: *Jordartsbetegnelse for sedimentprøver i testfeltet.*

Prøve nr	Jordartsbetegnelse	Leireinnhold (%)
1x (0,05 m)	Silt, leirig	9,8
1x (0,2 m)	Silt, leirig	9,3
2x	Silt, leirig	9,0
3x	Silt, leirig	13,2
4x	Silt, leirig	10,2
7x	Silt, leirig	12,3
8x	Silt, leirig	7,9

Ut i fra rutineundersøkelsene kan sedimentene karakteriseres som en middels fast siltig leire, med lav til middels høy sensitivitet, og middels høyt vanninnhold. Plastisitet er ikke undersøkt, men siltige leirer har normalt lav plastisitet

Vanninnhold

Vanninnhold målt på kjerneprøvene (prøve 1x, 2x, 7x og 8x) antas å være representativt for in situ forhold. Denne ligger i området 25 – 42 %, som er relativt stor spredning, men kan betegnes som middels høyt og er innenfor normal spekter for norske leirer.

Humusinnhold

Målt humusinnhold varierer fra 2,5 til 9,6 %

Skjærfasthet

Målt skjærfasthet i rutineundersøkelsene er på 14 – 36 kN/m². De laveste verdiene antas ikke representative pga. prøveforstyrrelse, slik at leiren kan karakteriseres som en middels fast leire. Sensitiviteten er relativt lav.

Detaljert beskrivelse av undersøkelsene og resultater er gitt vurderingsrapport for valg av tildekkingsmateriale NGI-rapport 20120405-02-R (NGI, 2013a).

5.3 Valg av tildekkingsmateriale

Tildeckingsmateriale som skulle anvendes på testfeltet måtte oppfylle følgende krav:

- Tilfredsstillende tildekkingsveilederen til Miljødirektoratet, mhp kjemiske og fysiske egenskaper (SFT, 2005).
- Materialet er egnet for utlegging
- Motstandsdyktig mot erosjon / strøm
- Økonomisk fordelaktig ikke bare for test utlegging, men for fullskala tildekkingen av hele området i Fagervika og Ilsvika
- Tilgjengelighet av masser

Tildeckingsveilederen stiller krav til at materialet som tenkes lagt ut på sjøbunn skal ha riktig kjemisk kvalitet. I tillegg må det ha fysiske egenskaper som reduserer strømning gjennom tildekkingslaget, dvs gode filteregenskaper. Som et minimum må tildekkingsmaterialet derfor gjennomgå kjemisk testing for å vurdere om det tilfredsstillende krav til kjemisk kvalitet, i tillegg til at kornfraksjon/kornfordeling må bestemmes for å vurdere filteregenskapene til materialet.

I og med at sjøbunnen i Fagervika stedvis har en bratt helning er en av hovedutfordringene å få tildekkingsmassen til å ligge stabilt. En grunnleggende forutsetning for et stabilt lag er at helningen ikke er større enn at tildekkingsmaterialet kan bære sin egen vekt. Lagringsfastheten av tildekkingsmaterialet er avhengig av type masse og utleggingsmetoden. Dersom massen strøs sakte utover sjøbunnen vil den antagelig få en meget løs lagring. Fall fra splittlekter og kontrollert nedføring med en viss hastighet vil gi en bedre lagring, men fremdeles relativt løst. Stabilitet av sandige masser kan vurderes ut ifra antatt friksjonsvinkel ved en statisk analyse. Antas ingen kohesjon i sandmassene, som er en rimelig antagelse, vil massen ligge labilt dersom helningsvinkelen er lik friksjonsvinkelen. En løst lagret sand kan antas å ha en friksjonsvinkel på ca. $\phi = 33^\circ$, noe som vil tilsvare en maksimal helning på 1:1,5. Dersom en skal ha noe sikkerhet mot brudd, og robusthet mot påvirkninger kan for eksempel 1:2 antas som en maks helning. Ved eventuell bruk av leire som tildekkingsmateriale kreves kun en meget lav skjærfasthet selv med bratt helning, så lenge tildekkingslaget er tynt. Usikkerheten er antagelig mest knyttet til om leira vil feste seg til underlaget eller om den vil skli på overflaten når den treffer bunnen.

Ut fra disse kriterier ble det vurdert å utrede to typer sandmaterialer samt leire fra et lokalt mudreprosjekt, Grilstad Marina. Fullstendig vurdering av de ulike materialene er gitt i NGI-rapport 20120405-02-R (NGI, 2013a).

Alle 3 materialene oppfylte kravene med hensyn til kornstørrelse fordelingen, men filteregenskapene til leire var for lav. Natursand og maskinsand vil tillate en viss drenering av porevann i underliggende sjøbunn.

Tildeckingsmaterialet som ble valgt var maskinsand, knust berg, hentet fra et lokalt pukkverk, Sjøla, Klæbu kommune som tildekkingsmateriale. Massene er dokumentert ved mineralogisk testing fra leverandøren. Bergarten som materialet er

knust ned fra består av mørke, mafiske bergarter (grønnstein og gabbro) som ikke er alkalieraktive bergarter. Analyseresultater viser at konsentrasjoner av tungmetaller ligger innenfor ren jord i Trondheim (TK, 2010) og tilstandsklasse 1 for sedimenter (Klif/SFT, 2007). Leverandør av maskinsand, har fått utført kornfordelingsanalyser for fraksjon 0/8. Andel finfraksjon i maskinsand ble vektlagt. Maskinsand forventes å ha en bedre gradering enn natursand (NGI, 2013a), noe som skulle sikre en større erosjonsmotstand enn natursand.

5.4 *Rekoloneringssegenskaper*

Biologiske arter som er funnet i området før tiltak er typisk "opportunist" (Oceanor, 1991). Dette er individer som ofte etablerer seg i påvirkede/forurensede områder. En tildekking med rene masser vil sannsynligvis være fordelaktig for tilbakeføring av mer naturlige individer i tiltaksområder.

Undersøkelse av rekoloniseringssegenskaper av tildekkingsmaterialer er tidkrevende og er mest realistisk å undersøke under feltforhold. Tilsvarende størrelsesfraksjon av maskinsand er brukt ved tildekking ved Malmøykalven. DNV har undersøkt rekolonisering ved dypvannsdeponiet i Oslo Havn (DNV, 2012). Undersøkelsene viser rekolonisering et år etter at tildekkingen var avsluttet. Artssammensetningen representerer et typisk koloniseringsstadium og over tid forventes at faunaen i tildekkings-området følger et typisk bentisk suksesjonsmønster. Dermed anses de valgte massene som egnet for rekolonisering.

6 Etablering av testfelt

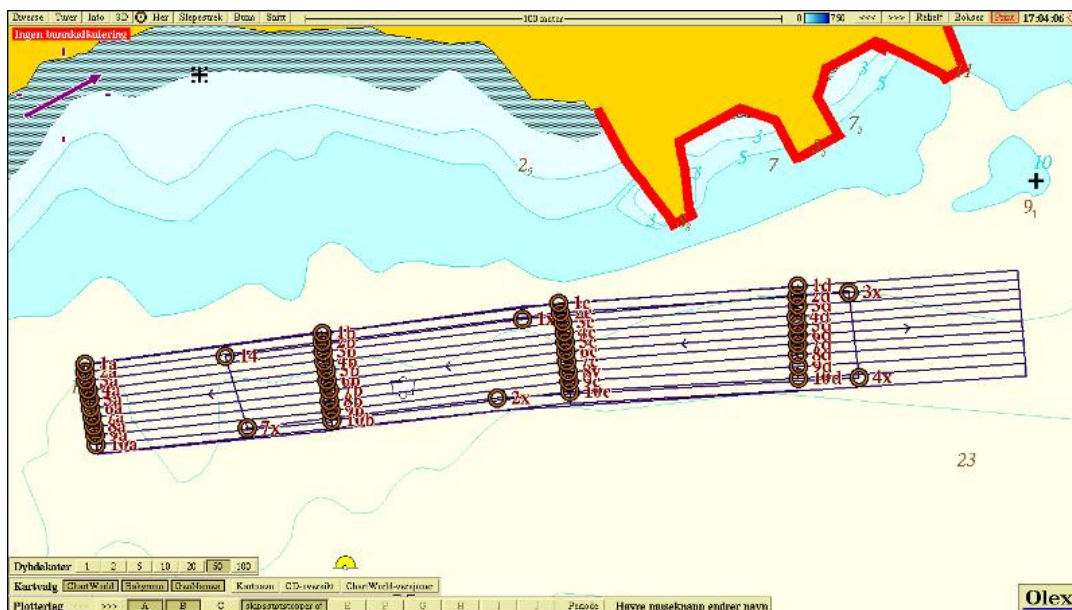
6.1 *Utlegging av tildekkingsmateriale i testfeltet*

Testfeltet ble planlagt med et tildekkingslag på 10 cm tykkelse som tilsvarer en teoretisk mengde på 400 m³ tildekkingsmateriale på det 4000 m² store testfeltet. Erfaringer fra flere tildekkingsprosjekter tilsier at det er usikkerhet knyttet til den teoretisk beregnede mengde som er nødvendig for å oppnå en ønsket mektighet på tildekkingslaget. Dette kan skyldes delvis innblanding i underliggende sjøbunn og spredning av masser under utlegging utenfor planlagt tildekkingsareal. Dette medfører at det må legges ut mer masser enn et teoretisk minimum. Det ble lagt ut 530 m³ masser. Masser ble levert fra Ramlo Sandtak AS. Massene ble knust ned til riktig fraksjon kort tid før utlegging for å unngå fuktinntrengning i materialet før utleggingen. Massene ble levert på kai og lastet direkte opp i utleggingslekter med lastebilgrabb.

Utlegging av tildekkingsmaterialet ble gjennomført i januar 2013 og ble utført av Agder Marine AS. Anleggsperioden startet 22. januar 2013 og ble avsluttet 31. januar 2013. Utleggingen foregikk med en liten fallbunnslekter (ombygd container) styrt av en slepebåt med posisjoningsutstyr. Fallbunnslekteren slipper massene gjennom en spalte som gjør at massene blir spredt ut i et smalt belte vertikalt på fartsretningen. Utleggingen ble dermed utført på en meget skånsom måte i et rutenett, vist i Figur 9. Utleggingsmetodikk med flere lag tilstreber å få en partikkeldistribusjon i tildekkingslaget som ivaretar både ønske om god fordeling av både finstoff og grovt

materiale. På grunn av ulik sedimentasjonshastighet vil fordelingen i tildekkingslaget bli slik at det legger seg et finstofflag på toppen av det grove materialet, som kan bli utsatt for erosjon. Ved utlegging i flere omganger vil fordelingen blir bedre og redusere mulighet for erosjon av fint partikulært materiale.

Detaljene er beskrevet i feltrapport for utlegging og undersøkelser utført våren 2013 i NGI-rapport 20120405-03-R (NGI, 2013b).



Figur 9: Oversiktskart over tildekkingsfeltet med Agder Marines rutenett for utlegging (Agder Marine AS).

6.2 Kontroll under utførelse

Før utlegging av materiale i testfeltet ble det søkt tillatelse til tiltak i forurensede sedimenter hos Klima- og forurensningsdirektoratet, Klif, (nå Miljødirektoratet). Tillatelse ble gitt fra direktoratet den 30. november 2012, med visse krav til gjennomføring. Det ble stilt krav til overvåking av tiltakene. NGI utarbeidet en kontroll – og overvåkingsprogram, vedlegg D, som inneholder dokumentasjon og prosedyrer for å ivareta krav i tillatelsen.

Partikkelspredning under utlegging ble målt for å dokumentere effekter av tildekkingsoperasjonen. Hensikten med overvåkingen var å avdekke spredning av eventuell forurensning i forbindelse med gjennomføringen, med hovedvekt på spredning av stedlige forurensede bunnmasser. Turbiditetsmålingene viste at det har vært minimal spredning av partikler under utleggingsarbeidet.

7 Overvåking av testfeltet

Planlagte kontrollprogram for testfeltet inneholdt etterkontroll etter utlegging og undersøkelser hhv et halvt og ett år etter utlegging. (NGI, 2012a). Følgende undersøkelser er gjennomført:

Kontroll etter utlegging:

- Undersøkelser med SPI-kamera;
 - 6 stasjoner i testfeltet (SPI-stasjon 1-14x)
 - 7 stasjoner utenfor feltet (SPI-stasjon 20-27)
- Bokscorerprøver av sediment i 3 stasjoner (stasjon 30, 31 og 32)

Overvåking etter 6 måneder:

- Kjerneprøver i 3 stasjoner (stasjon 30, 31 og 32)

Overvåking etter 1 år:

- Filming av hele testfeltet med ROV
- Kjerneprøver av sediment utført av dykker i 6 stasjoner (stasjon 1x-14)

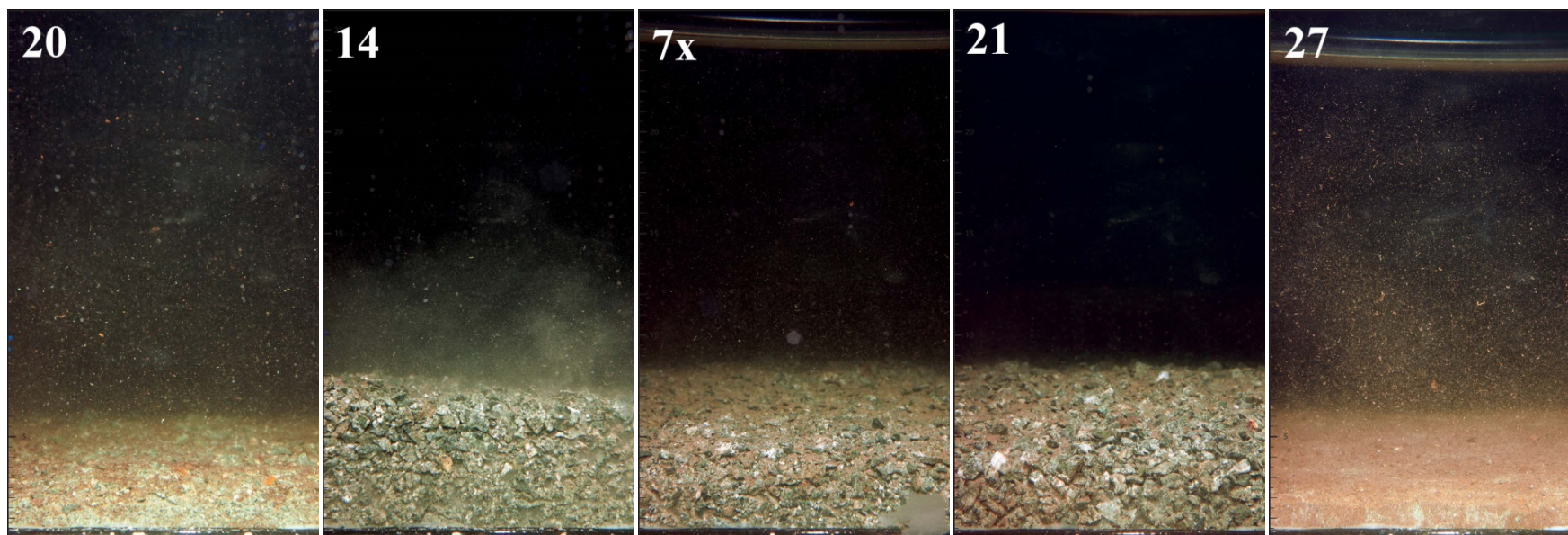
Lokalisering av de ulike undersøkelsene er vist i kart i Figur 12 og i vedlegg A.

7.1 *Kontroll etter utlegging*

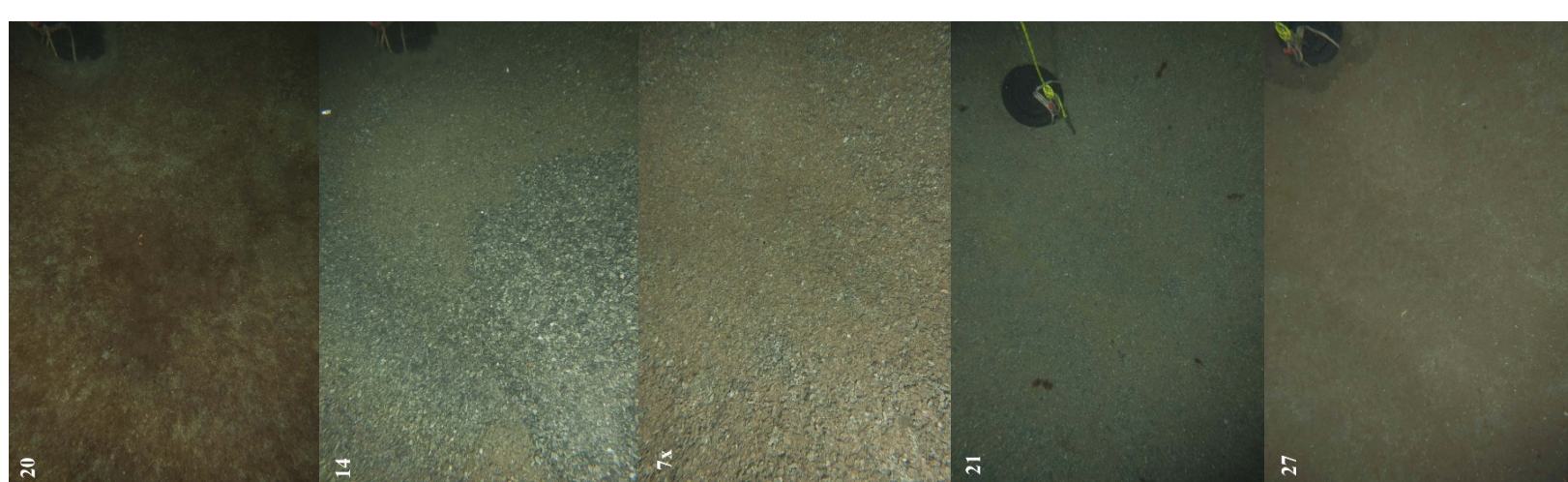
Etter utlegging av testfeltet januar 2013 ble første kontroll av testfeltet utført med SPI-kamera våren 2013. SPI-bildene dokumenterte at det var tildekkingsmasse i alle stasjonene innenfor testfeltet, samt at det ble observert noe tildekkingsmateriale også utenfor feltet (NGI, 2013b). SPI- og overflatebilder fra et profil som går gjennom stasjonene 20, 14, 7x, 21 og 27 er vist i Figur 10 og Figur 11.

Tykkelsen på laget var ikke mulig å bestemme nøyaktig på flere av stasjonene ettersom kameraet ikke klarte å penetrere gjennom hele dekklaget, slik at mektigheter ble oppgitt som minimumsverdier. På det meste ble det observert et dekklag på minimum 7 cm innenfor testfeltet. Både SPI-bildene og overflatebildene viste at det på tildekkingsmassene ble observert et rødlig lag med finstoff (NIVA, 2013). Dette finstoffet stammer trolig fra opprinnelig sjøbunn i området som har samme farge på bildene. Det er usikkert om dette materialet er re-sedimentert materiale oppvirvlet lokalt under tildekkingen eller om det er materiale som har blitt tilført fra området utenfor testfeltet som følge av de rådende strømforhold.

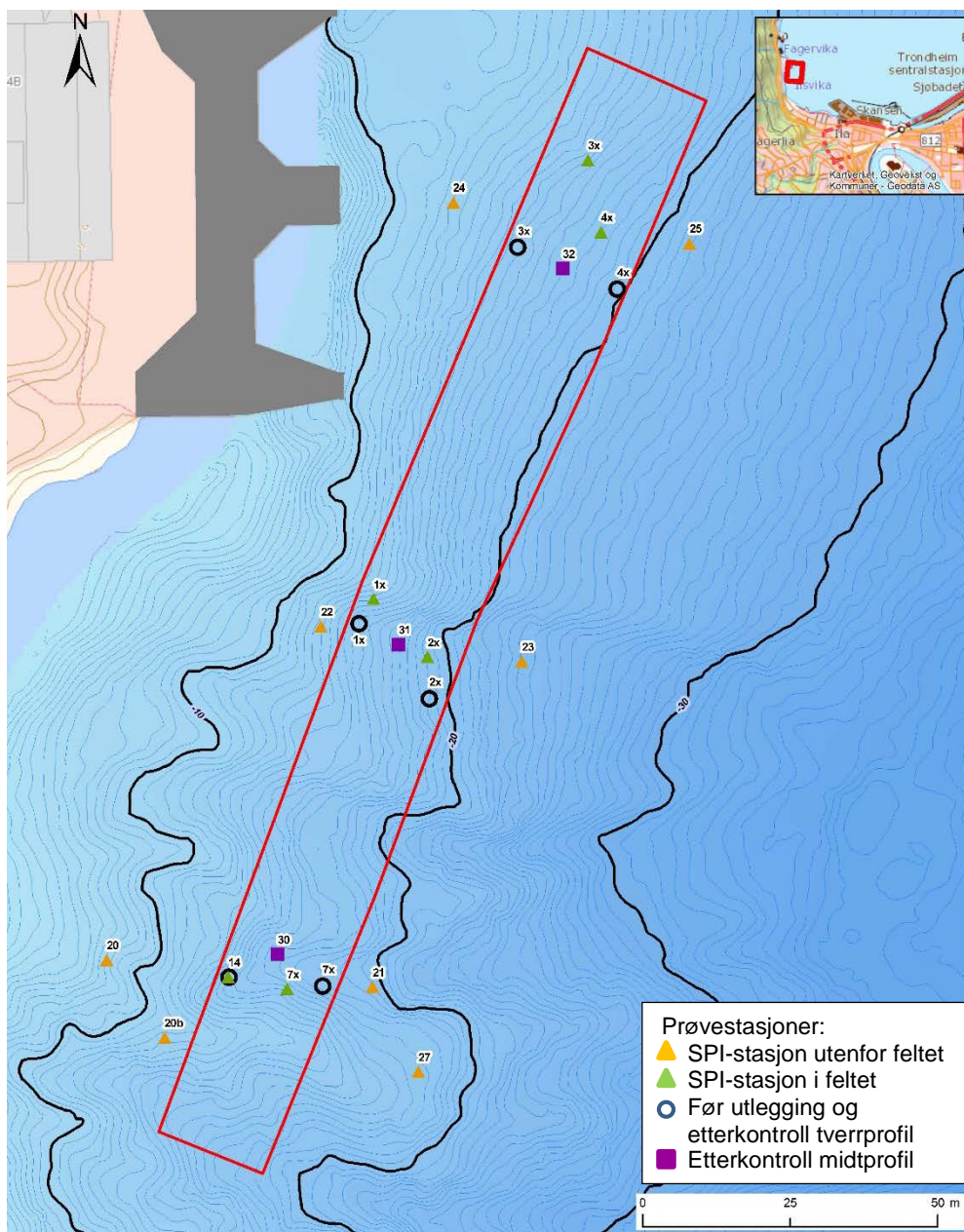
Våren 2013 ble det også gjennomført prøvetaking med bokscorer i 3 stasjoner i et profil på langs midt i testfeltet for å verifisere mektigheten av tildekkingsmaterialet. Det ble påvist en mektighet på minimum 5 cm tildekkingsmateriale, men usikkerheten i undersøkelsene ble store pga. utfordringer med prøvetakingsmetodikken (NGI, 2013b).



Figur 10: Profilet gjennom stasjonene 20, 14, 7x, 21 og 27. Punktene 14 og 7x ligger i testfeltet. Stasjon 20 ligger grunnere enn testfeltet mens 21 og 27 ligger dypere enn testfeltet. Stasjon 14, 7x og 21 viser tildekkingsmateriale. Stasjon 27 viser opprinnelig sediment uten tildekkingsmasse, men stasjon 20 viser noe tildekkingsmasse på opprinnelig sjøbunn (Foto: NIVA, 2013).



Figur 11: Overflatebilder fra NIVAs SPI-kameraundersøkelser. Overflatebilder fra profilet med stasjonene 20, 14, 7x, 21 og 27. (Foto: NIVA, 2013).



Figur 12: Prøvestasjoner for SPI-kamera og stasjoner for prøvetaking før utlegging og etterkontroll i midtprofil og tverrprofil.

7.2 Overvåking av testfelt etter 6 måneder

September 2013 ble det gjennomført prøvetaking ved kjerneprøver i 3 stasjoner sentralt i testfeltet. Målet med prøvetakingen var å få en bedre verifikasjon av tildekkingsmektigheten. På 2 av de 3 stasjoner var det vanskelig å få opp representative prøver sannsynligvis forårsaket av at kjerneprøvetaker veltet under prøvetaking. Feltrapport fra prøvetakingen er beskrevet i vedlegg B. Kjerneprøve som ga mest representativt bilde av tildekkingsmektigheten viste mektighet på minimum 4,5-

5 cm, se Figur 13. Undersøkelsene ble utført i samarbeid med NTNU og NTNUs forskningsskip Gunnerus. Feltforsøkene konkluderte med at det var nødvendig å endre undersøkelsesmetodikk.



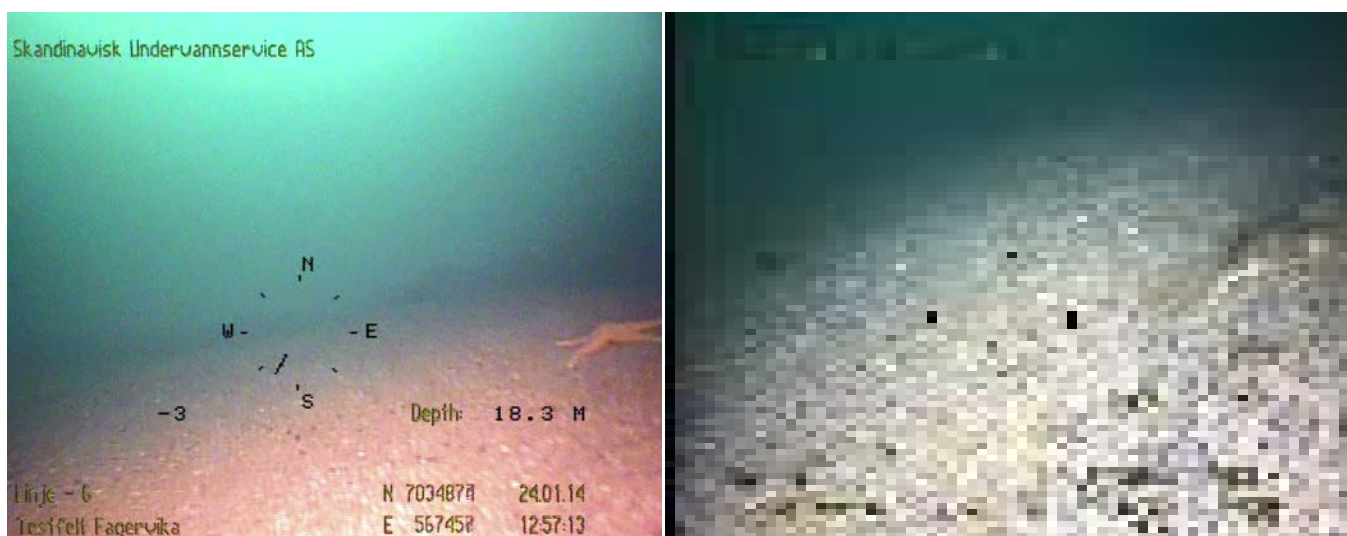
Figur 13: Kjerneprøve stasjon 30 fra prøvetaking september 2013. Bildet er tatt etter at vannet er dekantert fra.

7.3 Overvåking av testfelt etter 1 år

Ved avsluttende overvåking 1 år etter utlegging av testfeltet ble det utført filming med ROV i hele feltet og i randsoner av feltet. Filming med video ble utført av Skandinavisk Undervannsservice den 24. januar 2014. Rapport fra undersøkelsene er gitt i feltrapport i vedlegg C. Stillbilder fra ROV-filming er vist i Figur 14 og Figur 15.



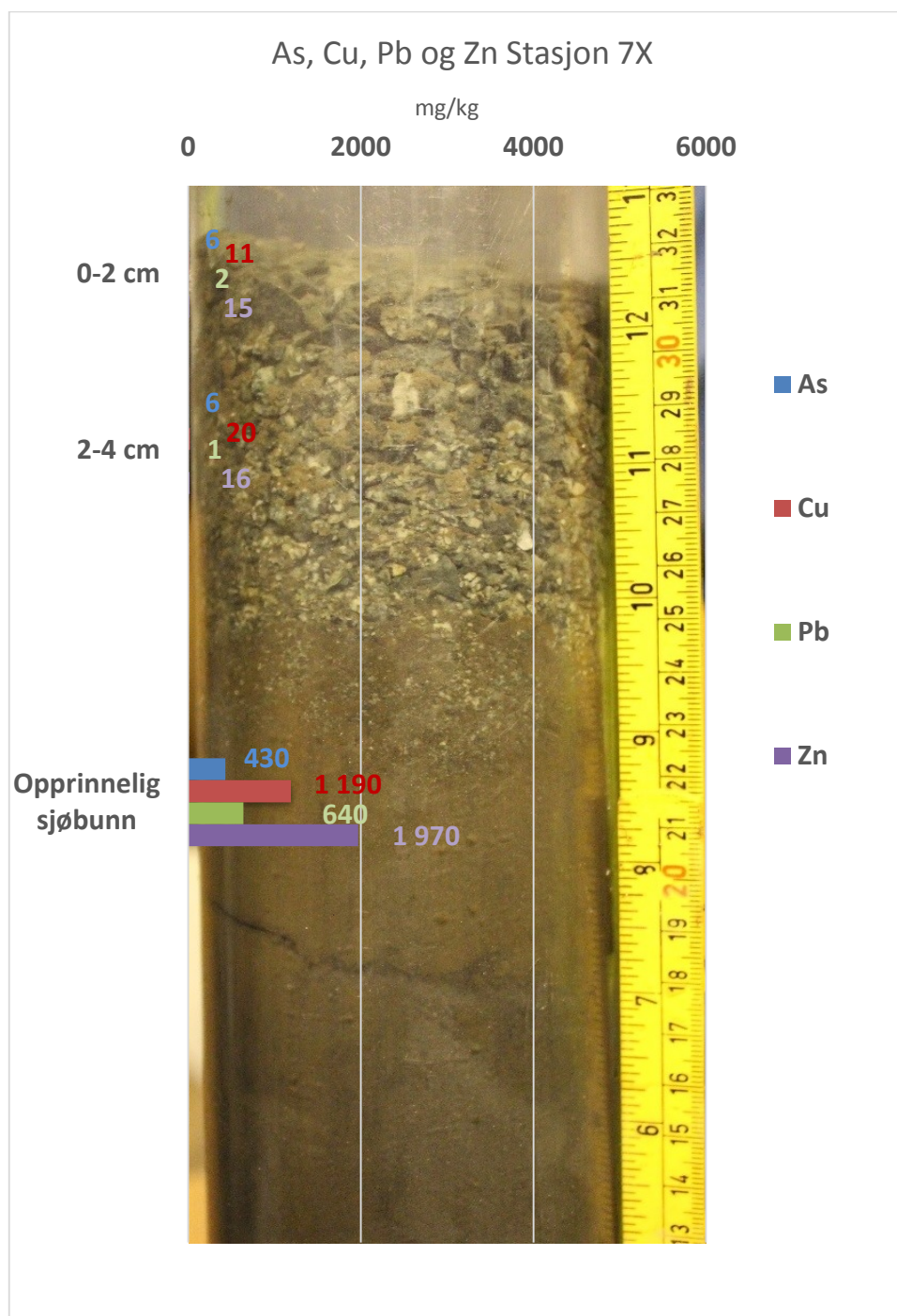
Figur 14: Stillbilde fra ROV-video. Sjøbunn sør for testfeltet, som ikke er tildekket.



Figur 15: Stillbilde fra ROV- video. Tildekket sjøbunn midt i testfeltet, linje 6. Sjøstjerne og skrubbe hhv venstre og høyre bilde.

Etterkontroll etter 1 år omfattet også uttak av kjerneprøver på 6 stasjoner ved hjelp av dykker. De samme prøvestasjoner ble valgt som inngikk i for-undersøkelser og tidligere overvåking. Fra kjerneprøvene ble det tatt ut prøver av de øvre lag (0-2 cm og 2-4 cm) i tillegg til at sjøbunnen under ble analysert. Eksempel fra stasjon 7x er vist i Figur 16.

Resultater fra de kjemiske analysene viser at de øvre 0-4 cm av sjøbunnen har tilstandsklasse 1 og 2 i 5 av 6 stasjoner. I en av stasjonene (1x) som ligger i en skråning er det ikke tilstrekkelig tildekket, noe som vises i forhøyde konsentrasjoner av tungmetaller (vedlegg C). Analyseresultatene er benyttet til å vurdere effekten av tildekkingen (kapittel 9).



Figur 16: Kjerneprøve fra stasjon 7x som viser tildekkingsmateriale og underliggende sediment med konsentrasjoner av arsen, kobber, bly og sink (mg/kg).

7.4 Dykkerbilder sommer 2013 og høst 2014

Trondheim kommune har fått gjennomført dykkerundersøkelser i deler av tiltaksområdet i Ilsvika fra Killingdal kai og innover i Ilsvika. Dykker har tatt stillbilder av sjøbunnen i flere deler av Ilsvika, hvor enkelte områder i testfeltet også er fotografert. Bilder er gitt i Figur 17 - Figur 19.

Som bildene fra dykker viser observeres individer som tyder på rekolonisering i det tildekkede området i Ilsvika. Omfanget og artsidentifikasjon er ikke undersøkt av dykker, men bildene tyder på en positiv utvikling når det gjelder rekolonisering. Bildene tyder også på at det lever gravende organismer i området som kan lage «hull» i det tynne tildekkingslaget.

Bildene viser også tegn til rekontaminering av testfeltene. Rekontaminering er diskutert i kapittel 9 og 10.



Figur 17: Rekolonisering av tildekkingsfelt der 0/8 masser har vært lagt ut. Liten piperenser (Virgularia mirabilis). Bilde tatt juli 2013. Tynnt lag med mulig ny tilført avgangsmateriale kan sees på foto. (Foto: Lene Repvik Storrø, Renere havn)



Figur 18: Gravende organismer (Taskekrabbe) i område med tildekkingsmateriale (0/8-masser). Bilde tatt oktober 2014. Eksakt lokalisering er gitt, men bildet er tatt i øvre kant av testfeltet mot land. (Foto: Lene Repvik Storrø, Renere havn)



*Figur 19: Rekolonisering av på tildekkingsfelt der 0/8 masser har vært lagt ut. Tarmsjøpung – *Ciona intestinalis* (Hvite sjøpunger, vokser i klaser). Bilde tatt oktober 2014. (Foto: Lene Repvik Storrø, Renere havn).*

8 Vurdering av helningsvinkel og skråningsstabilitet

8.1 *Generelt*

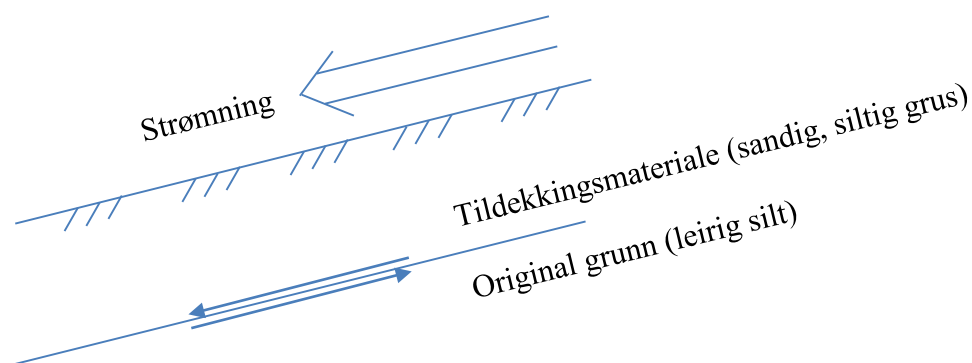
Fagervika er et sensitivt område med tanke på områdestabilitet. Like sør for testfeltet ligger det en kvikkleiresone som strekker seg utover i sjøen. I forbindelse med utbygging av boligområdet i Ilsvikveien 30 ble det utført omfattende utredning av stabilitet, som resulterte i meget strenge krav om å ikke påføre området noen ekstra belastning. I forbindelse med pilotprosjektet har dette ligget som et meget viktig premiss, og er grunnen til at det kun har vært aktuelt med et tynt tildekkingslag i Fagervika og Ilsvika.

8.2 *Helning*

Sjøbunnen i Fagervika har varierende topografi og helning. I søndre del bærer sjøbunnen tydelig preg av tidligere erosjonsvirksomhet fra bekker som har rent ut i sjøen. Noe kan også stamme fra tidligere skred. Langs gamle erosjonskanter er skråningshelningen opp mot 40° . For øvrig er helningen i størrelsesorden $10 - 20^\circ$. Lenger nord er det mer jevn helning på $10 - 15^\circ$. I vedlegg A-4 og A-5 finnes helningskart som viser helninger over hhv. 1:3 ($18,4^\circ$), 1:2 ($26,5^\circ$) og 1:1,7 (30°).

8.3 *Stabilitet mot glidning*

For et tildekningslag på 10 cm er det relevant å vurdere stabilitet mot glidning på underlaget. Bruddet kan enten skje i original grunn eller i selve tildekkingsmaterialet, se Figur 20. Bæreevnebrudd ned i sjøbunnsmassene anses ikke relevant.



Figur 20: *Stabilitet av tildekkingslag.*

Tildeckingslaget som er benyttet i pilotprosjektet består av en sandig, siltig grus. Etter utlegging antas at materialet ikke har noen kohesjon, dvs. heftfasthet mellom kornene. Alt bidrag til styrke kommer da gjennom friksjon mellom kornene, og er kun en funksjon av materialets egenvekt og friksjonsvinkel. I og med at tildekkingslaget kun er 10 cm tykt er både lasten og styrken i underkant av laget meget liten. Original grunn, som består av leirig silt, har gjennom årenes løp "satt" seg og blant

annet på grunn av dette opparbeidet en kohesjon. Styrken til dette materialet i overflaten vil dermed langt overgå tildekkingsmaterialets styrke ved et så tynt tildekkingslag. Det er dermed rimelig å anta at brudd i tildekkingsmaterialet vil være kritisk. Tidligere forskning på NGI tyder også på at dette er tilfellet (Holme et.al, 2006). Dersom tildekkingsmaterialet var upåvirket av andre krefter enn sin egen vekt ville maksimal helningsvinkel være lik friksjonsvinkelen. Friksjonsvinkelen til en løst lagret grus/sand vil erfaringsmessig ligge i området $33 - 36^\circ$, noe som da vil representere et teoretisk maksimum. Imidlertid er det antagelig situasjonen under selve utleggingen som er kritisk med tanke på hvor tildekkingsmaterialet legger seg stabilt. I det materialet treffer sjøbunnen vil bevegelsesenergien representere en dynamisk last som må med i regnestykket. Kritisk vinkel vil derfor være lavere enn materialets friksjonsvinkel. Måling av tykkelsen av tildekkingslaget er gjort i 6 prøvepunkter (punkt 1x, 2x, 3x, 4x, 7x og 14). Av disse vises tynt tildekkingslag i punkt 1x. Punkt 1x ligger like under en bratt skråning på $25^\circ - 30^\circ$. ROV-undersøkelsen er noe vanskelig å tyde, men det generelle inntrykket er at materialet blir liggende i et jevnt lag stort sett over det meste av arealet, med unntak av de bratteste skråningene i det mest kupert terrenget sør i forsøksfeltet. Materialet ser der ut til å ha samlet seg i tykkere lag i bunnen av søkkene. Sammenlignet med vedlegg A-6, som viser områder med helning større enn 30° , antas det derfor at kritisk vinkel er noe lavere. Vedlegg A-4, som viser områder med helning større enn $18,4^\circ$ (1:3), omfatter store arealer hvor det positivt ligger jevne lag med tildekkingsmateriale. Ut i fra observasjonene i testfeltet kan det konkluderes med at kritisk vinkel er større enn $18,4^\circ$ (1:3) og antas at den er mindre enn 30° (1:1,7). Vi vil anta at svaret ligger nærmere øvre grense enn nedre, og vil ut i fra dette anbefale å basere seg på en praktisk grense på 1:2 ($26,5^\circ$).

Tildekking av skråninger med kritisk helning vil medføre en ansamling av tildekkingsmasse i bunnen av skråningen eller ved overgang til betydelig mindre helning. Slike ansamlinger må ikke bli så store at de medfører grunnbrudd i underliggende masser, eller på annen måte setter i gang større bevegelser på sjøbunnen. Dette anses ikke som en vesentlig problemstilling, men bør tas i betraktning på detaljprosjektnivå.

8.4 *Stabilitet mot erosjon*

Tildekkingsmaterialet vil bli påvirket av strømningskrefter over sjøbunnen. Denne påvirkningen kan potensielt ha en eroderende virkning heller enn å påvirke selve stabiliteten av laget som beskrevet over. Avhengig av strømningshastighet og retning samt tildekkingsmaterialets kornsammensetning vil laget kunne eroderes bort helt eller delvis. Ved en delvis erosjon vil finstoffet i et øvre sjikt kunne vaskes bort. Slik sett vil et grovt materiale være mer motstandsdyktig mot slik strømningspåvirkning. Det er lite som tyder på at strømmingen har hatt stor påvirkning innenfor testfeltet. Dette er heller ikke å forvente siden materialet er relativt grovt. I forhold til at kornfordelingen må tilfredsstillende filterkriteriet kunne det ikke vært grovere. Det er slik sett et spørsmål om tap av finstoff ved utlegging kan påvirke kornfordelingen slik at filterkriteriet ikke lenger er tilfredsstillende. Imidlertid viser turbiditetsmålingene at det ikke har vært mye oppslemming under utlegging.

Erosjon fra skipstrafikk vil være aktuelt ved Killingdal-kaia. Testfeltet ligger noe utenfor kaia, slik at man ikke har sett eventuell påvirkning fra skipstrafikken. Dette må sees nærmere på i detaljering og utførelse.

9 Miljøeffekt av tildekkingen

9.1 Spredningsberegning

Beregningene som bakgrunn i tiltaksplanen for Trondheim havn (NGI/DNV, 2011) viste at det foregår spredning av arsen, bly, kobber og sink fra områder grunnere enn 20 m i Fagervika. Hensikten med tildekkingen av de forurensede sedimentene er å redusere denne spredningen.

Grunnlagsdata brukt i en oppdatert risikovurdering for Fagervika er vist i Tabell 3 (NGI, 2011a). Kontrollmålingene av sedimentkonsentrasjonen gjort som del av Pilottesten er også vist. De ulike undersøkelsene av opprinnelig sjøbunn viser noe variasjon i tallmaterialet som følge av prøvetakingsdybde og plassering. Det generelle bildet er imidlertid konsistent med arsen (As) i størrelsesorden 1000 mg/kg, bly (Pb) 1000-2000 mg/kg, kobber (Cu) 2000-3000 mg/kg og sink (Zn) 5000-10000 mg/kg.

Tildekkingslaget viser meget lave konsentrasjoner av tungmetaller og lite tegn til innblanding av den forurensede sjøbunnen eller tilførsel av ny forurensning 1 år etter tildekkingen. Konsentrasjonen ligger i samme størrelsesorden som bakgrunns-konsentrasjonen i området som er ikke påvirket av avgangsmasser. Forutsatt at kilder på land er under kontroll vil dette teoretisk kunne føre til en forbedring av miljøkvaliteten i topplaget på mer enn 97 %.

Spredningsberegningene viste at propelloppvirvling i området grunnere enn 20 m er den dominerende spredningsprosessen for partikkelbundet forurensning (Pb, Cu og Zn) med unntak av arsen der spredning domineres av biodiffusjon, vist i Tabell 4. Tildekkingsmaterialet viser lite innblanding av opprinnelig sjøbunn. Antatt at bidraget fra propelloppvirvling til forurensningsspredning elimineres vil det gi en forbedring på 84 til 95% i forurensningsspredning for sink, kobber og bly i det tildekkede arealet.

Bilder fra høsten 2014 viser at tildekkingslaget har et tynt lag med stoff som antas å være avgangsmateriale. Dette antas å være materiale som er spredt fra områdene rundt testfeltet. I storskala-utleggingen vil spredningen begrenses fordi hele området som ligger grunnere enn 20 m som har avgangsmasser vil dekkes til.

Tabell 3: Metall konsentrasjoner i sediment prøver tatt ved forskjellige

Parameter		Datasett risikovurdering	Før tildekking	Tildeckingslag	Under tildeckingslag	Opprinnelig sjøbunn bakgrunn
Dybde		0-10 cm	0-10 cm	0-4 cm	+2 cm	
Antall prøver		6	14	10	10	3
Konsentrasjon		(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
Arsen	min	14	388	5,7	388	1,8
	maks	1200	1267	31	798	
	snitt	454	912	11	554	
Bly	min	17	656	1,5	609	5,6
	maks	1800	1651	40	1530	
	snitt	739	1175	8,7	951	
Kobber	min	37	1164	10	1010	16
	maks	3000	2221	60	1910	
	snitt	1381	1705	22	1408	
Sink	min	81	3758	15	1620	46
	maks	9900	9590	110	5080	
	snitt	4371	6711	35	3300	

Tabell 4: Spredningsberegning basert på gjennomsnittskonsentrasjonen i risikovurderingsverktøyet (mg/m²/år), relativ andel i parentes.

Parameter	Biodiffusjon	Propell oppvirvling	Total spredning
Arsen	267 (97%)	8,5 (3%)	275
Bly	0,7 (5%)	13,7 (95%)	14,4
Kobber	1,3 (5%)	25,6 (95%)	27
Sink	15 (16%)	81 (84%)	96

9.2 Diffusjon gjennom tildeckingslaget

Beregning av transport gjennom tildeckingslaget er gjort med en analytisk diffusjonsmodell (Lampert og Reible, 2009). Denne modellen beregner transport gjennom et isolasjonslag, et bioturbasjonslag og fra tildeckingsoverflaten og ut i vannmassene over.

I forbindelse med risikovurderingen som ble gjort av delområdet Fagervika i Trondheim havn er det målt konsentrasjon av metaller i porevannet (NGI/DNV,

2011). Disse målingene er brukt som grunnlag for beregning av transport gjennom tildekkingslaget.

Inputparametere benyttet i beregningene er gitt i Tabell 5.

Tabell 5: *Inputparametere for beregning av kjemisk isolasjonslag.*

Egenskaper til det forurensende stoffet	
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
Egenskaper til Sediment/Bioturbasjonslag	
Porevannskonsentrasjon i forurenset sediment, C_0	Målt i sedimentet i det aktuelle området. Data hentet fra risikovurderingen for delområde Fagervika (NGI, 2011)
Gjennomstrømming (adveksjon) i isolasjonslaget	0
Sedimentasjon	0
Tykkelse av bioturbasjonslaget	5 cm*
Biodiffusjonskoeffisient for vann, D_{bio}^{pw}	0 cm ² /år
Biodiffusjonskoeffisient for partikler, D_{bio}^p	5 cm ² /år
Transport koeffisient, k_{bt}	0,75 cm/t
Tildekkingsegenskaper	
Dyp der isolasjonslaget legges	Bioturbasjonsdyp + 5 cm
Type tildekkingsmateriale - granulært (G) eller Konsolidert silt/leire (C)	G
Konsolidering av tildekkingen	0
Konsolidering av underliggende sediment	0
Porøsitet, e	0,4
Partikkel densitet, ρ_p	2,6

For å beregne effekten av tynntildekking ved Fagervika er det tatt utgangspunkt i porevannskonsentrasjonen i den forurensede sjøbunnen. I pilotstudiet ble det observert en tildekkingsmektighet på 5-7 cm som vil gi en reduksjon i diffusjon fra de forurensede sedimentene med mer enn 95%. Etter tildekking forventes imidlertid en viss rekolonisering av området med bunnlevende organismer. Ved fullskala utleggingen er målet en mektighet på 10 cm. Det tas ofte utgangspunkt i en bioturbasjon på 10 cm, men undersøkelser viser liten bioturbasjon i området. Det er derfor antatt et bioaktivt lag på 5 cm. Årsaken til lav bioturbasjon kan være både kjemisk innhold i sedimentene, men også at avgangsmaterialets beskaffenhet ikke er attraktiv for organismer.

Tabell 6 viser spredning gjennom tildekkingslaget i en "steady state" situasjonen på lang sikt som spredning til vannmassene og bidrag til økt konsentrasjon i de øvre 5 cm av tildekkingslaget. Beregninger er gjort for teoretisk tykkelse på 10 cm. Modellen baserer seg på en ideal situasjon der hele området har et jevnt lag på 10 cm tildekkingsmasser. I praksis vil dette ikke være realistisk der det vil forekomme variasjon i dekningsgrad og bioturbasjon. Det er i tabellen også vist en beregning for en tykkelse av tildekkingslaget på 7 cm for å vise endring i effekt basert på redusert oppnådd mektighet.

Resultatene viser en reduksjon av spredning som følge av biodiffusjonen på mer enn 97% i forhold til situasjonen før tildekkingen. Bidraget til økt forurensningsnivå i tildekkingsmaterialet betraktes som ubetydelig. Miljøkvaliteten av toppsjiktet vil derfor styres av kvaliteten på nytt sedimenterende materiale.

Tabell 6: *Biodiffusjon ved steady state ved en tildekkingsstykkelse på 7 cm og 10 cm med et bioaktivt lag på 5 cm.*

Parameter	Porevann (µg/l)	Spredning (mg/m ² /år) (10 cm)	Spredning (mg/m ² /år) (7 cm)	Reduksjon* (%) (10 cm)	Reduksjon* (%) (7 cm)	Forventet konsentrasjon i tildekkingslag (cap) (mg/kg)
Arsen	40	6,7	16,6	97 %	94 %	0,9
Bly	0,10	0,02	0,04	97 %	94 %	0,04
Kobber	0,25	0,03	0,08	98 %	94 %	0,01
Sink	2,9	0,4	0,9	97 %	94 %	0,4

* Reduksjon i spredning som følge av biodiffusjon er i forhold til situasjonen uten tildekking

Avhengig av massenes bindingsevne vil det ta tid før det oppstår stabile diffusjonsforhold "steady state" gjennom tildekkingslaget. Modellberegningen viser at denne overgangsfase vil ta ca. 200 år for As, 900 år for Cu, 2700 år for Zn og 4300 år for Pb.

Basert på den observerte sedimentasjonshastigheten i området på 0,73 mm avleiret sediment per år (NGI, 2011a), vil det i løpet av 200 år ha blitt satt av 14 cm nydannet sediment. Dette nyavsatte sedimentet vil derfor være styrende for miljøkvaliteten i området på lang sikt.

En forutsetning for oppnådd effekt er derfor at spredning fra kilder på land er stoppet. Resultater fra opprydding på land ligger derfor som et viktig premiss i overvåking etter tiltak og måling av oppnådd effekt av tiltakene i sjø.

10 Gjennomførbarhet storskala

Pilottesten viser at massene i området er meget sterkt forurenset av As, Pb, Cu og Zn. Spredning i partikkel bundet form er den dominerende prosessen som styrer forurensningstransport med unntak av As som styres av biodiffusjon. Tynntildekkingen vil ha en god tiltakseffektivitet for å redusere spredning ved oppvirvling. I feltet ble det observert en tykkelse på ca 7 cm, som skapte en tydelig isolasjon av forurensete masser fra det marine miljøet. Effektvurderingen tilsier at tynntildekking kan gi en teoretisk forbedring av miljøkvaliteten i topplaget på mer enn 97 %. Dette forutsetter en mektighet på 10 cm som vil være målet for tildekkingen i fullskala.

Testforsøket viser at tildekkingsmateriale ligger som et jevnt lag. Det er også materiale i bratte helninger. Det konkluderes med en praktisk grense for helningen på 26,5° som angir hvor man kan forvente at tildekkingsmaterialet vil ligge i ro. I detaljprosjektering av tildekking for hele Ilsvika bør eventuelle konsekvenser av brudd over store sammenhengende flater på kritisk helning tas i betraktning og ses i sammenheng med rekkefølgebestemmelser ved utlegging. Sedimentarealet som har 26,5° helning eller mer er ca. 4300 m² av arealet grunnere enn 20 m i Fagervika og Ilsvika, som tilsvarer 4 % av sedimentarealet på 110.000 m² som er omfattet av tiltaksplanen. Dette vil påvirke total effekten av tiltaket på området grunnere enn 20 m og bør tas hensyn til.

Et oppnådd tildekkingslag på 7-10 cm samt en reduksjon av effekt pga stor helning gir dermed en teoretisk beregnet effekt på ca. 90 % for området under ett.

Forutsetningen for en god tildekkingsløsning er:

- Jevn lagtykkelse av massene i hele tiltaksområdet også i områder med relativt sterk skråning
- Utlegging i flere omganger for å unngå innblanding av underliggende forurensete massene

Dette stiller krav til utstyr og utleggingsmetodikk og krav til rekkefølge i fullskala-utlegging i Fagervika og Ilsvika. Prosjektert mektighet for tildekkingen må ta hensyn til minimum overdekning og usikkerhet ved utleggingen. Erfaringer fra tynntildekking i forskningsprosjektet Opticap (NGI, 2012c og NGI, 2011b) viste at

usikkerheten ved utlegging av tynne lag (2 – 5 cm) var 30 – 60 % av tykkelsen. Dette indikerer at 10 cm prosjektert tildekking kan føre til en minimum overdekning ned mot 5 cm i deler av området. For å begrense effekten av bioturbasjon er 10 cm tildekking ønskelig.

- Utlegging med sandmaterialer må i storskala gjøres på en slik måte at massene kan fordeles i jevne tynne sjikt enten fra overflaten eller ved nedføring over sjøbunnen. Uavhengig av utleggingsmetode vil det dannes striper av sand i en viss bredde på sjøbunnen som etter flere tildekkingsrunder vil gi et relativt jevntykt og heldekkende lag på hele arealet
- Ved bruk av fallbunnslekter vil både hastighet på fartøyet, størrelsen på spalten, som kan tenkes regulert ved hydraulikk, og massenes kornfordeling og strømningsforhold kunne påvirke det endelige utleggingsresultat. Dersom massene blir helt oppslemmet i vannet i det de forlater lekteren, for eksempel ved en smal spalteåpning, kan det antas at det er en eksponentiell sammenheng mellom partikkelstørrelsen og sedimentasjonshastigheten, beskrevet nærmere i vurderingsrapport for tildekkingsmateriale (NGI, 2013a)
- Ved nedføring gjennom rør og slipp av materiale rett over sjøbunnen vil det være viktig at materialet er helt oppslemmet i vannet når materialet skal spres ut på sjøbunnen for å oppnå en like jevn fordeling som oppnås ved bruk av en fallbunnslekter

Det stilles strenge krav til nøyaktighet for utførende entreprenør for utlegging i storskala.

Etterkontrollen som har vært gjennomført viser lite tegn til erosjon. Kontrollen av testfeltet er utført etter kun kort tid (6 mnd. og 1 år) slik at det vil være viktig at kontrollprogram for storskala-tildekkingen omfatter overvåking av erosjon, særlig etter store nedbørsperioder og i områder hvor det trafikkerer store båter (Killingdal kai og Ilsvika).

Undervannsbilder tatt høsten 2014 tyder på rekontaminering av testfeltet av masser fra tilgrensende områder. I og med at tiltaksområdet omfatter hele arealet grunnere enn 20 m ved fullskala gjennomføringen forventes lite effekt-reduksjon pga av rekontaminering pga spredning av sedimenter. Dette forutsetter imidlertid rekontamineringen ikke har sammenheng med kildene på land som antas å ha stoppet etter tidligere tiltak

Ved fullskalautlegging er det behov for å etablere erosjonssikring mot propell-oppvirvling langs kaier i Ilsvika. Dette inngår i detaljprosjekteringen.

11 Referanser

DNV (2012)

Rekolonisering av bentisk fauna ved dypvannsdeponiet, Malmøykalven 2012. DNV rapport 2012-1437, rev 1 23/11-12.

Eek, E., Godøy, O., Aagaard, P., Breedveld, G.D. (2007)

Experimental determination of efficiency of capping materials during consolidation of metal-contaminated dredged material. *Chemosphere*, 69, 719 – 728.

Eek, E., Cornelissen, G., Kibsgaard, A., Breedveld, G.D. (2008)

Diffusion of PAH and PCB from contaminated sediments with and without mineral capping; measurement and modelling. *Chemosphere*, 71, 1629 – 1638.

Holme, J.K., Dokter, L., Eek, E., Jensen, T.G., Løken, T., Breedveld, G.D. (2006)

Material Behavior of Dredged Contaminated Sediments from Simple Laboratory and Oedometer Tests. *Journal of ASTM Int.* Vol. 3. No. 7. May 2006. www.astm.org

Lampert, D.J., Reible, D. (2009)

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

Klif/SFT (2007)

Veileder for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. SFT veileder 2229/2007.

NGI (2005)

Capping og contaminated sediments, Anbefalinger ved prosjektering av tildekking av forurenset sediment. NGI-rapport 20021244-4. 7. Juni 2005.

NGI (2007)

Nye materialer og nye metoder for utlegging av tynn tildekking på forurenset sjøbunn, OPTICAP. NGI-rapport 20071139-00-123-R. 5. mars 2011

NGI (2011a)

Trondheim havn. Helhetlig tiltaksplan for Trondheim havnebasseng. Delrapport 1B – Risikovurdering. Rapport 20081794-00-52-R, Rev. 1. 24. oktober 2011.

NGI (2011b)

Nye materialer og nye metoder for utlegging av tynn tildekking på forurenset sjøbunn, OPTICAP. Evaluering av gjennomføring av testtildekking i Eidangerfjorden og Ornefjorden. NGI-rapport 20071139-5, 8. mars 2011

NGI (2012a)

Pilottest tynntildekking ved Fagervika – Prosjektplan. Rapport 20120405-00-1-R. 6. juli 2012.

NGI (2012b)

Pilottest tynntildekking Fagervika – Søknad om tildekking i forbindelse med Pilottest tynntildekking ved Fagervika. 18. oktober 2012.

NGI (2012c)

Nye materialer og nye metoder for utlegging av tynn tildekking på forurenset sjøbunn, OPTICAP. Evaluering av gjennomføring av testtildekking på TBT-forurenset sediment utenfor Fiskerstrand verft i Sula kommune. NGI-rapport 20071139-00-123-R, 13. januar 2012

NGI (2013a)

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

NGI (2013b)

Pilottest tynntildekking Fagervika - Feltrapport tildekking, Rapport 20120405-03-R, 21. juni 2013.

NGI (2013c)

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

NGI/DNV (2011)

Trondheim havn. Helhetlig tiltaksplan for Trondheim havnebasseng. Delrapport 4 – Tiltaksplan. Rapport 20081794-00-62-R, Rev 2. 24. oktober 2011.

NIVA (2013)

SPI-undersøkelser for prosjektet Pilottest tynntildekking ved Fagervika. NIVA-notat nr N16/13. Oslo 11. april 2013.

SINTEF (2008)

Beregning av spredning og tildekking av masser fra lekter. Opticap prosjekt. Endelig rapport desember 2008. SINTEF-rapport A9060.

SFT (2005)

Veiledende testprogram for masser til bruk for tildekking av forurensete sedimenter. TA-21/2005. SFT september 2006.

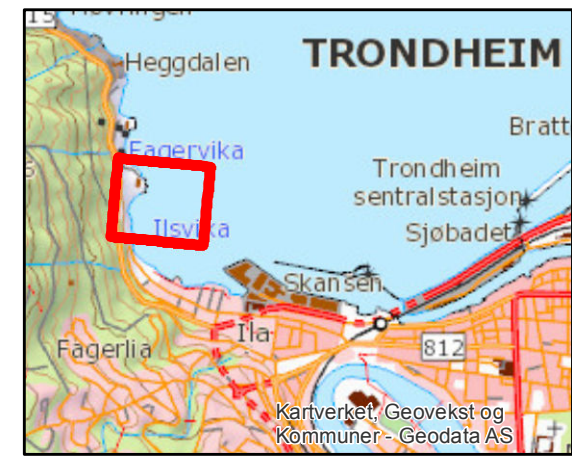
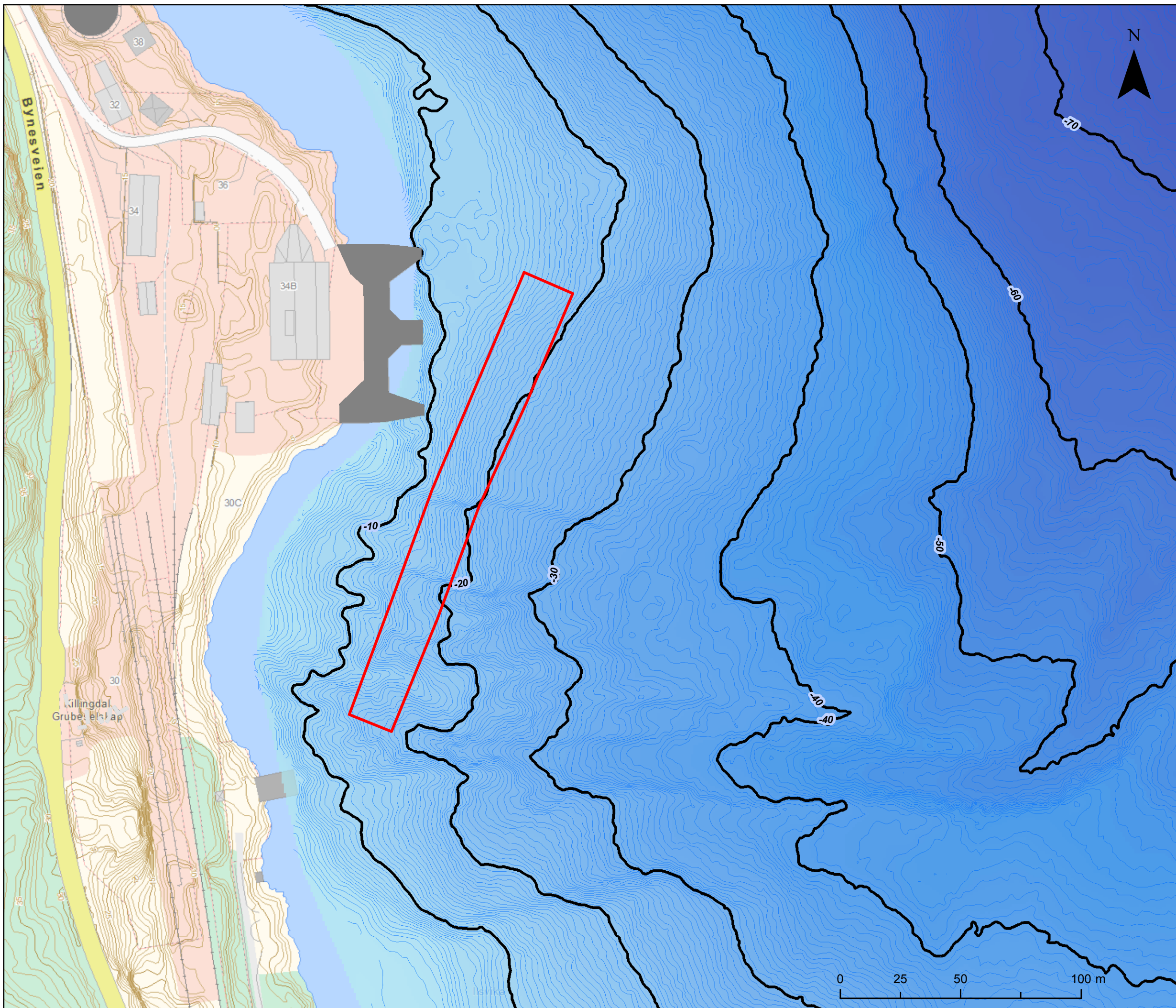
TK (2010)

Faktaark nr 50 ”Hva er rene masser?” Trondheim kommune, Miljøenheten, 2010.

Vedlegg A - Kartvedlegg

Innhold


- Vedlegg A-1** Situasjonsplan Testfelt
- Vedlegg A-2** Prøvepunkter Testfelt
- Vedlegg A-3** Prøvepunkter NTNU
- Vedlegg A-4** Helningsvinkel 18,4°
- Vedlegg A-5** Helningsvinkel 26,5°
- Vedlegg A-6** Helningsvinkel 30°
- Vedlegg A-7** Helningsvinkel over 18,4° for Fagervika og Ilsvika
- Vedlegg A-8** Helningsvinkel over 26,5° for Fagervika og Ilsvika
- Vedlegg A-9** Helningsvinkel over 30° for Fagervika og Ilsvika

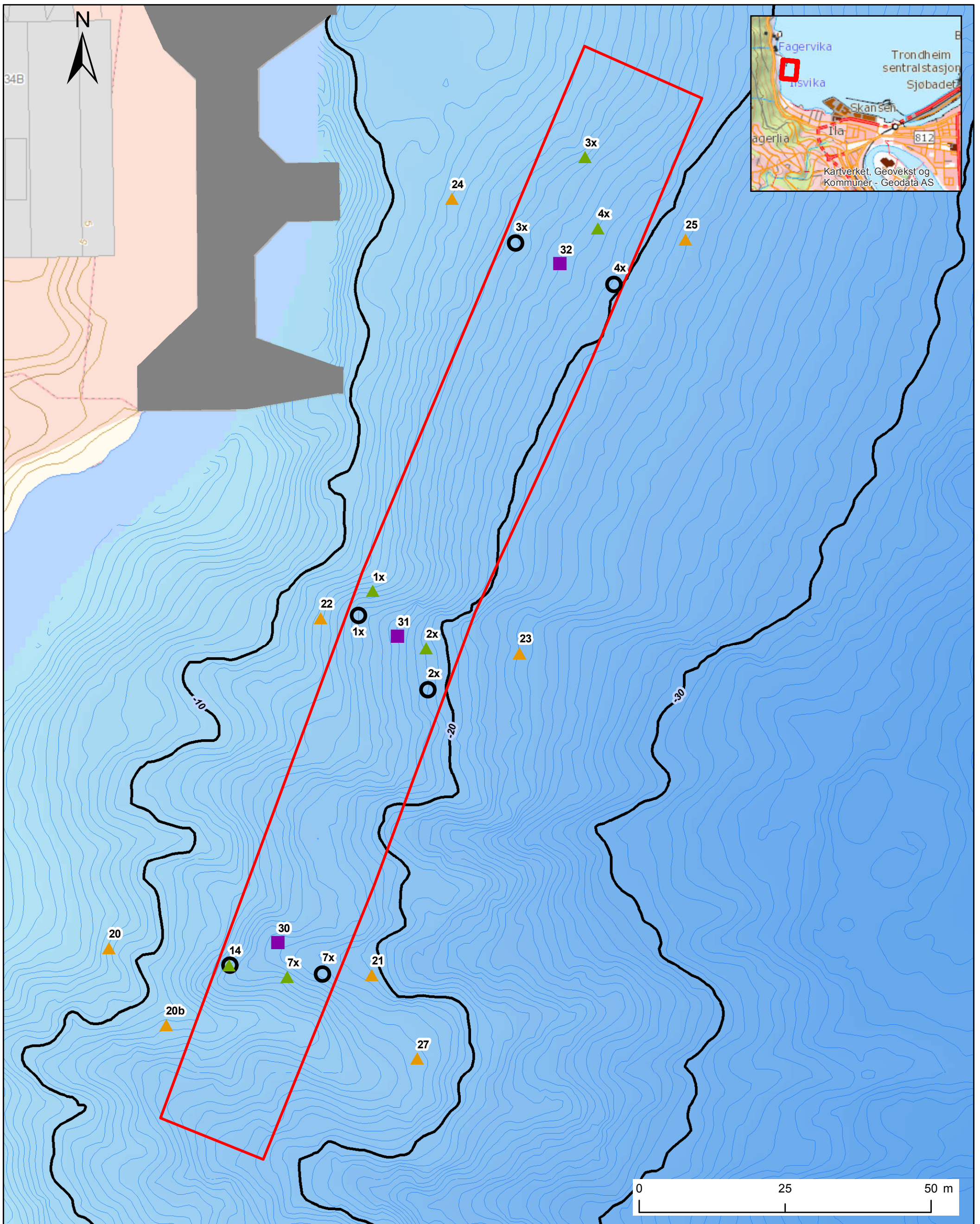


Tegnforklaring

Testfelt

Målestokk (A3): 1:1 500 Datum: Euref89 Kartprojeksjon: UTM32


Pilottest		
Situasjonsplan	Prosjektnr. 20120405	Kart nr. A-1
	Utført KST	Dato 2014-02-28
	Kontrollert MMo	
	Godkjent MMo	

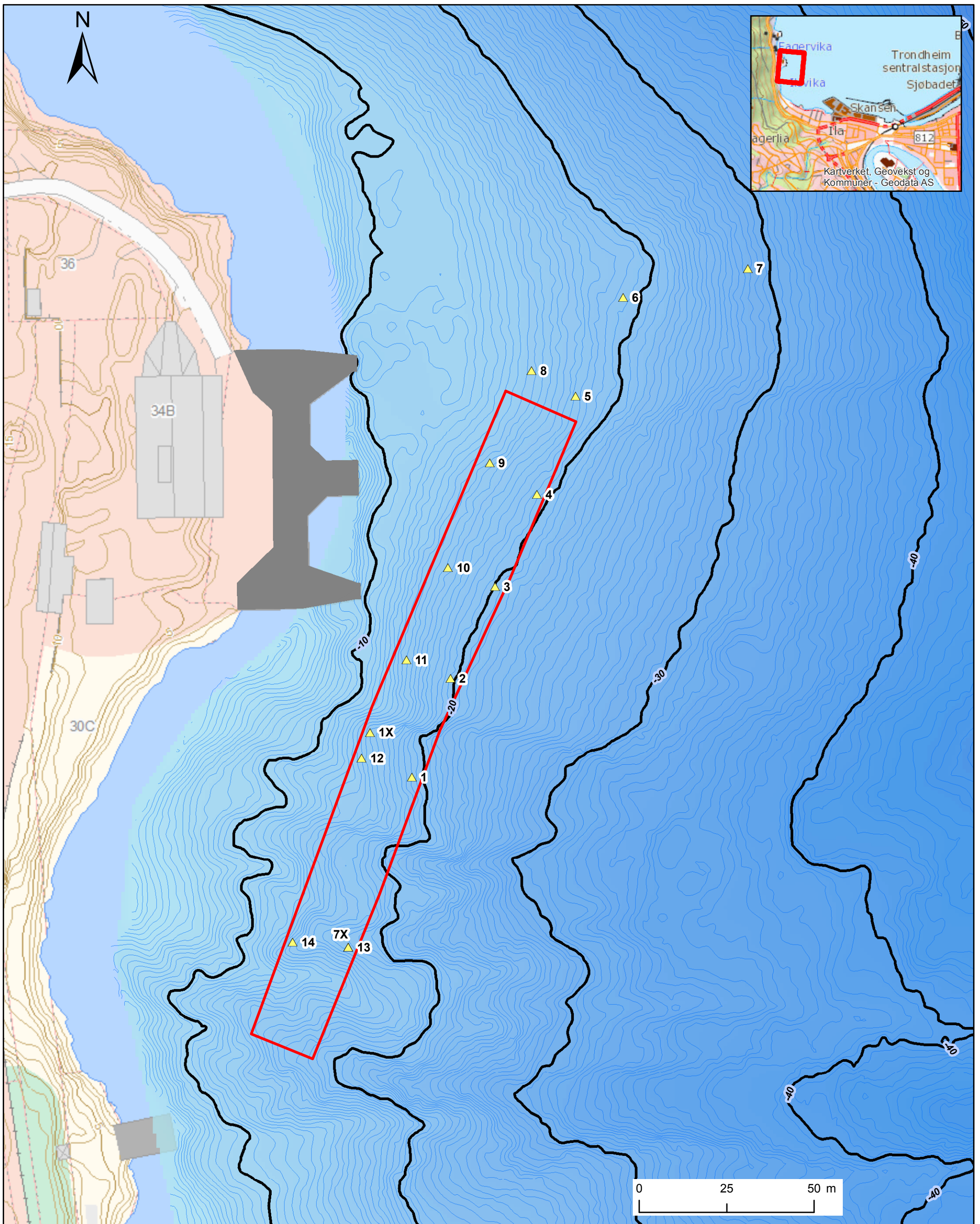


Tegnforklaring

- Prøvestasjon før- og etterkontroll
- ▲ SPI-kamerapunkter 1x-14
- ▲ SPI-kamerapunkter 20-27
- Etter kontroll 30-32
- Testfelt
- 0,5 m dybdekoter
- 10 m dybdekoter

Målestokk (A3): 1:600 Datum: ETRS89, Kartprojeksjon: UTM32N


Pilottest		
Prøvepunkt	Prosjektnr. 20120405	Kart nr. A-2
	Utført KST	Dato 2014-02-28
	Kontrollert MMo	
	Godkjent MMo	

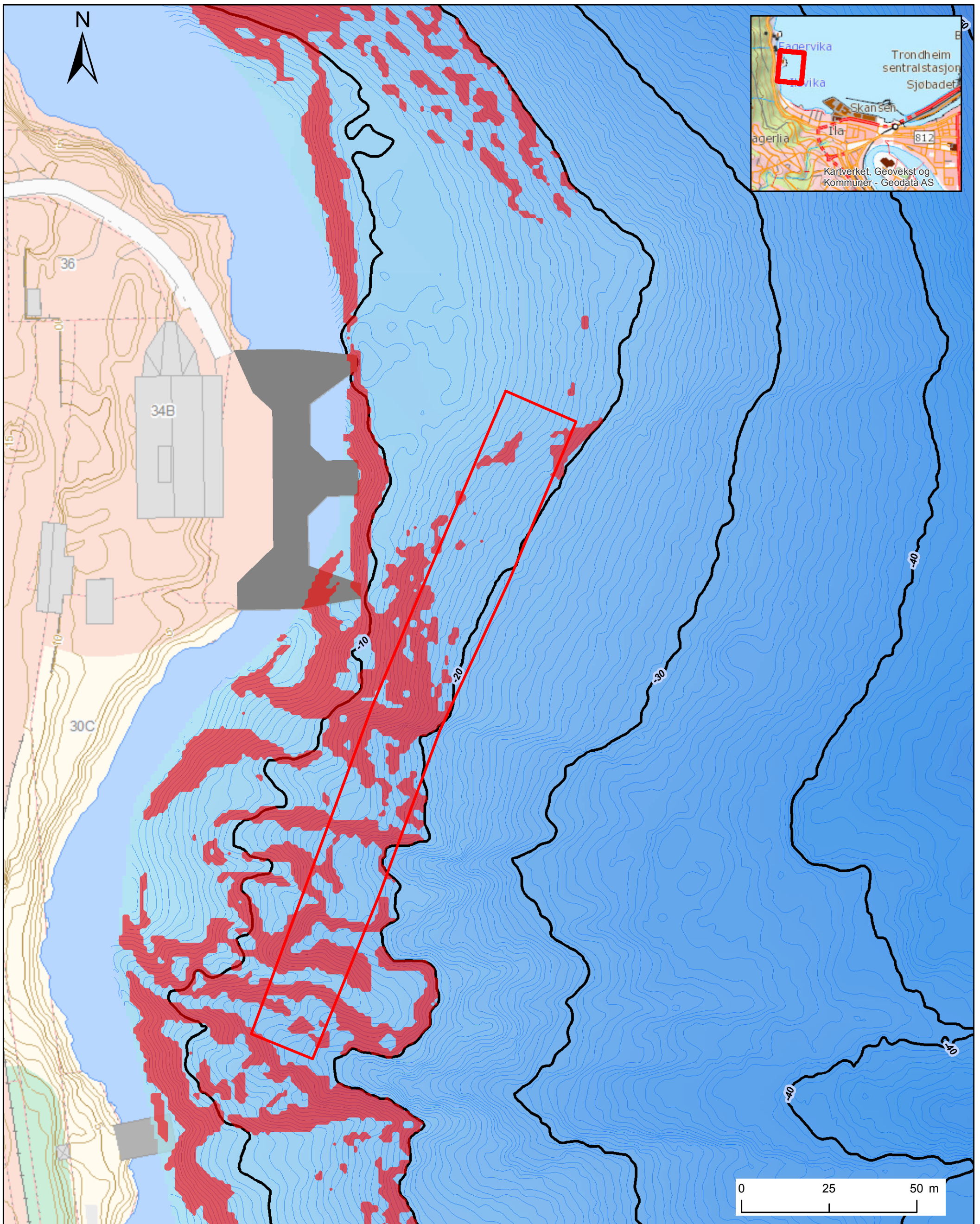


Tegnforklaring

- ▲ Provepunkt NTNU
- Testfelt
- 0,5 m dybdekoter
- 10 m dybdekoter

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

Pilottest		
Prøvepunkt NTNU	Prosjektnr. 20120405	Kart nr. A-3
	Utført KST	Dato 2014-02-28
	Kontrollert MMo	
	Godkjent MMo	

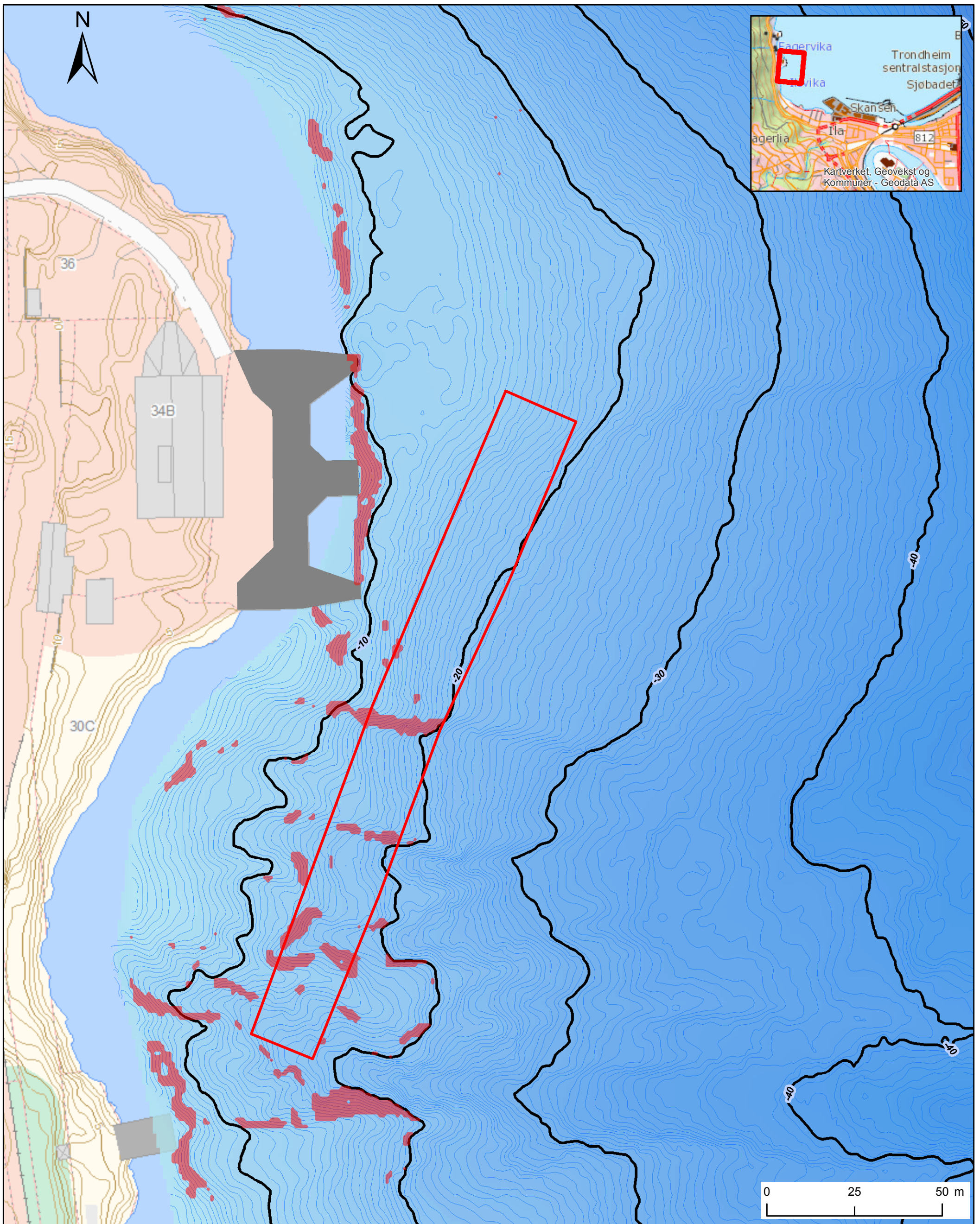


Tegnforklaring

- Testfelt
- Helning over 18,4° og grunnere enn 20 m
- 10 m dybdekoter
- 0,5 m dybdekoter

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

Pilottest		
Helningsvinkel 18,4°	Prosjektnr. 20120405	Kart nr. A-4
	Utført KST	Dato 2014-03-04
	Kontrollert MMo	
	Godkjent MMo	

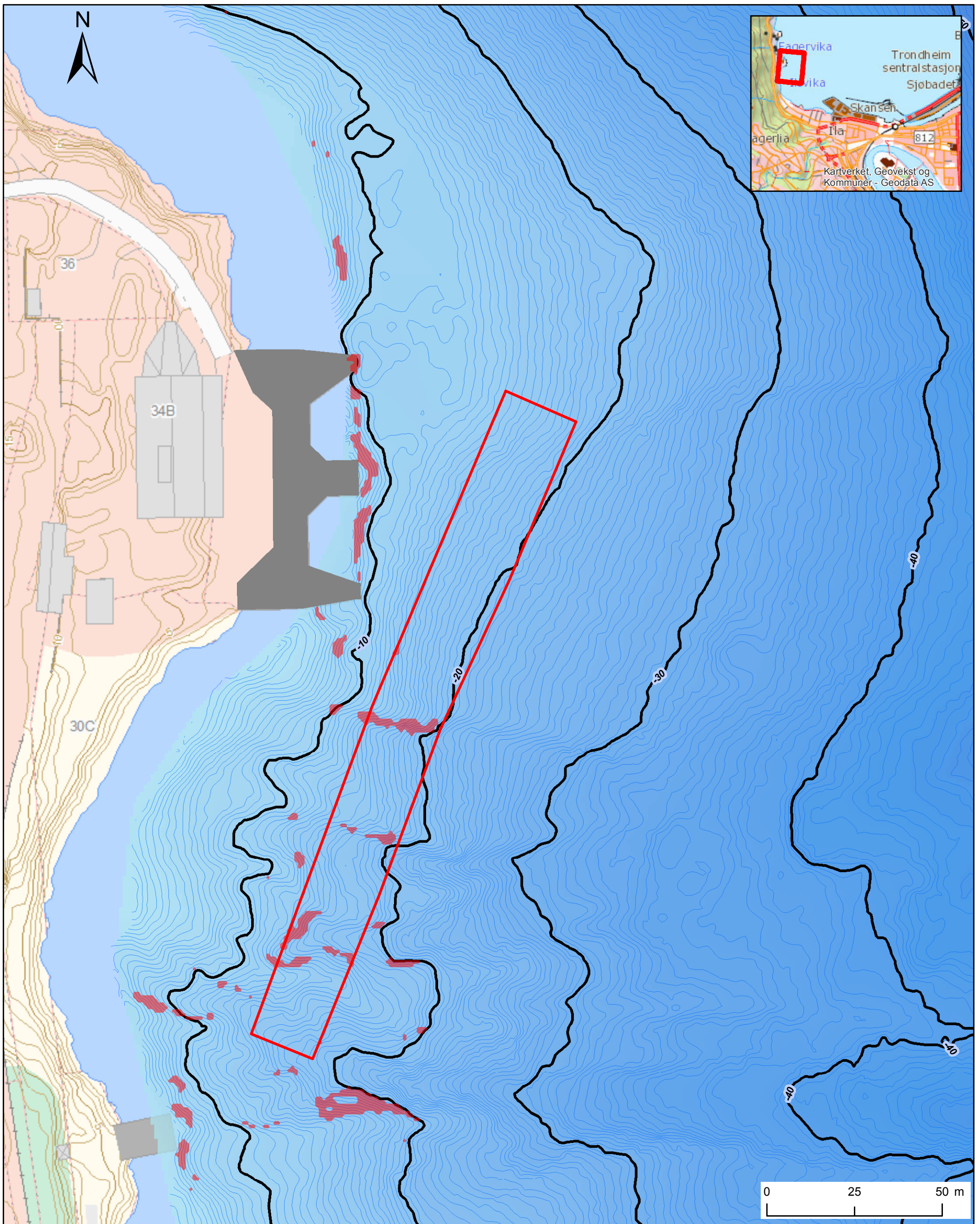


Tegnforklaring

- Testfelt
- Brattere enn 26,5° og grunnere enn 20m
- 10 m dybdekoter
- 0,5 m dybdekoter

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

Pilottest		
Hølningsvinkel 26.5°	Prosjektnr. 20120405	Kart nr. A-5
	Utført KST	Dato 2014-02-28
	Kontrollert MMo	
	Godkjent MMo	

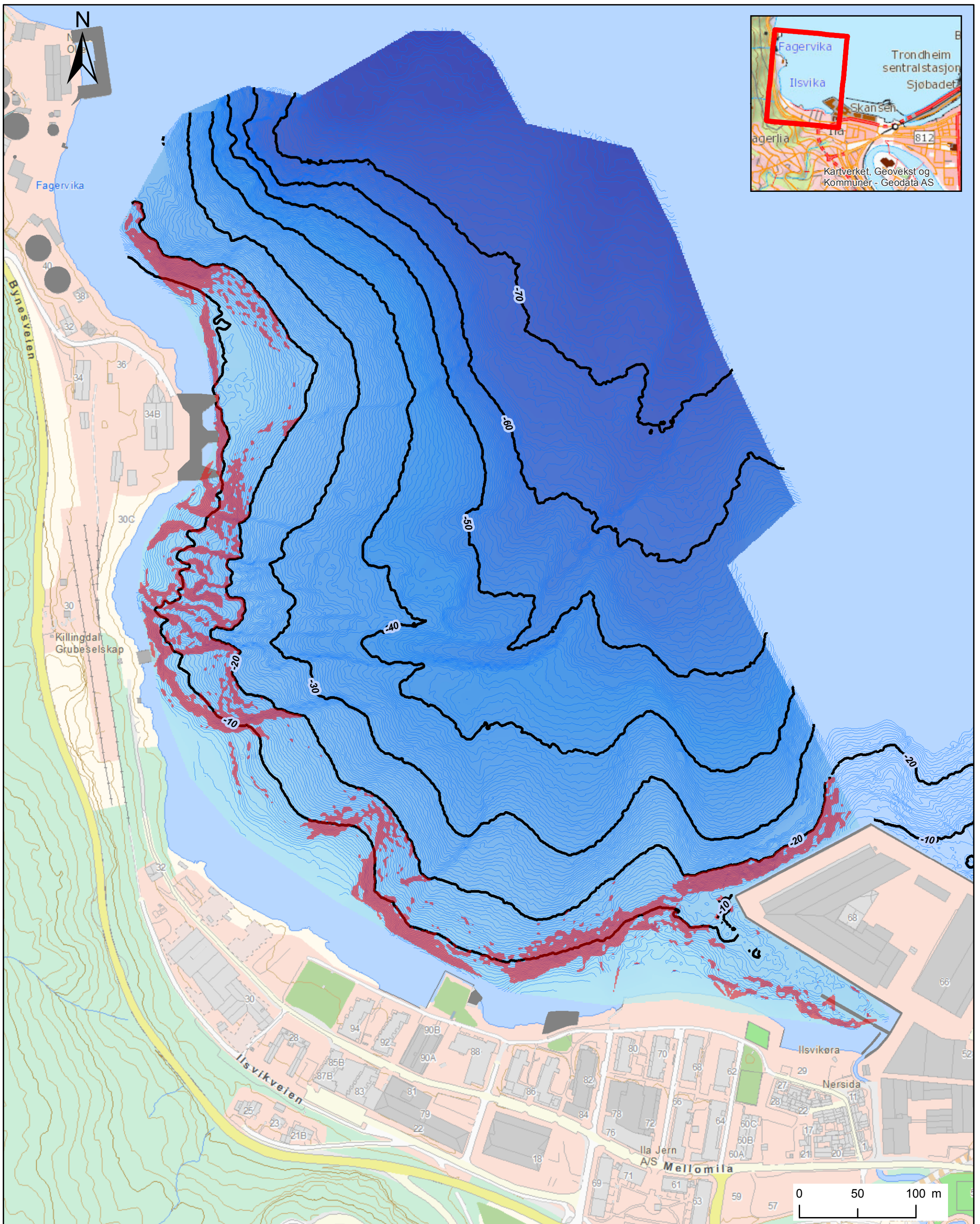


Tegnforklaring

- Testfelt
- Brattere enn 30° og grunnere enn 20m
- 10 m dybdekoter
- 0,5 m dybdekoter

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

Pilottest		
Helningsvinkel 30°	Prosjektnr. 20120405	Kart nr. A-6
	Utført KST	Dato 2014-03-04
	Kontrollert MMo	
	Godkjent MMo	

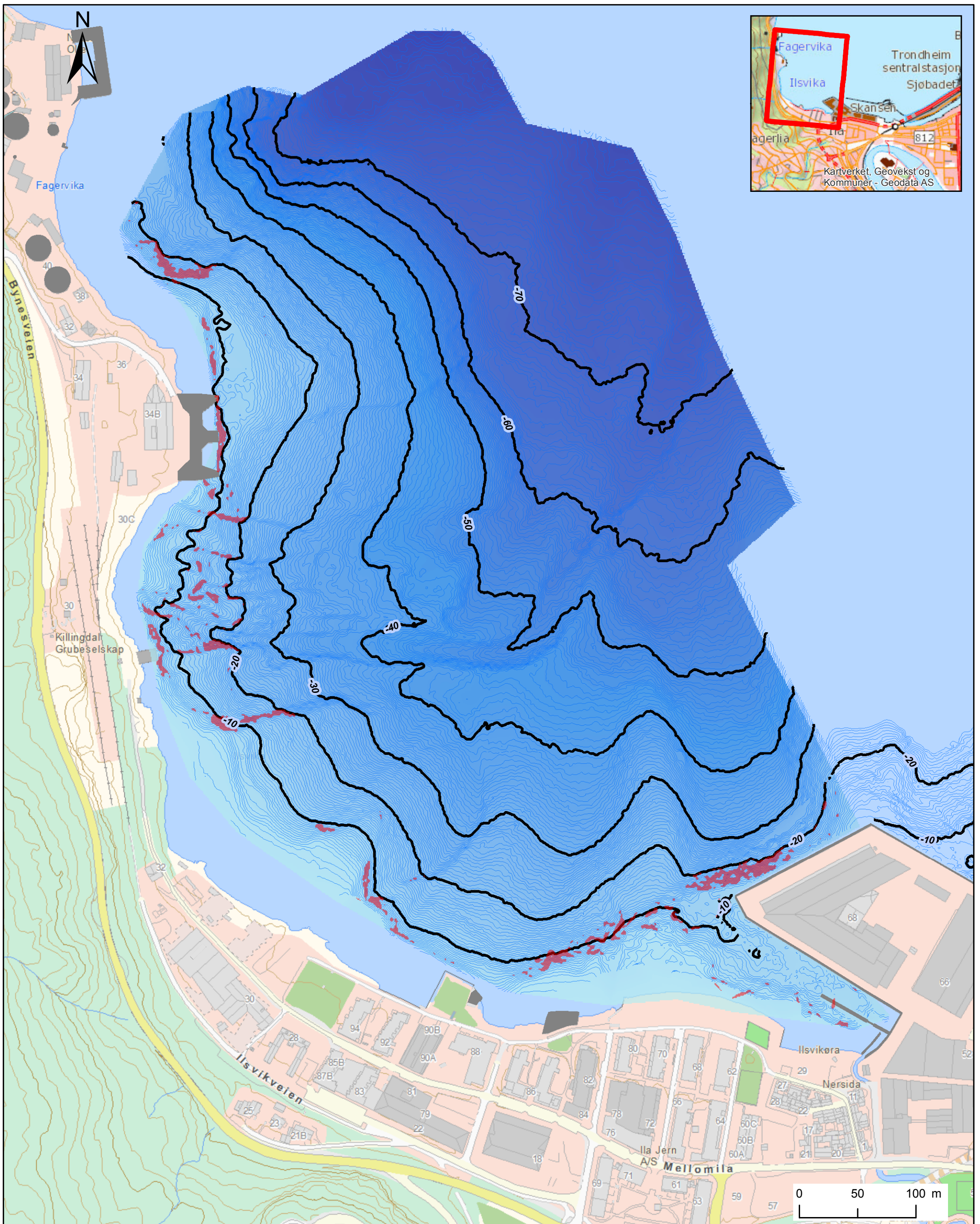


Tegnforklaring

- Brattere enn 18.4° og grunnere enn 20m
- 10 m dybdekoter
- 0,5 m dybdekoter

Målestokk (A3): 1:3 000 Datum: ETRS89, Kartprojeksjon: UTM32N

Pilottest		
Helningsvinkel over 18.4° for Fagervika og Ilsvika	Prosjektnr. 20120405	Kart nr. A-7
	Utført KST	Dato 2014-03-04
	Kontrollert MMo	
	Godkjent MMo	

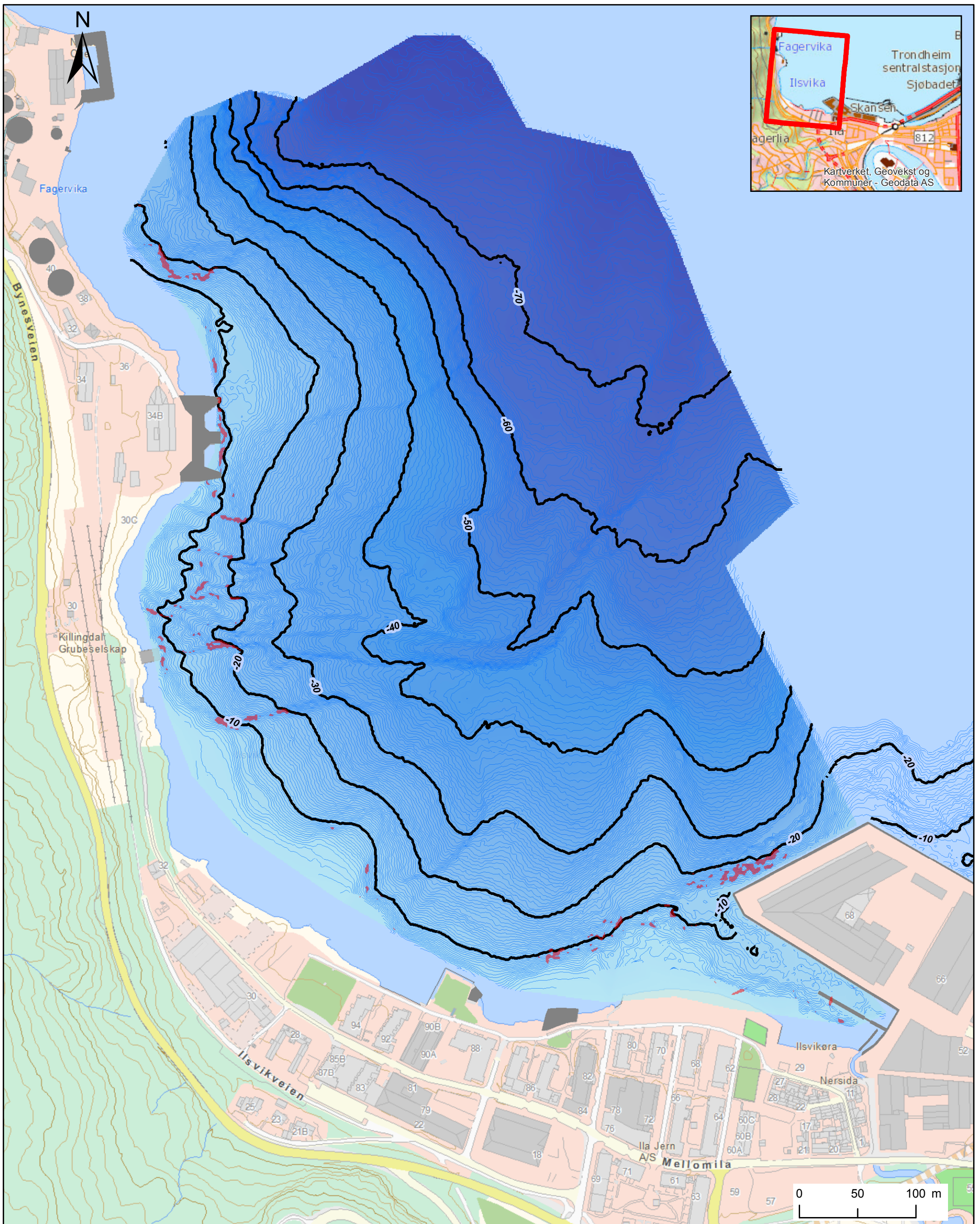


Tegnforklaring

- Brattere enn 26,5° og grunnere enn 20m
- 10 m dybdekoter
- 0,5 m dybdekoter

Målestokk (A3): 1:3 000 Datum: ETRS89, Kartprojeksjon: UTM32N

Pilottest		
Helningsvinkel over 26.5° for Fagervika og Ilsvika	Prosjektnr. 20120405	Kart nr. A-8
	Utført KST	Dato 2014-03-04
	Kontrollert MMo	
	Godkjent MMo	



Tegnforklaring

- Brattere enn 30° og grunnere enn 20m
- 10 m dybdekoter
- 0,5 m dybdekoter

Målestokk (A3): 1:3 000 Datum: ETRS89, Kartprojeksjon: UTM32N

Pilottest		
Helningsvinkel over 30° for Fagervika og Ilsvika	Prosjektnr. 20120405	Kart nr. A-9
	Utført KST	Dato 2014-03-04
	Kontrollert MMo	
	Godkjent MMo	

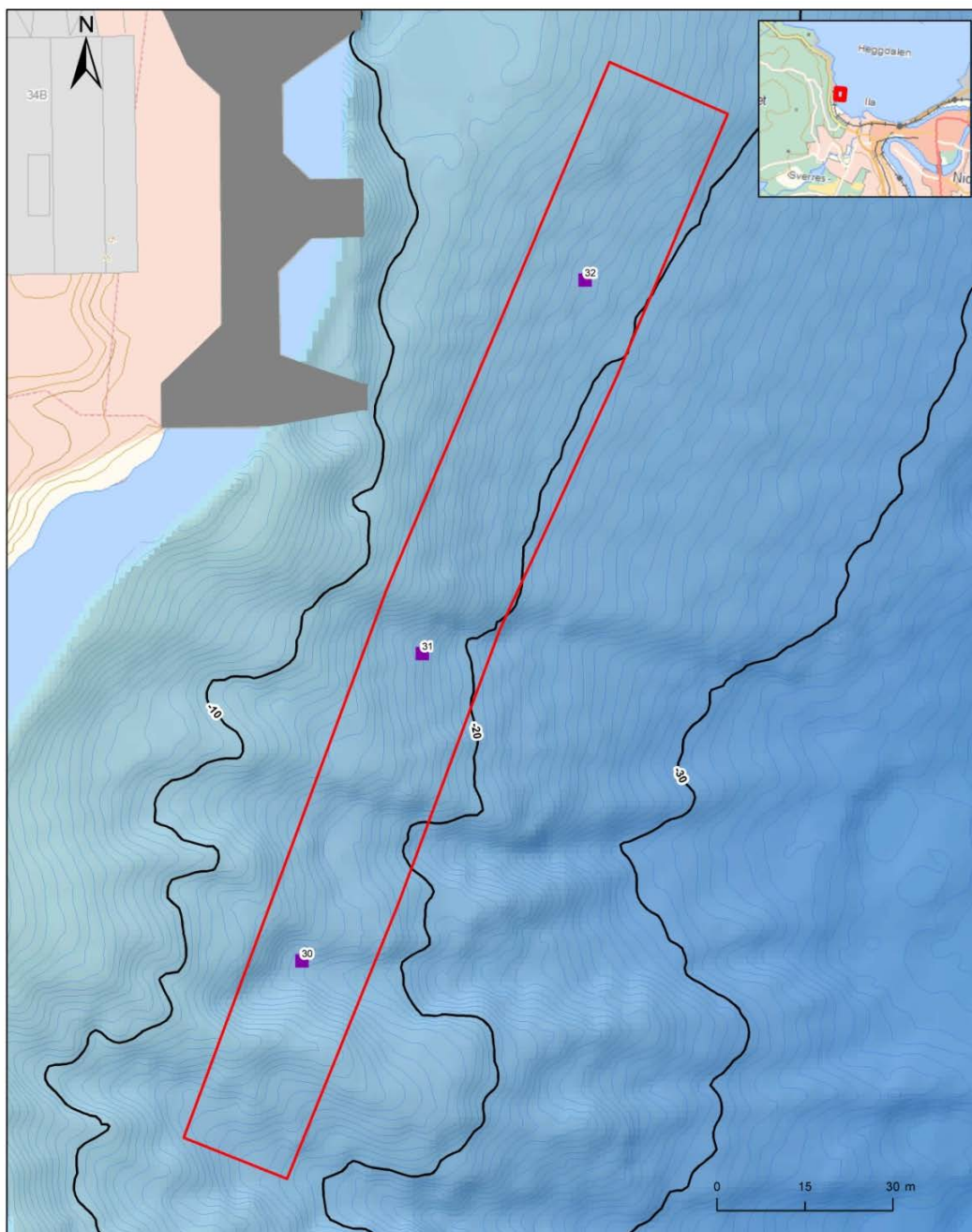
Vedlegg B - Feltrapport fra overvåking etter 6 måneder

Innhold

B1 Feltundersøkelser	2
B2 Resultater	3

B1 Feltundersøkelser

Det ble utført prøvetaking med kjerneprøvetaker 19. september 2013. Prøvetaking ble utført i samarbeid med NTNU, Gunnerus. Kjerneprøvetaking ble utført i 3 stasjoner i testfeltet, hhv stasjon 30, 31 og 32. Kart over prøvetatte stasjoner er vist i Figur 1.



Figur 1: Prøvetakingsstasjon 30, 31 og 32 for kjerneprøver tatt den 19. september 2013.

Prøvene ble skjøvet ut og prøver tatt ut på NTNUs institutt for kjemi. Resultater fra utskyving er gitt i Tabell 1.

B2 Resultater

Prøvetaking av kjerneprøver i testfeltet ble gjennomført i 3 stasjoner. Det ble observert tildekkingsmateriale i alle tre prøvekjerner. Det ble imidlertid observert innblanding av underliggende sjøbunn i prøve 31 og 32. Kjernebeskrivelser er gitt i Tabell 1.

Tabell 1: Oversikt over målt mektighet av tildekkingslag før utskyving av prøver.

Stasjon:	Mektighet (cm)	Kommentar:
30	4,5 – 5 cm	Meget tynt lag med finpartikler på toppen av tildekkingsmaterialet.
31	Ikke mulig å måle eget tildekkingslag	Blandingslag med tildekkingsmateriale og opprinnelig sjøbunn. Stasjon ligger i skråning og prøvetaker kan ha veltet under feltundersøkelsene
32	Ikke mulig å måle eget tildekkingslag	Blandingslag med tildekkingsmateriale og opprinnelig sjøbunn. Prøvetaker kan ha veltet under feltundersøkelsene



Figur 2: Kjerneprøve stasjon 30 fra prøvetaking september 2013. Bildet er tatt etter at vannet er dekantert fra.



Vedlegg C - Feltrapport - Etterkontroll 1 år

Innhold

Vedlegg C-1 Feltrapport fra sedimentprøvetaking

C1 Feltundersøkelser	2
C2 Sedimentprøvetaking	2
C3 Prøvestasjoner kjerneprøver	2
C4 Resultater	3

Vedlegg C-2 Feltrapport ROV-inspeksjon

C1 Feltundersøkelser

Ved avsluttende overvåking 1 år etter utlegging av testfeltet ble det utført filming med ROV i hele testfeltet og i randsoner av feltet. I tillegg ble tatt ut kjerneprøver 6 stasjoner, de samme prøvestasjoner som for-undersøkelser og tidligere overvåking.

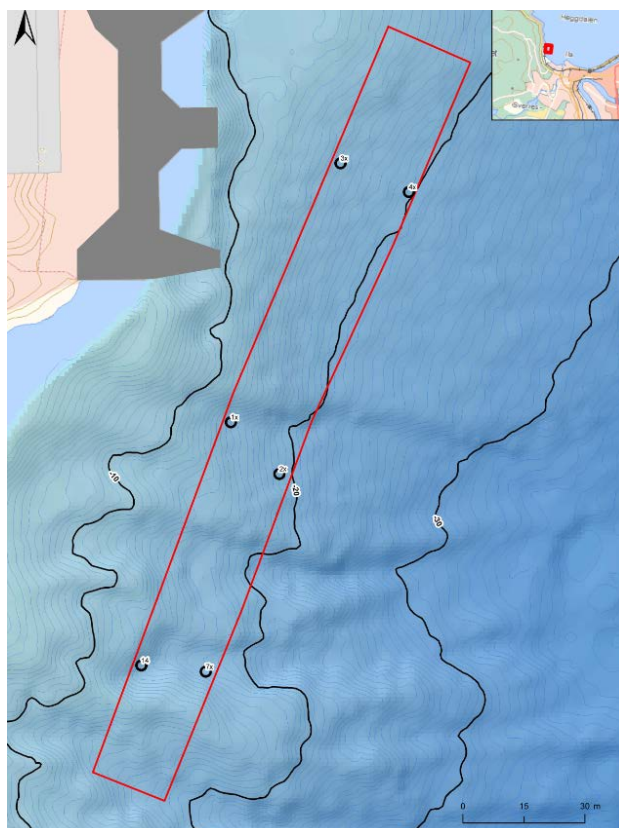
Filming med video ble utført av Skandinavisk Undervannsservice den 24. januar 2014. Feltrapport fra filming er gitt i vedlegg C-2.

C2 Sedimentprøvetaking

Det ble utført prøvetaking med dykker den 10. februar 2014. Utførende dykker var Skandinavisk undervannsservice. Samme firma utførte også videokjøring over hele testfeltet i samme periode.

C3 Prøvestasjoner kjerneprøver

Prøvetaking med dykker ble utført i samme prøvestasjoner som etterkontroll våren 2013. Stasjoner er vist på kart, Figur 1, med koordinater gitt i Tabell 1.



Figur 1: Oversiktskart med prøvepunkter.

Tabell 1: Koordinater for prøvepunkter for etterkontroll.

Punkt nr	North		East	
3x	63	26.211	10	21.163
4x	63	26.207	10	21.183
1x	63	26.177	10	21.129
2x	63	26.170	10	21.143
14	63	26.145	10	21.101
7x	63	26.144	10	21.120


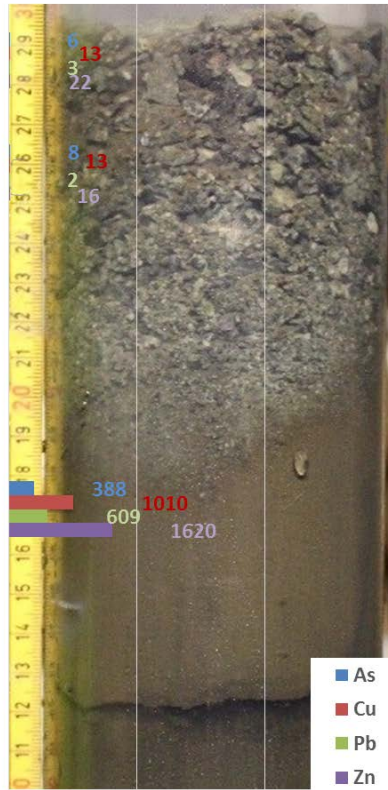
C4 Resultater

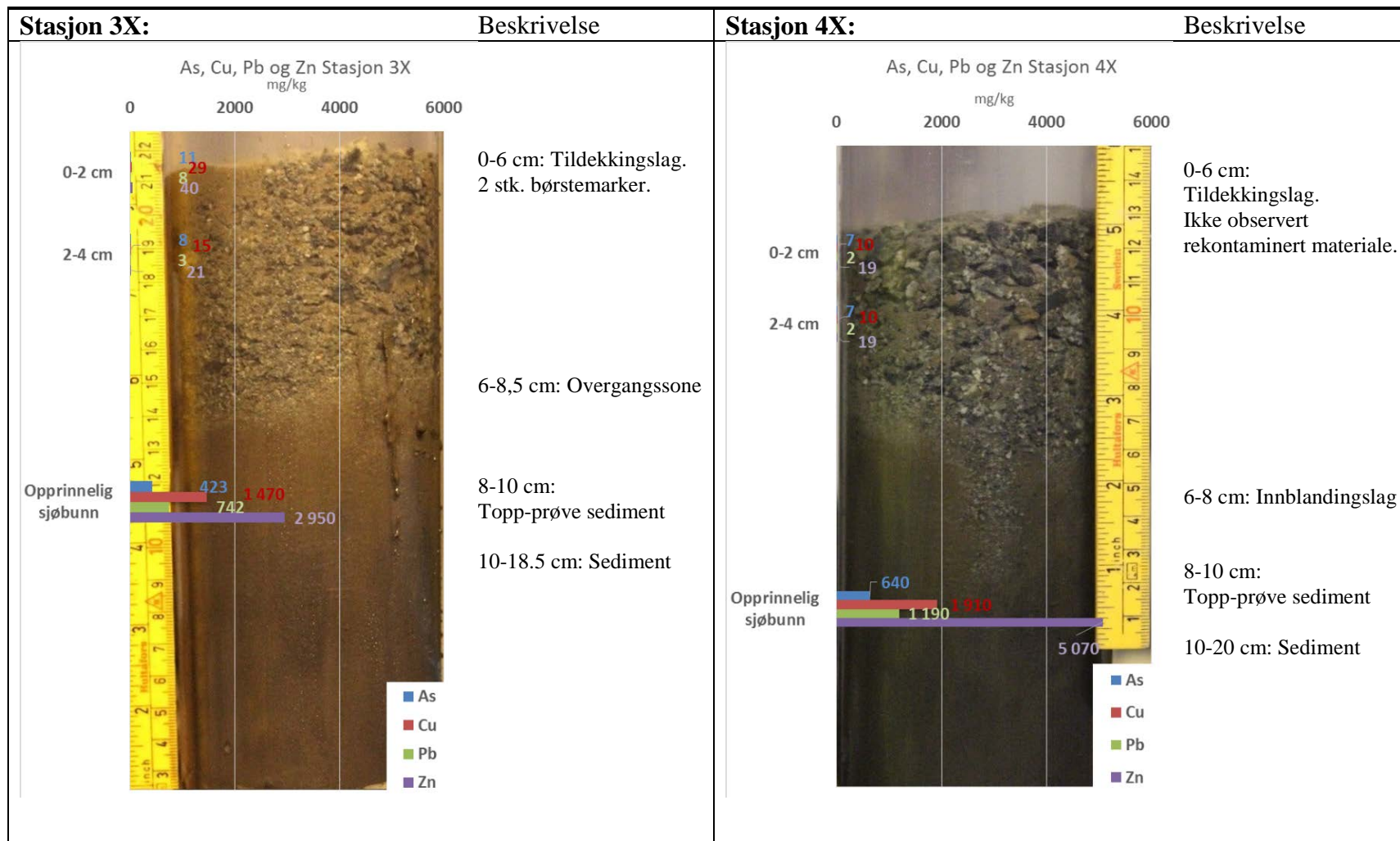
Prøvetaking av kjerneprøver i testfeltet ble gjennomført i 6 stasjoner. Hvor det ble observert tildekkingslag av betydelig mektighet i alle prøvekjerner. Kjernebeskrivelser er vist under. Mektighet av tildekkingslaget ble målt på utsiden av kjernene for å eliminere usikkerhet mht kompresjon av prøvekerne under utskyving. Målinger er gitt i Tabell 2. Bilder av kjerneprøver inkludert analyseresultater for de mest aktuelle parameterne er gitt i Tabell 3. For øvrige analyser er resultater gitt i Tabell 4.

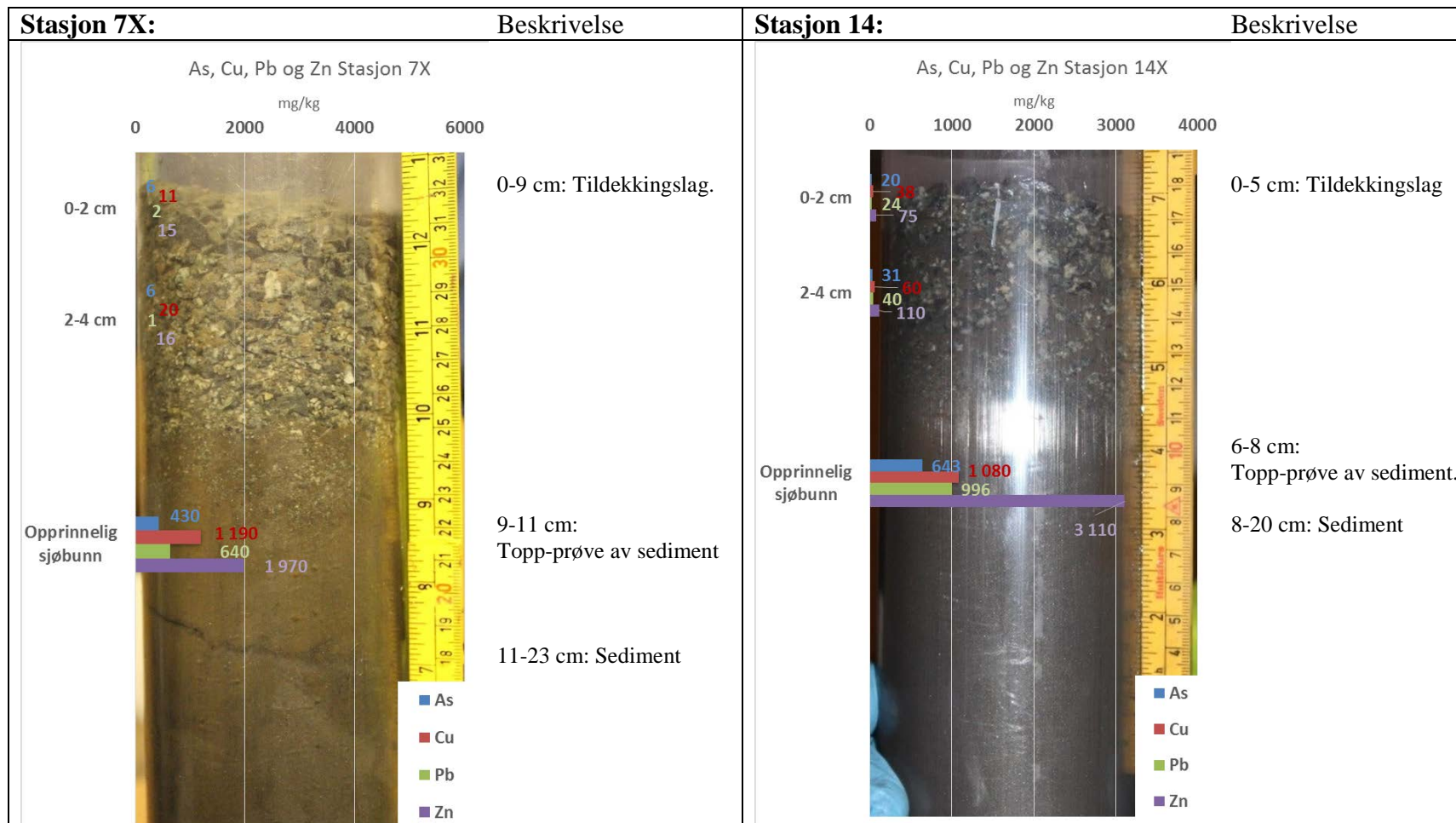
Tabell 2: Oversikt over målt mektighet av tildekkingslag før utskyving av prøver.

Stasjon:	Mektighet (cm)	Kommentar:
1x	4 cm	Stasjon ligger i skråning
2x	8-12 cm	Stasjon ligger i ravinebunn
3x	8 cm	
4x	5-8,5 cm	Varierende mektighet
7x	7 cm	
14	8 cm	

Tabell 3: Profilbeskrivelser for kjerneprøver tatt januar 2014.

Stasjon 1X:	Beskrivelse:	Stasjon 2X	Beskrivelse
<p>As, Cu, Pb og Zn Stasjon 1X mg/kg</p>  <p>0-2 cm: Tildekkings-materiale iblandet bunn-sediment.</p> <p>2-4 cm: Innblandingssone</p> <p>4-6: Topp-prøve sediment</p> <p>6-18,5 cm: Sediment</p> <p>■ As ■ Cu ■ Pb ■ Zn</p>		<p>As, Cu, Pb og Zn Stasjon 2X mg/kg</p>  <p>0-8 cm: Tildekkingslag.</p> <p>8-10 cm: Topp-prøve sediment</p> <p>10-24 cm: Sediment</p> <p>■ As ■ Cu ■ Pb ■ Zn</p>	





Tabell 4: Analyseresultater for prøver fra etterkontroll - 2014. Klassifisert iht tilstandsklasser for sediment (Klif, 2007).

		1x1 0-2cm	1x2 2-4cm	1x3 4-6cm	2x1 0-2cm	2x2 2-4cm	2x5 8-10cm	3x1 0-2cm	3x2 2-4cm	3x5 8-10cm	4x1 0-2cm	4x2 2-4cm	4x5 8-10cm	7x1 0-2cm	7x2 2-4cm	7x5 9-11cm	14x1 0-2cm	14x2 2-4cm	14x 6-8cm
TS (L)	%	82.5	82.2	69.6	96.9	92.8	63.3	83.7	94.2	67.6	92.4	91.9	61.9	85.9	94.2	68.6	95.9	85.5	66.6
As	mg/kg TS	77	546	798	6	8	388	11	8	423	7	7	640	6	6	430	20	31	643
Cd	mg/kg TS	0.39	7.08	14.90	<0.1	<0.1	3.48	<0.1	<0.1	7.77	<0.1	<0.1	14.10	<0.1	<0.1	4.44	0.12	0.15	8.55
Cr	mg/kg TS	98.2	91.8	82.1	117.0	90.9	79.6	75.7	66.7	72.8	85.3	83.6	87.1	104.0	92.0	77.5	74.0	88.1	78.4
Cu	mg/kg TS	187	1 170	1 790	13	13	1 010	29	15	1 470	10	10	1 910	11	20	1 190	38	60	1 080
Hg	mg/kg TS	0.08	0.44	0.71	<0.04	<0.04	0.40	<0.04	<0.04	0.54	<0.04	<0.04	0.80	<0.04	<0.04	0.46	<0.04	<0.04	0.45
Ni	mg/kg TS	35.60	34.10	27.70	39.30	31.50	32.60	30.70	26.90	29.30	32.30	31.10	31.10	31.00	32.60	31.20	29.10	31.20	27.90
Pb	mg/kg TS	109	880	1 530	3	2	609	8	3	742	2	2	1 190	2	1	640	24	40	996
Zn	mg/kg TS	251	2 580	5 080	22	16	1 620	40	21	2 950	19	19	5 070	15	16	1 970	75	110	3 110

	Document title	Revision date	Page
	FELTRAPPORT	04.05.06	1 of 3
		Doc. no.	Rev.
	SUS 140-2014-2	0	

• AS Skandinavisk Undervannsservice • Øysandv. 203 • N-7224 Melhus • www.susas.no • 73 87 18 33

Klient : Norges Geotekniske Institutt
Attn. : Mari Moseid
Fra : Skandinavisk Undervannsservice AS
Attn. : Aage Fjeldvær
Dato : 27.01.2014
Sider : 3

ROV undersøkelse av testfelt ved Fagervika, Trondheim Havn

På oppdrag av Norges Geotekniske Institutt (NGI) utførte Skandinavisk Undervannsservice den 24.01.2014 en sjøbunnbesiktigelse NGI sitt testfelt for tildekking av sjøbunn. Mottatte koordinater fra Agder Marine/ NGI var i WGS-84 geografisk datum og disse ble konvertert til WGS-84 UTM32N koordinater. Arbeidet ble utført ved bruk av ROV (Remotely Operated Vehicle) utstyrt med overflate og undervannsposisjonering.

Inspeksjon

Til denne inspeksjonen ble det benyttet en ROV Outland 1000 med posisjoneringsmodul. I forkant av inspeksjonen ble det lagt opp 10 kjørelinjer på langs av testfeltet samt 3 kjørelinjer på tvers av testfeltet som tverrprofilinjer. På grunn av operative forhold påvirket av til dels sterk vind ble alle linjene kjørt i sydlig retning i mot vinden. Tverrprofiler ble inspisert i fra den dypeste delen og inn i mot grunnere vann da dette gir en bedre visuell dekning en inspeksjon fra grunt vann til dypere vann.

Det ble startet med Linje – 1 som ligger på innersiden av feltet mot land for deretter å fortsette utover i stigende rekkefølge ut til Linje – 10 som ligger på utsiden av feltet på dypere vann. Det ble observert en sunket fortøyningsbøye i testfeltet, denne kan finnes på video: Linje – 3 Tid - 06:40

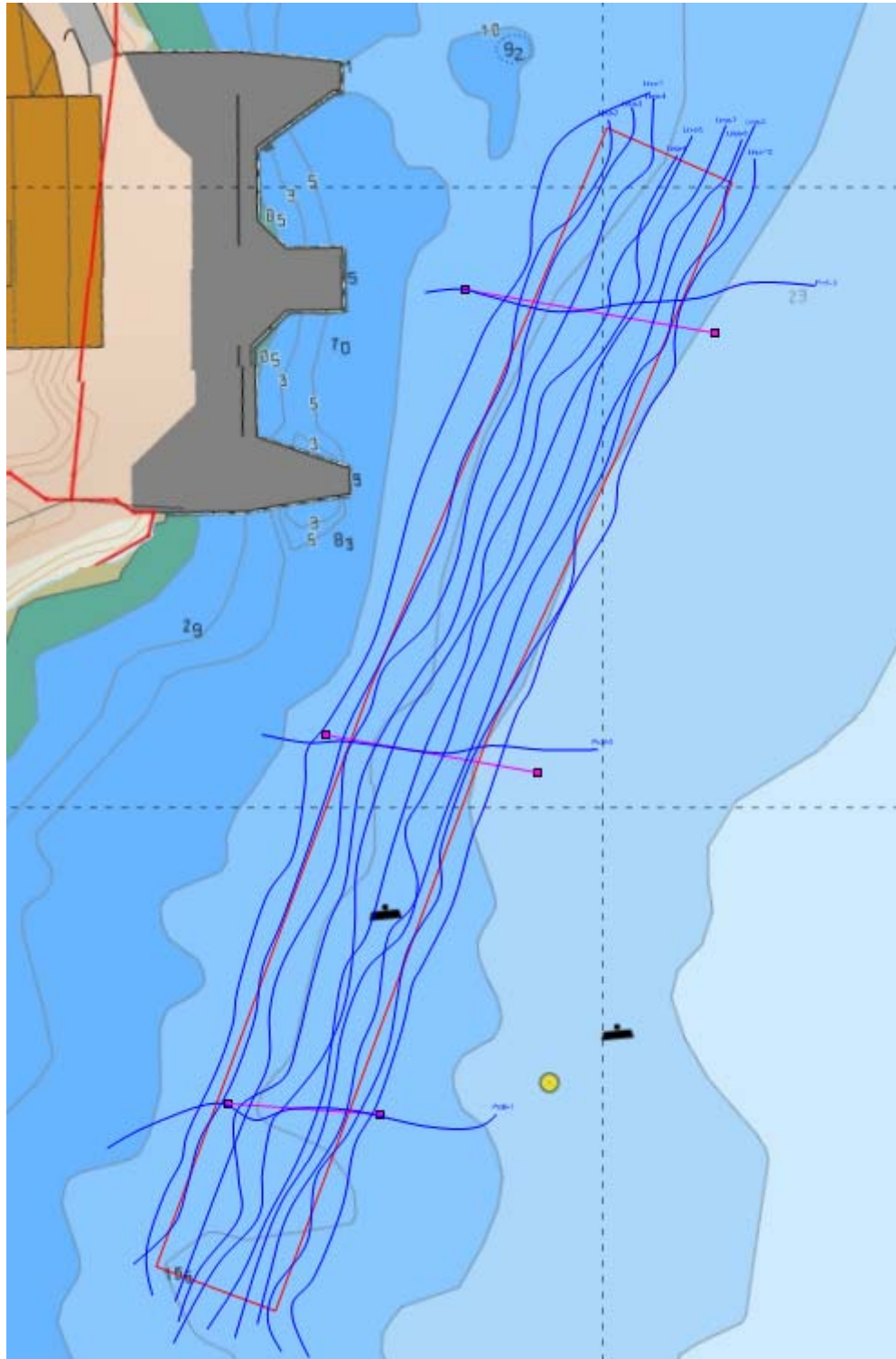
Testfeltet ligger i delvis i et meget kupert område, da dette er et tidligere rasområde, noe om gjorde inspeksjonen noe utfordrende i tillegg til værforholdene denne dag.

AS Skandinavisk Undervannsservice og ROV Supervisor Brynjar Wiig er sertifisert av TWI Certification LTD som ROV Inspektør I henhold til CSWIP 3.3U



	Document title	Revision date	Page
	FELTRAPPORT	04.05.06	2 of 3
		Doc. no.	Rev.
SUS 140-2014-2	0		

• AS Skandinavisk Undervannsservice • Øysandv. 203 • N-7224 Melhus • www.susas.no • 73 87 18 33



Testfelt og kjørelinjer fra ROV
(hentet fra vedlagte kart)

	Document title	Revision date	Page
	FELTRAPPORT	04.05.06	3 of 3
		Doc. no.	Rev.
	SUS 140-2014-2	0	

• AS Skandinavisk Undervannsservice • Øysandv. 203 • N-7224 Melhus • www.susas.no • 73 87 18 33

Video

Vedlagte videodokumentasjon er separert filer for hver enkelt Linje. Video er i *.mp4 format og kan avspilles i de fleste mediaspillerere. Dersom dere har behov for program for avspilling kan vi anbefale gratisprogrammet VLC som kan lastes ned her <http://www.videolan.org/vlc/>

Dataveranse



SUS-140-2014-2 Feltrapport ROV inspeksjon NGI Fagervika.PDF



SUS-140-2014-1 Oversiktskart.PDF



NGI Fagervika Linje 1.mp4



NGI Fagervika Linje 2.mp4



NGI Fagervika Linje 3.mp4



NGI Fagervika Linje 4.mp4



NGI Fagervika Linje 5.mp4



NGI Fagervika Linje 6.mp4



NGI Fagervika Linje 7.mp4



NGI Fagervika Linje 8.mp4



NGI Fagervika Linje 9.mp4



NGI Fagervika Linje 10.mp4



NGI Fagervika Profil 1.mp4



NGI Fagervika Profil 2 .mp4



NGI Fagervika Profil 3.mp4



Dokumentnr.: 20120405-04-R
Dato: 2015-01-20
Rev.nr.: 2
Vedlegg D, side 1

Vedlegg D - Kontrollplan

Til: Klima- og forurensningsdirektoratet
v/: Erik Høygaard
Kopi til: Trondheim kommune, Trondheim Havn
Dato: 7. januar 2013
Rev. nr./ Rev. dato: 01 / 15. januar 2013
Dokumentnr.: 20120405-04-TN
Prosjekt: Pilottest tynntildekking ved Fagervika
Utarbeidet av: Marianne Kvennås
Prosjektleder: Mari Moseid
Kontrollert av: Gijs Breedveld

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
www.ngi.no

Kontroll- og overvåkingsprogram for tildekking

Innhold

1	Innledning	2
1.1	Formål	2
2	Områdebeskrivelse	2
3	Dokumentasjon av ivaretagelse av krav stilt av Klif	4
4	Prosedyrer	5
4.1	Hensyn til friluftsliv, naturmiljø, inn- og utvandring av laksefisk	5
4.2	Varsling av akutt forurensning	6
4.3	Søl av tildekkingsmasser under transport og håndtering	7
4.4	Masser som skal benyttes til tildekking skal karakteriseres som rene og materialets rekoloniseringsegenskaper skal vurderes/dokumenteres	7
4.5	Utlegging av tildekkingsmateriale og overvåking av tildekkingsarbeidene - turbiditetsmåling	8
4.6	Rapportering til Klif	9
5	Referanser	10

Vedlegg:

Vedlegg A Avviksskjema

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

Trondheim kommune planlegger å gjennomføre et pilotprosjekt med tynntildekking av forurensede sedimenter i Fagervika i Trondheim havn. Ca. 4000 m² sjøbunn skal tildekkes med rene masser med en mektighet på 5-10 cm. Tildekkingsmassene vil være pukkmasser levert fra et pukverk utenfor Trondheim, Klæbu kommune.

NGI er engasjert for å lage en kontrollplan som skal sikre at tildekkingsarbeidene vil foregå på en forsvarlig måte med hensyn til miljøet. Kontrollplan for miljøoppfølging av tildekkingen er basert på følgende dokumenter:

- Søknad om tildekking i forbindelse med Pilottest tynntildekking ved Fagervika. Teknisk notat utarbeidet av NGI 18. oktober 2012.
- Tillatelse fra Klif datert 30. november 2012.

Kontrollplanen omfatter kontroll og overvåking for å hindre uakseptabel spredning av partikler under tildekking av forsøksfeltet.

Tildekkingen planlegges utført i uke 4, 2013. Tildekkingen antas å ta ca. 5-7 dager.

1.1 Formål

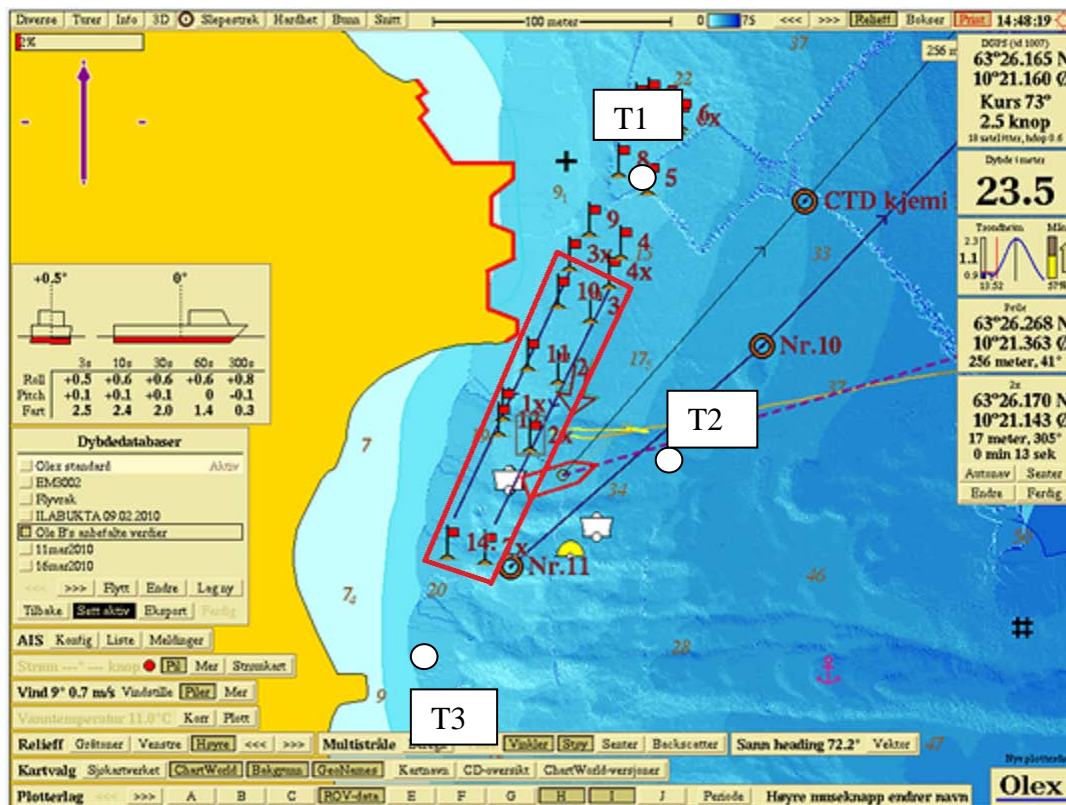
Formålet med kontrollplanen er å:

- Sikre at tiltaket skjer i samsvar med tillatelse og satte vilkår fra Klif, datert 30. november 2011.
- Hindre ukontrollert spredning til miljøet i forbindelse med tildekking av forurensede sedimenter.

Resultatene fra overvåkingen vil danne grunnlaget for sluttrapportering til Klif.

2 Områdebeskrivelse

Kart som viser området som skal tildekkes er vist i Figur 1 (avgrenset med rød firkant). Punkter hvor det skal utføres turbiditetsmålinger (T1, T2 og T3) er vist som hvite sirkler.



Figur 1: Kartskisse med felt for prøvetildekking og posisjoner til stasjoner for måling av turbiditet (T1, T2 og T3). Stasjonene er ikke koordinatfestet.

3 Dokumentasjon av ivaretagelse av krav stilt av Klif

Tabellen nedenfor viser i hvilke kapitler i denne kontrollplanen de ulike krav gitt i tillatelsen fra Klif er ivare tatt.

Tabell 1 Kryssreferanser for ivaretagelse av krav i Klifs tillatelse

Krav i Klifs tillatelse	Krav	Ivare tatt i følgende dokument	Ansvarlig for gjennomføring
1. Generelle vilkår			
1.1	Gjennomføring i henhold til søknad	Denne kontrollplanen	Trondheim kommune
1.2	Trondheim kommune er ansvarlig for at vilkårene i tillatelsen blir overholdt	Denne kontrollplanen	Trondheim kommune
1.3	Om omsøkte løsninger ikke virker som forutsatt i vilkårene, kan den ansvarlige bli pålagt å sette i gang ytterligere tiltak.	Tas til etterretning	Trondheim kommune
1.4	Det må tas hensyn til friluftsliv og naturmiljø i området, inkludert inn- og utvandring av laksefisk	Denne kontrollplanen, kap. 4.1	Trondheim kommune
1.5	Klifs vilkår skal ikke være til hinder for at andre myndigheter kan stille krav.	Tas til etterretning	Trondheim kommune
2. Akutt forurensning			
2.1	Akutt forurensning eller fare for dette skal varsles iht forskrift.	Denne kontrollplanen, kap. 4.2	Trondheim kommune/ Entreprenør
2.2	Transport og håndtering av tildekkingsmasser skal gjøres slik at det blir minimal spredning av forurensning. Søl skal loggføres.	Denne kontrollplanen, kap. 4.3	Trondheim kommune
2.3	Klif skal orienteres minimum to uker før oppstart av tildekking	Tas til etterretning	Trondheim kommune
3. Internkontroll			
3.1	Trondheim kommune plikter å etablere internkontroll for aktiviteten	Overordnet ivare tatt i Trondheim kommunes internkontrollsystem. For spesifikke arbeider vedr. tildekking av forurenset sediment er dette ivare tatt i denne kontrollplanen	Trondheim kommune
4. Tildekkingsmasser og utlekking			
4.1	Masser som skal benyttes til tildekking skal karakteriseres som rene	Denne kontrollplanen, kap. 4.4	Trondheim kommune/ Kontrollansvarlig miljø
4.2	Materialets rekoloniseringsegenskaper skal vurderes/dokumenteres	Denne kontrollplanen, kap. 4.4	Trondheim kommune/ Kontroll-

Krav i Klifs tillatelse	Krav	Ivaretatt i følgende dokument	Ansvarlig for gjennomføring
			Ansvarlig miljø
4.3	Utlegging av rene masser skal legges ut slik at de medfører minst mulig partikkelspredning. Turbiditet skal ikke overstige 10 NTU under utlegging.	Denne kontrollplanen, kap. 4.5	Trondheim kommune/ Kontrollansvarlig miljø/Entreprenør
5. Rapportering			
5.1	Sluttrapport skal sendes Klif innen 3 måneder etter at pilotprosjektet er avsluttet.	Denne kontrollplanen, kap. 4.6	Kontrollansvarlig miljø
6. Kontroll og overvåking			
6.1	Det skal utarbeides et kontroll- og overvåkingsprogram for tildekkingsarbeidene.	Denne kontrollplanen	Kontrollansvarlig miljø
7. Tilsyn			
6.1	Trondheim kommune plikter å la representanter for forurensningsmyndigheten føre tilsyn med tiltaksarbeidet til enhver tid	Tas til etterretning	Trondheim kommune

4 Prosedyrer

I dette kapittelet er de operative kravene gitt i Klifs tillatelse utdypet som egne prosedyrer. Hver prosedyre beskriver ansvarsforhold, tidsfrister, rapporteringsansvar og omfang for de enkelte kontrollpunktene.

4.1 *Hensyn til friluftsliv, naturmiljø, inn- og utvandring av laksefisk*

Ansvarlig for kontroll: **Trondheim kommune**

Henviing til tillatelse: **1.4**

Krav

Det skal tas hensyn til friluftsliv og naturmiljø i området, inkludert inn- og utvandring av laksefisk

Tiltak

Testfeltet skal etableres på mellom 10 og 20 meters dyp, og forventes dermed ikke å ha innvirkning på friluftsinnteresser. I følge fiskeforvalter ved miljøenheten i Trondheim kommune er perioden det skal tildekkes (vinter) ikke en kritisk periode for inn- eller utvandring av laksefisk.

Rapportering

Alle unormale forhold som kan få forurensningsmessig betydning rapporteres i sluttrapport.

4.2 *Varsling av akutt forurensning*

Ansvarlig for kontroll: **Trondheim kommune og Entreprenør**
Henvisning til tillatelse: **2.1**

Krav

Akutt forurensning eller fare for akutt forurensning som følge av virksomheten skal varsles i hht Forskrift om varsling av akutt forurensning eller fare for akutt forurensning av 09.07.1992.

Hensikt

Ved akutt forurensning skal det iverksettes tiltak så raskt som mulig for å begrense skade, som f.eks. oljespill som følge av havari skal entreprenør umiddelbart avbryte arbeidene.

Målinger og utførelse

Entreprenør skal oppdage akutt forurensning på et så tidlig stadium som mulig, eksempelvis ved visuell observasjon eller lignende.

Tiltak

Entreprenør skal avbryte pågående arbeider og iverksette tiltak mot akutt forurensning så raskt som mulig for å begrense skadevirkningene. Det skal være tilgjengelig innsatsutstyr (oljelenser eller annet relevant utstyr) i umiddelbar nærhet. Innsatsutstyrets kapasitet skal være dimensjonert for de forhold som kan inntreffe.

Varsling

Akutt forurensning varsles til telefon 110 (brannvesenet), samt Trondheim kommune.

Rapportering

Alle hendelser vedrørende akutt forurensning skal avviksrapporteres til Trondheim kommune. Trondheim kommune underretter Klif om hendelsen umiddelbart.

4.3 *Søl av tildekkingsmasser under transport og håndtering*

Ansvarlig for kontroll: **Entreprenør**

Henvising til tillatelse: **2.2**

Hensikt

Hensikten er å forhindre vesentlig søl av tildekkingsmasser under transport og håndtering. Vesentlig massetap av masser utenfor området som skal tildekkes skal unngås.

Målinger og utførelse

Entreprenør skal via visuell kontroll oppdage vesentlig søl av tildekkingsmasser.

Tiltak

Entreprenør skal avbryte pågående arbeider og iverksette tiltak mot vesentlig søl av tildekkingsmasse innen rimelig tid.

Rapportering

Alle hendelser vedrørende vesentlig søl av tildekkingsmasse skal avviksrapporteres til Trondheim kommune.

4.4 *Masser som skal benyttes til tildekking skal karakteriseres som rene og materialets rekoloniseringsegenskaper skal vurderes/dokumenteres*

Ansvarlig for kontroll: **Kontrollansvarlig miljø (KM)**

Henvising til tillatelse: **4.1 og 4.2**

Krav

Massene som skal benyttes til tildekking skal karakteriseres som rene iht Klifs veileder 2143/2005, Veiledende testprogram for tildekkingsmasser. Massene skal også være egnet til rekolonisering.

Kontroll

Det er tenkt å bruke pukk fra pukkverk i Sjøla i Klæbu kommune. Det er utført en karakterisering av tildekkingsmassene som beskrevet i Klifs veileder 2143/2005, Veiledende testprogram for tildekkingsmasser. Dette er rapportert i NGIs rapport 20120405-02-R av 01. januar 2013. Tildekkingsmassene er dokumentert rene.

Når det gjelder egnethet for rekolonisering, er tilsvarende pukk masser brukt ved tildekking ved Malmøykalven og en nylig gjennomført DNV rapport "Rekolonisering av bentisk fauna ved dypvannsdeponiet, Malmøykalven" (2012) viser rekolonisering et år etter at tildekkingen var avsluttet. Artssammensetningen representerer et typisk koloniseringsstadium og over tid forventes at faunaen i tildekkingsområdet følger et typisk bentisk suksesjonsmønster. Dermed anses de valgte massene som egnet for rekolonisering.

4.5 *Utlegging av tildekkingsmateriale og overvåking av tildekkingsarbeidene - turbiditetsmåling*

Ansvarlig for kontroll: **Kontrollansvarlig miljø (KM) og Entreprenør**
Henvisning til tillatelse: **4.3**

Hensikt

Hensikten er å utføre og overvåke tildekkingsarbeidene slik at en kan forhindre redusert vannkvalitet som følge av arbeidene, og nedslamming av områder som tilstøter tiltaksområdet.

Krav

Utleggingen av rene masser skal legges ut slik at de så raskt som mulig synker til bunns og ikke medfører stor partikkelspredning.

Turbiditet i vannsøylen skal overvåkes under utleggingen. Turbiditet i en referansestasjon skal også måles.

Grenseverdien er definert til 10 NTU over turbiditet på referansestasjonen. Ved overskridelser av grenseverdien på samme stasjon to påfølgende runder, over en periode på 30 minutter, skal arbeidene stanses umiddelbart, årsaksforholdene avklares og nødvendige tiltak gjennomføres. Prosessen kan ikke starte opp før turbiditeten er nede på stabile nivåer under grenseverdien.

Utlegging av masser

Utlegging med sandmaterialer er tenkt utført ved hjelp av en liten fallbunnslekter, hvor massene strøs ut fra en spalte mens lekteren er i fart, ref. NGIs rapport 20120405-02-R av 01. januar 2013.

Turbiditetsmålinger

- Det etableres 3 overvåkingsstasjoner (T1, T2 og T3), som vist på kart i figur 1 i denne kontrollplanen. Stasjonene plasseres nord, øst og sør for tildekkingsområdet, ca. 50 m utenfor grensen.
- Måling av turbiditet utføres med håndholdt utstyr fra båt.
- Før tildekkingen påbegynnes måles referanseverdier for turbiditet for området. I hver stasjon gjøres målinger for hver 5 meter ned til 2 meter over bunnen. (eks. dybde 0, 5, 10, og 15 meter). Den lavest registrerte verdien i T1, T2 og T3 blir gjeldende referanseverdi for turbiditet under tildekkingen.
- Under tildekkingen utføres turbiditetsmålinger i hvert målepunkt for hver 5 meter hvert 30. minutt.
- Etter at tildekkingen er avsluttet utføres turbiditetsmålinger i hvert målepunkt for hver 5 meter. Dagen etter at siste utlegging er ferdig.

Forts. 4.5

Kontroll

- Måleverdiene registreres i en logg som KM oppretter. Grenseverdien skal kalibreres mot målinger i referansestasjonen.
- Dersom turbiditeten under tildekking av forurensede sedimenter overskrider grenseverdien i mer enn 30 minutter skal entreprenøren varsles pr. telefon.
- Arbeidene skal stoppes inntil turbiditeten er under grenseverdi. Det skal vurderes hva årsaksforholdet til overskridelsene kan være, og om det kan gjøres justeringer i utleggingsmetode dersom frekvensen av overskridelser av grenseverdien blir vesentlig.

Rapportering

Alle turbiditetsmålinger skal loggføres med tidspunkt og måleverdi. Dette utføres av KM.

Tidspunkt for og varighet av stans på anlegget på grunn av forhøyet turbiditet rapporteres i logg for overvåking. Dette er entreprenørens ansvar. Avvik behandles fortløpende og oversendes Trondheim kommune. Måledata, gjennomførte tiltak, logger og avviksskjema som utarbeides av KM og entreprenør vedlegges sluttrapporten.

4.6 Rapportering til Klif

Ansvarlig for kontroll: **Kontrollansvarlig miljø**

Henvvisning til tillatelse: **5.1**

Hensikt

Hensikten er å tilfredsstille Klifs krav til dokumentasjon av arbeidene.

Omfang

Det skal utarbeides sluttrapport for arbeidene senest innen 3 måneder etter at anleggsarbeidene er avsluttet.

Innhold

Sluttrapporten skal bla omfatte:

- Beskrivelse av erfaringer/konklusjoner fra pilotprosjektet.
- Resultater fra turbiditetsmålinger.
- Beskrivelse av eventuelle avbøtende tiltak som er gjennomført for å hindre uheldig påvirkning på omgivelsene fra gjennomførte tiltak.

5 Referanser

Klif (2005)

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

NGI (2012)

Søknad om tildekking i forbindelse med Pilottest tynntildekking ved Fagervika, datert 18. oktober 2012, 20120405-03-TN.

NGI (2013)

Vurdering av tildekkingsmasser, datert 1.januar 2013, 200120405-02-R

Oceanor (1991)

Resipientundersøkelse av Ilsvikaområdet 1991.



Dokumentnr.: 20120405-04-TN
Dato: 2013-01-07
Rev. nr.: 01 / 2013-01-15
Vedlegg: A
Side: 1

Vedlegg A Skjema for avviksrapportering

KONTRAKT Bestilling fra Trondheim kommune	AVVIK NR. Lnr.	DATO	NAVN PÅ AVVIKET
AVVIKET MELDT AV (Navn, stilling og firma)		AVVIKET RAPPORTERT AV (Navn, stilling og firma)	
AVVIKET FUNNET VED HVILKEN TYPE KONTROLL?			
BESKRIVELSE AV AVVIKET:			
STED / OMRÅDE			
KRAVSPESIFIKASJON			
ÅRSAKER TIL AVVIKET/ANSVAR FOR AVVIKET:			
KORRIGERENDE TILTAK:			
FRIST FOR UTBEDRING	ANSVARLIG FOR UTBEDRING	KONSEKVENSN FOR TILTAKSHAVER*	
		Ja <input type="checkbox"/>	Nei <input type="checkbox"/>
KONSEKVENSER FOR SLUTTPRODUKTET			
AVVIKET SENDT TILTAKSHAVER (Dato og sign)	FRIST FOR TILTAKSHAVERS TILBAKEMELDING		
TILTAKSHAVERS KOMMENTARER			
TILTAKSHAVERS AKSEPT (Dato og tiltakshavers signatur)			
AVVIK LUKKET (Dato og KS-leders signatur)		(Dato og anleggsleders/prosjekteringsleders signatur)	

Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



Dokumentinformasjon/Document information									
Dokumenttittel/Document title Kontroll- og overvåkingsprogram for tildekking			Dokumentnr./Document No. 20120405-04-TN						
Dokumenttype/Type of document Teknisk notat / Technical Note		Distribusjon/Distribution Begrenset/Limited		Dato/Date 2013-01-07					
				Rev.nr.&dato/Rev.No.&date 01 / 2013-01-15					
Oppdragsgiver/Client Trondheim kommune									
Emneord/Keywords Overvåking, turbiditet									
Stedfesting/Geographical information									
Land, fylke/Country, County Sør-Trøndelag				Havområde/Offshore area					
Kommune/Municipality Trondheim				Feltnavn/Field name					
Sted/Location Fagervika				Sted/Location					
Kartblad/Map 1621 IV Trondheim				Felt, blokknr./Field, Block No.					
UTM-koordinater/UTM-coordinates Sone 32 N7035023 E567498									
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	MKv		GB					
1	Endring pkt. 4.4 og 4.5	MKv	Mkv	GB	GB				
Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release		Dato/Date 15. januar 2013		Sign. Prosjektleder/Project Manager Mari Moseid <i>Mari Moseid</i>					

Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



Dokumentinformasjon/Document information											
Dokumenttittel/Document title Pilottest tynntildekking Fagervika – Sluttrapport						Dokumentnr./Document No. 20120405-04-R					
Dokumenttype/Type of document Rapport/Report			Distribusjon/Distribution Fri/Unlimited			Dato/Date 4. mars 2014		Rev.nr.&dato/Rev.No.&date 2 / 20. januar 2015			
Oppdragsgiver/Client Trondheim kommune											
Emneord/Keywords Forurenset sjøbunn, tynntildekking, tungmetaller											
Stedfesting/Geographical information											
Land, fylke/Country, County Norge, Sør-Trøndelag						Havområde/Offshore area					
Kommune/Municipality Trondheim						Felt navn/Field name					
Sted/Location Fagervika						Sted/Location					
Kartblad/Map 1621 IV Trondheim						Felt, blokknr./Field, Block No.					
UTM-koordinater/UTM-coordinates Sone 32 N7035023 E567498											
Dokumentkontroll/Document control											
Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001											
Rev./Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision					Egenkontroll/ 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/ GBr/ VG	MMo/ GBr/ VG	KE/ EE	KE/ EE		
1	Implementering av kommentar fra Trondheim kommune					MMo/ GBr/ VG	MMo/ GBr/ VG	KE/ EE	KE/ EE		
2	Implementering av kommentar fra Trondheim kommune					2015-01-16 MMo/GBr/VG		2015-01-16 KE/EE			
Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release						Dato/Date 20. januar 2015		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 og leder "International Centre for Geohazards" (ICG).

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 and leads the International Centre for Geohazards (ICG).

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
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

