



# Rapport / Report

## Pilottest tynntildekking Fagervika

### Feltrapport tildekking 2013

20120405-03-R  
21. juni 2013  
Rev. nr.:

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: Feltrapport 2013  
Dokumentnr.: 20120405-03-R  
Dato: 21. juni 2013  
Rev. nr./rev. dato: 0

Hovedkontor:  
Pb. 3930 Ullevål Stadion  
0806 Oslo

Avd Trondheim:  
Pb. 1230 Sluppen  
7462 Trondheim

T 22 02 30 00  
F 22 23 04 48

Kontonr 5096 05 01281  
Org. nr 958 254 318 MVA

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

## Oppdragsgiver

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

## For NGI

Prosjektleder: Mari Moseid  
Utarbeidet av: Mari Moseid  
Kontrollert av: Gijs Breedveld

## Sammendrag

Tiltaksplanen for Trondheim havn beskriver tildekking i området Ilsvika og Fagervika. Et tildekkingsareal på totalt 110.000 m<sup>2</sup> ned til kote -20 m. De to områdene gir utfordringer knyttet til valg av tildekkingsmateriale og mektighet grunnet bratt skrånende sjøbunn og stabilitet. Tildekkingen er derfor tenkt som en tynntildekking. For å komme fram til egnet tiltaksmetode utføres en pilottest som ser på material-egenskaper og utlegging av tildekkingsmasser i et testfelt på ca 4.000 m<sup>2</sup>.

Testfeltet i Fagervika har blitt tildekket med 530 m<sup>3</sup> tildekkingsmasse. Utleggingen med fallbunnslekter har vært vellykket og arbeidene ble utført innenfor de rammer som ble satt for anleggsarbeidene. Turbiditeten målt i anleggsperioden var lav og hovedsakelig på bakgrunnsnivå.

Resultater fra kontrollundersøkelser med SPI-kamera viser at man har fått tildekket hele det 4000 m<sup>2</sup> store testfeltet og noe spredning av masser mot dypere vann har blitt funnet. Mektigheten på tildekkingslaget har vært vanskelig å anslå nøyaktig på

## Sammendrag (forts.)



Dokumentnr.: 20120405-03-R

Dato: 2013-06-21

Rev. nr.: 0

Side: 4

grunn av fasthet i massene. Ved hjelp av SPI-bilder ble en maksimum tykkelse på minimum 7 cm funnet. Bokscore prøver viser ca. 5 cm tykkelse, men disse målinger er beheftet med større usikkerhet. Videre overvåking vil fokusere på å dokumentere mektighetene nærmere med utvidet prøvetaking samt vurdere erosjon og avsetning av ny sedimentert materiale i testfeltet.

# Innhold

<b>1</b>	<b>Innledning</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Generelt om tildekking og tynn tildekking</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Søknad og tillatelser</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Karakterisering av testfeltet</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>Tildeckingsmateriale</b>	<b>8</b>
<b>6</b>	<b>Grovrisikoanalyse av tildeckingsarbeider</b>	<b>8</b>
<b>7</b>	<b>Utlekking av masser</b>	<b>8</b>
<b>8</b>	<b>Kontroll – og overvåkingsprogram for tildekking</b>	<b>11</b>
<b>9</b>	<b>Sedimentundersøkelser etter tildekking av testfeltet</b>	<b>14</b>
	9.1 SPI kameraundersøkelser	14
	9.2 Kjerneprøver og bokscorer	21
<b>10</b>	<b>Oppsummering</b>	<b>24</b>
<b>11</b>	<b>Referanser</b>	<b>24</b>

## Vedlegg

Vedlegg A: Kartvedlegg

Vedlegg B: Rapport fra NIVA. SPI-undersøkelser

## Kontroll- og referanseside



## 1 Innledning

Tiltaksplanen for Trondheim havn beskriver tildekking i området Ilsvika og Fagervika som et prioritert tiltak. Området dekker et tildekkingsareal på totalt 110.000 m<sup>2</sup> ned til kote -20 m (NGI/DNV, 2011). Områdene gir utfordringer knyttet til valg av tildekkingsmateriale og mektighet grunnet bratt skrånende sjøbunn og stabilitet. Tildekkingen er derfor tenkt som en tynntildekking. For å komme fram til egnet tiltak utføres en pilottest som ser på material egenskaper og utleggingsmetodikk for tildekking i et testfelt på ca. 4.000 m<sup>2</sup>. Vurderingen av tildekkingsmaterialet i prøve-tildekkingsfeltet skal ha som mål å avklare om materialet er egnet som tildekkingsmateriale i hele tiltaksområdet ved Ilsvika og Fagervika.

Testfeltet er plassert i et område med sterkt skrånende bunn. Deler av feltet ligger i en tidligere rasgrop fra 8. oktober 1950 (NGI, 2012b) og har tydelige tegn på erosjon med en ravinert sjøbunn. I og med at tildekkingsarealet i Ilsvika og Fagervika er stort er det viktig at valg av massene som ønskes benyttet tar hensyn til både fysiske / kjemiske egenskaper og kostnadsnivå. I søknad om tiltak i sjø til Klif er det søkt om bruk av leirmasser eller lokale sandmasser (NGI, 2012a). Etter en vurdering av ulike typer tildekkingsmateriale ble det konkludert med at maskinsand fra Sjøla (lokalt pukkverk) ville være mest egnet som tildekkingsmateriale i pilottesten (NGI, 2013a).

Tildekking av testfeltet ble gjennomført i februar i 2013 og denne rapporten beskriver utleggingsmetodikk og utførelse samt resultatene fra kontroll i anleggsfasen og første runde etter utlegging.

## 2 Generelt om tildekking og tynn tildekking

Tildekking av forurenset sjøbunn gjøres for å redusere kontakten mellom bunnfauna og de forurensete sedimentene samt ovenstående vannsøyle. Før tildekking kan forurensningen spres på grunn av biodiffusjon og oppvirvling. Etter tildekking vil transport fra den forurensete sjøbunnen via diffusjon og potensiell oppvirvling være sterkt redusert. Tynntildekking har vært utprøvd i forskningsprosjektet OPTICAP som ser på tynntildekking med aktive og passive (uten spesifikke bindingsegenskaper) materialer (NGI, 2007). Bakgrunnen for prosjektet var å se på mulige tiltaksløsninger for store sedimentareal hvor mudring og isolering (tradisjonell tildekking) ville resultere i et betydelig inngrep i fjordområdet og medføre stor ressursbruk og kostnader.

## 3 Søknad og tillatelser

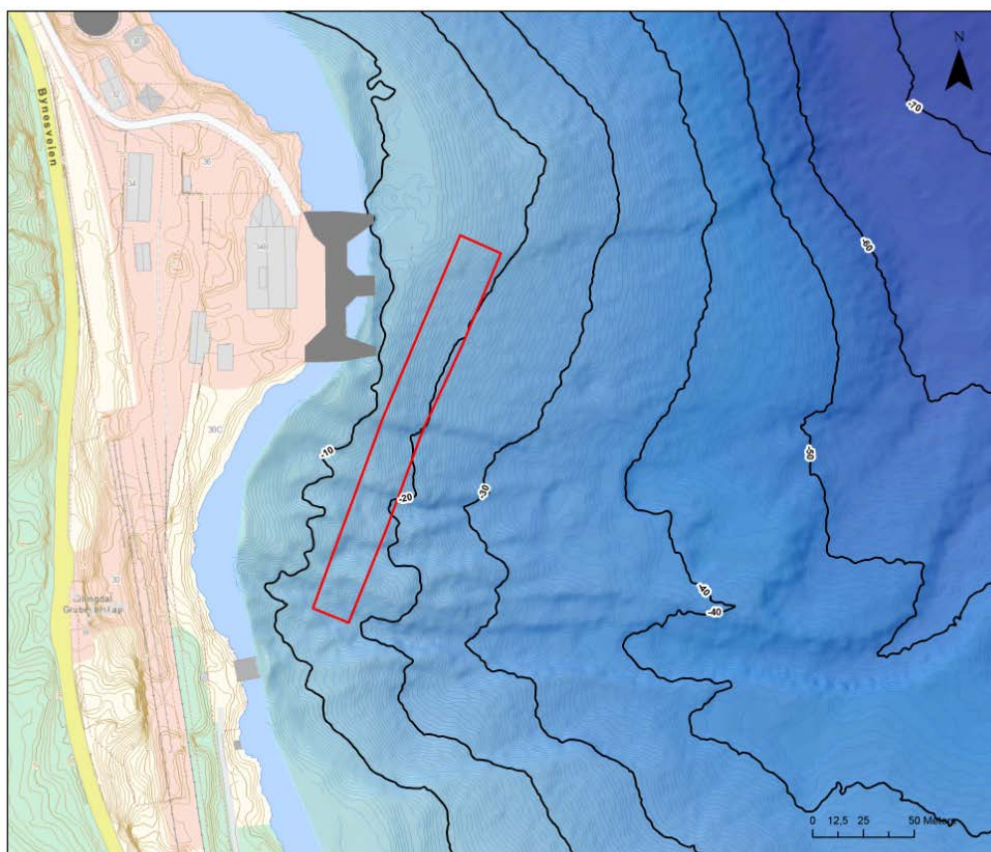
Trondheim kommune er tiltakshaver for pilottest tynntildekking Fagervika. NGI utarbeidet søknad for tildekking av testfeltet på vegne av Trondheim kommune oktober 2012. Klif ga tillatelse til tildekking i brev datert 30. november 2012. I tillatelsen ble det stilt krav til utarbeidelse av et kontrollprogram for overvåking av partikkelspredning (turbiditet) under utlegging av massene. Oppfølging av kontrollprogrammet er gitt i kapittel 8.

#### 4 Karakterisering av testfeltet

Testfeltets lokalisering er gitt i figur 1 og plasseringen er noe lenger sør enn opprinnelig planlagt for å unngå konflikt med båttrafikk i tilknytning til Killingdal kai. Feltet er plassert slik at det ligger i en skråning der det er funnet høye konsentrasjoner av tungmetaller og egner seg for å få data i forbindelse med ulike problemstillinger knyttet til tildekkingsområdets bunntopografi. Følgende problemstillinger er forsøkt dekket gjennom testtildekkingen:

- Omfang og mulig innvirkning av erosjon
- Effekten av en undersjøisk rasgrop, (8. oktober 1950) på gjennomførbarhet av tildekkingen

Basert på beregninger fra dybdekart har området en helningsvinkel som varierer fra ca. 14° til 27° (ca. 1:4 til 1:2). Dette tilsvarer sjøbunns helning flere steder i Fagervika og Iilsvika. For å få dekket ulike helningsvinkler i samme testfelt er forsøksfeltet lagt med en stripe på 20 x 200 m parallelt med dypeste kote ca. – 20 m (figur 1).



Figur 1: Plassering av forsøksfeltet pilottest i Fagervika (rød ramme). (Sjøbunnsdata fra Geo Sub Sea). Begrenset datagrunnlag langs land.



## 5 Tildekkingsmateriale

Ulike typer materiale for tildekking av testfeltet er vurdert gjennom fysiske og kjemiske tester av materialene i henhold til krav i Klifs tildekkingsveileder (Klif, 2005). Tildekkingsmaterialer som er vurdert er leire fra et lokalt mudreprosjekt (Grilstadjæra) samt pukk og natursand fra en lokal masseleverandør (Ramlo Sandtak AS). Leiremasser fra Grilstad ble vurdert ikke å være egnet pga. av stabiliteten ved utleggingen samt fare for oppbygging av poreovertrykk i underliggende masser med høyere permeabilitet. Dette vil kunne påvirke stabiliteten i tildekkingsområdet. Natursand og maskinsand er grovere enn underliggende sjøbunn og dermed tillate drenering av eventuell porevann som trenger opp fra det underliggende sedimentet. Knust fjell i størrelse fraksjon 0-8 mm ble valgt ut på grunn av gode filteregenskaper og større motstand mot erosjon enn natursand. Nærmere vurdering av tildekkingsmaterialer er gitt i egen NGI-rapport (NGI, 2013a).

## 6 Grovrisikoanalyse av tildekkingsarbeider

For alle operasjoner knyttet til sjøarbeidene (operasjon med opplasting, transport og utlegging samt kontrollmålinger under arbeidene) ble det gjennomført en grovrisikovurdering for å identifisere risiko for uønskede hendelser. Risikoen uttrykkes ved sannsynligheten for- og konsekvensen av hendelsen. Grovanalysen identifiserte risiko samt presenterte tiltak for å redusere sannsynlighet for at uønskede hendelser skjer samt minske konsekvensen hvis uønskede hendelse opptrer. Resultater fra grovrisikoanalysen (NGI, 2013c) ble presentert for alle aktuelle parter i prosjektet før arbeidet ble på begynt. Det ble også gjennomført sikker jobb-analyser (SJA) for identifiserte aktiviteter med de aktuelle aktører.

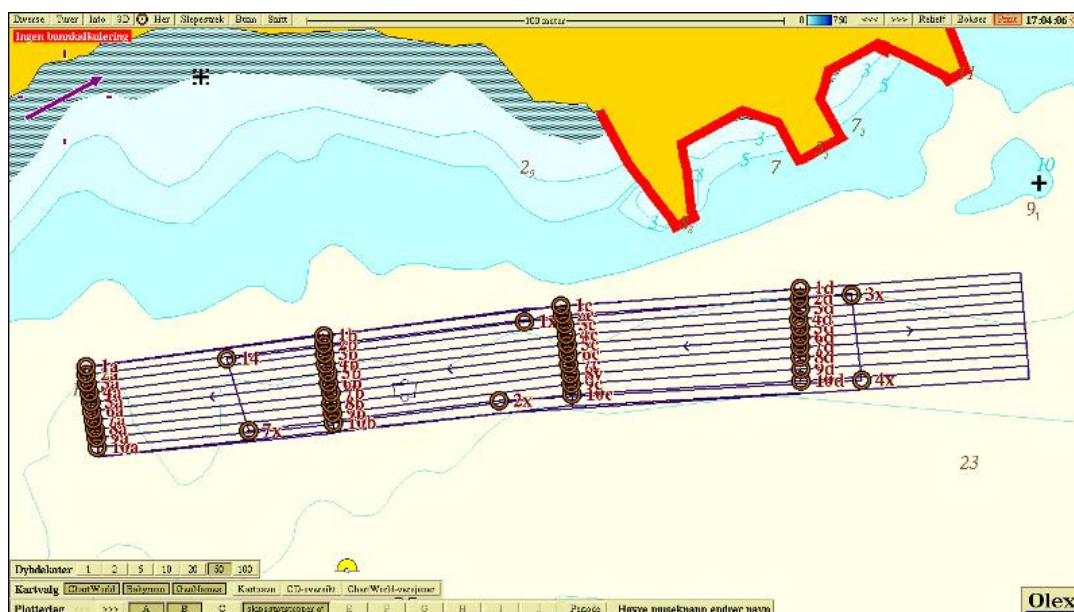
## 7 Utlegging av masser

Testfeltet ble planlagt med et tildekkingslag på 10 cm tykkelse som tilsvarer en teoretisk mengde på 400 m<sup>3</sup> tildekkingsmateriale på det 4000 m<sup>2</sup> 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 utenfor planlagt tildekkingsareal. Dette medfører at det må legges ut mer masser enn et teoretisk minimum. Det ble derfor planlagt å legge ut i størrelsesorden 500- 600 m<sup>3</sup> sandmasser. Det ble kjøpt pukkmasser fra Ramlo Sandtak AS. Pukk-masser ble knust kort tid før utlegging for å unngå fuktinntrengning i materialet. 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 posisjoneringsutstyr, se figur 3 til figur 5. Størrelsen av utstyret medførte at en meget skånsom utlegging var mulig og det ble lagt ut et lite volum i hver utleggingsomgang. Rutenettet for utlegging er vist i figur 2. Rutenettet er bygd opp av 4 seksjoner (a-d) med 10 (1-10) ruter i hver seksjon.

Utleggingen foregikk ved å fylle ca. 4,5 m<sup>3</sup> i fallbunnslekteren, transportere lekter i riktig posisjon og deretter ble sanden drysset over den aktuelle ruten mens lekteren kjørte med fast hastighet. Rutene ble dekket til i tre omganger hvor første og tredje tildekking ble kjørt fra sør mot nord og andre tildekking fra nord mot sør. Dette for å få en mest mulig jevn og lik tildekking i hvert av feltene. Bredden på rutene ble satt som bredden på lekteren. Ruteinndelingen ble prosjektert av Agder Marine AS for å oppnå legge det ønskede volum av tildekkingsmasser.

Totalt ble det lagt ut 530 m<sup>3</sup> (846 tonn) tildekkingsmasser i testfeltet.



Figur 2: Oversiktskart over tildekkingsfeltet med Agder Marines rutenett for utlegging (Agder Marine AS).



Figur 3: Fallbunnslekter med hydraulisk styreenhet (Foto: Agder Marine AS).



Figur 4: Posisjoneringsutstyr (Olex) ombord i slepebåt.



Figur 5: Fartøy og fallbunnslekter for utlegging.

## 8 Kontroll – og overvåkingsprogram for tildekking

Etter krav i tillatelse fra Klif ble det utarbeidet et kontroll- og overvåkingsprogram for tildekkingen. Kontroll- og overvåkingsprogrammet skal sikre at tildekkingsarbeider foregår på en forsvarlig måte med hensyn til miljøet, og omfatter kontroll og overvåking for å hindre uakseptabel spredning av partikler under tildekking av forsøksfeltet (NGI, 2013b). I programmet er de operative kravene fra Klif utdypet i praktiske prosedyrer. Prosedyrenummer og beskrevne tiltak i kontrollprogrammet er oppsummert i tabell 1. I tabellen er også rapportering for de aktuelle prosedyrene gitt.

Tabell 1: *Prosedyrer fra kontroll- og overvåkingsprogram for tildekking. Nummerering i tabell er tilsvarende kontrollprogram (NGI, 2013b).*

Prosedyre	Tiltak	Rapportering
4.1 Hensyn til friluftsliv, naturmiljø, inn- og utvandring av laksefisk.	Perioden for tildekking ikke kritisk for inn- og utvandring av fisk. Unormale forhold skal varsles	Ingen unormale forhold
4.2 Varsling av akutt forurensning.	Håndteres gjennom varslingsrutiner og avviksrapporteres.	Ingen avvik.
4.3 Søl av tildekkingsmasser under transport og håndtering.	Entreprenør skal stoppe arbeider, varsle og avvikmeldes	Ingen avvik.
4.4 Masser som benyttes til tildekking skal karakteriseres som rene og materialets rekoloniseringsegenskaper skal vurderes/ dokumenteres.	Massene er analysert og karakterisert ihht til Klifs testprogram.  Tilsvarende masser viser egnethet for rekolonisering.	Resultater av testprogram gitt i NGI-rapport 20120405-02-R (NGI, 2013a).  Ingen rapportering av rekolonisering.
4.5 Utlekking av tildekkingsmateriale og overvåking av tildekkingsarbeidene – Turbiditetsmåling	Utlekking av masser utføres med fallbunnslekter og masser strøs ut fra en spalte mens lekteren er i fart. <ul style="list-style-type: none"> <li>- Turbiditetsmålinger i 3 stasjoner (T1, T2 og T3) med håndholdt utstyr fra båt for hver 5 meter i hver stasjon.</li> <li>- Referanseverdier opp etableres før utlegging.</li> <li>- Turbiditetsmålinger i hvert målepunkt for hver 5 meter hvert 30. minutt</li> <li>- Etter tildekking er avsluttet utføres turbiditetsmålinger dagen etter.</li> </ul>	Referanseverdi etablert ved måleserie i forkant av målingene: < 1 NTU Grenseverdi satt til 10 NTU.  Ikke målt overskridelse av grenseverdi = Turbiditetsnivå over 10 NTU i 30. minutter.

Kontrollprogrammet omfattet måling av partikkelspredning under utlegging for å dokumentere effekter av tildekkingsoperasjonen. Overvåkingen har til hensikt å avdekke spredning av eventuell forurensning forbindelse ved gjennomføringen, med hovedvekt på spredning av stedlige forurensete bunnmasser.

Partikkelspredningen er målt ved turbiditetsmålinger under utlegging av masser. Turbiditetsmålinger ble utført i 3 stasjonsområder, hhv nord (T1), øst (T2) og sør (T3) for tildekkingsområdet, vist i figur 6.



Figur 6: Kartskisse med felt for prøvetildekking og posisjoner til stasjoner for måling av turbiditet (T1, T2 og T3).

Trondheim Havn var ansvarlig for turbiditetsmålingene og disse ble utført med havnas måleutstyr som hadde en rekkevidde på 15 m vanddyb. I stasjon øst (T2) ble det derfor i tillegg brukt en måler fra NGI som hadde større rekkevidde. Alle målinger ble utført av Trondheim Havn, og NGI var om bord i målebåt i måleperioden. Data fra loggingen viste meget lave turbiditetsverdier og i all hovedsak var verdiene på bakgrunnsnivået i området som ble målt til 0,16 NTU (Referanseverdien = < 1 NTU).

I en kort periode den 26. januar ble det målt verdier over 10 NTU (10- 13 NTU) på stasjon T2 og dybde 15 m, men ved ny måling 20 min etter hadde verdien gått ned til 8NTU. Ved 20 m ble det i samme tidsrom målt hhv 7,7 NTU som gikk ned til 2,8 NTU etter 27 min. Målingen ble utført på slutten av arbeidsdagen (lørdag), rett etter at utleggingsarbeidene var avsluttet. For at grenseverdien skal være overskredet er det definert at turbiditetsnivået er over 10 NTU i 30 minutter. Det har derfor ikke vært aktuelt å sette i gang med avbøtende tiltak eller nærmere kontrollmålinger. Turbiditetsmålingene viser at det har vært minimal spredning av partikler under utleggingsarbeidet. Det antas at turbiditeten som har blitt målt stammer i all hovedsak

fra finstoffet i utleggingsmaterialet da det var en meget skånsom utlegging som skal gi minimal oppvirvling av sjøbunns sediment.

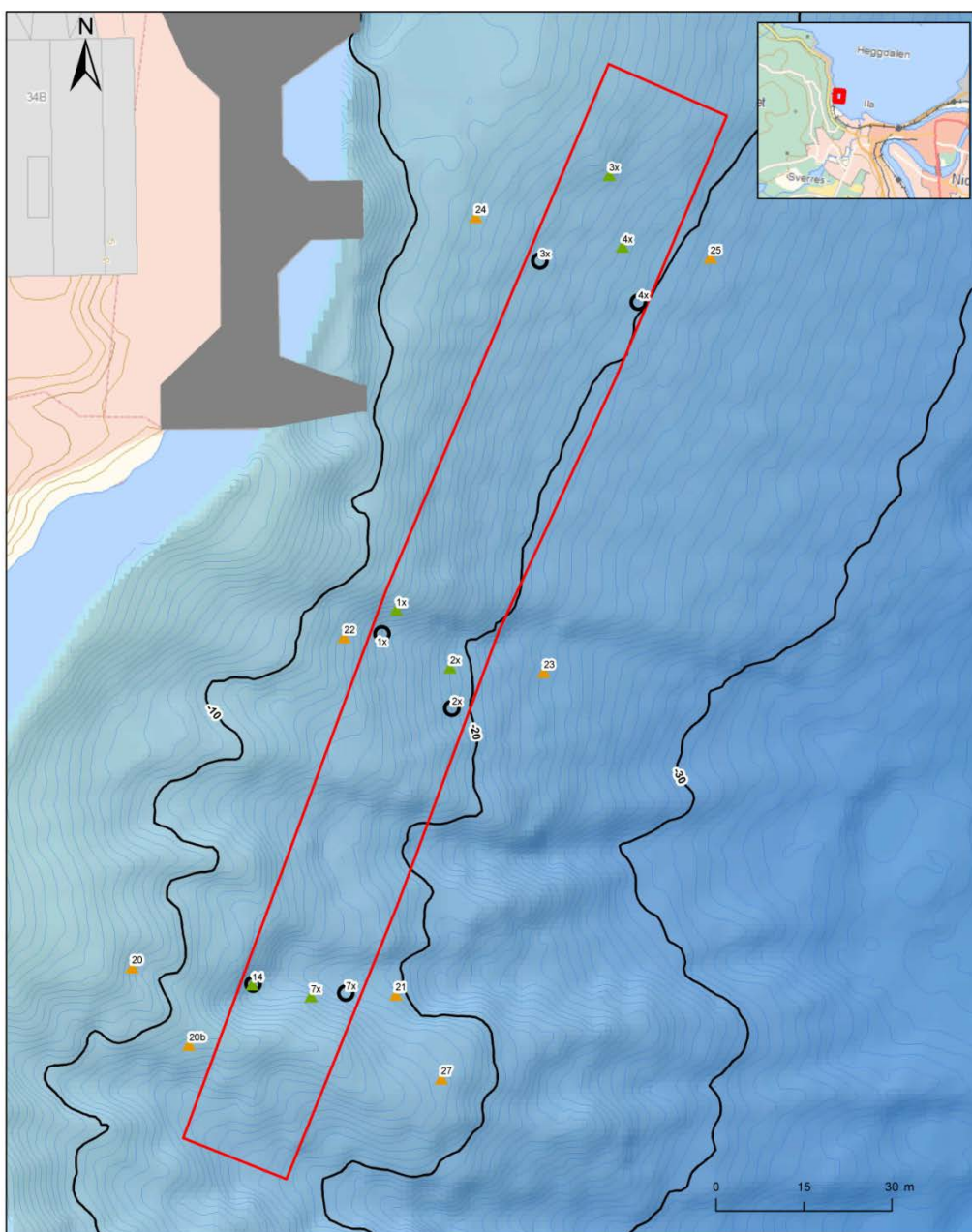


*Figur 7: Fallbunnsleker for utlegging av masser, samt målebåt for overvåking av partikkelspredning (turbiditet).*

## **9 Sedimentundersøkelser etter tildekking av testfeltet**

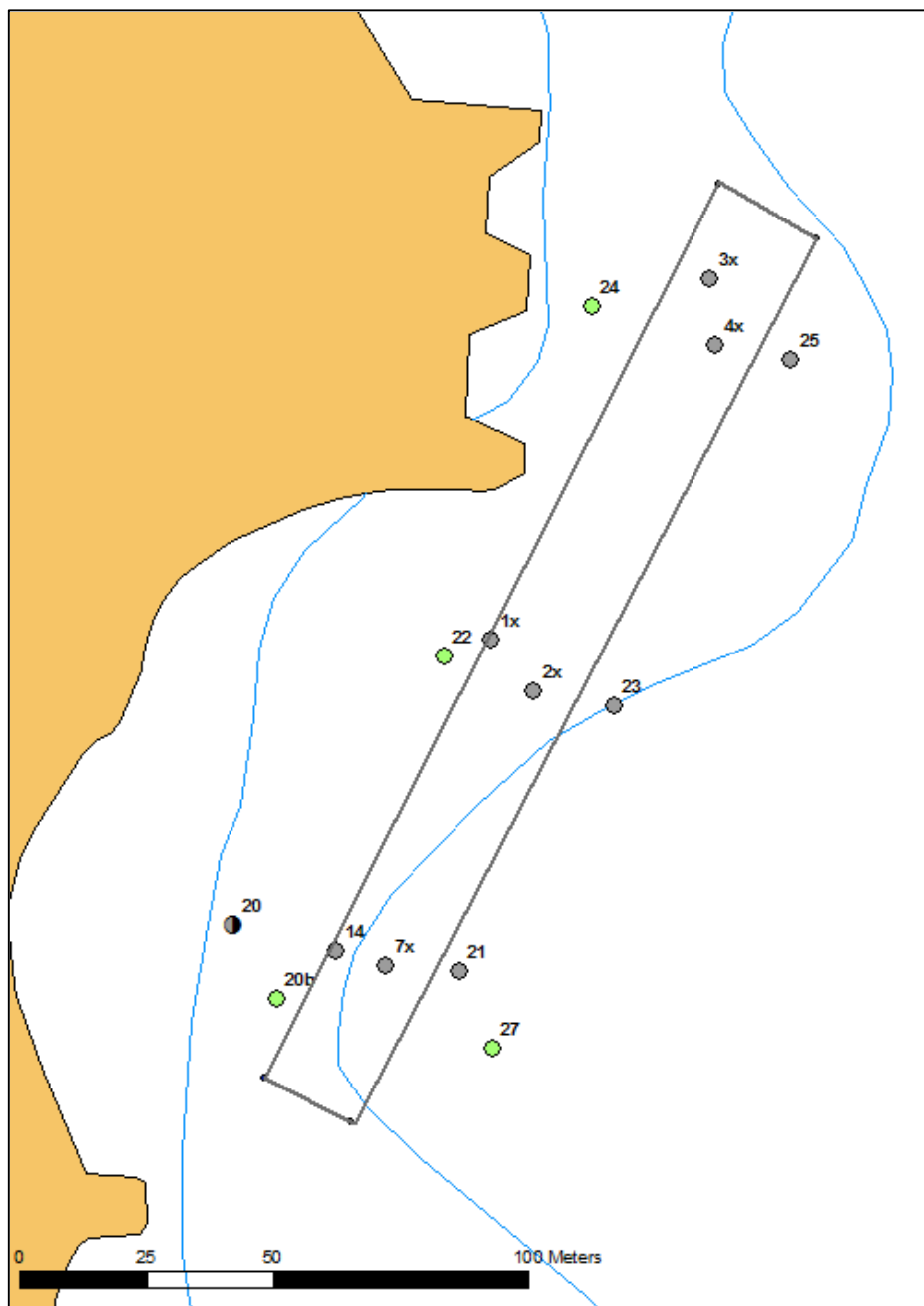
### **9.1 SPI kameraundersøkelser**

NIVA har utført undersøkelser med SPI kamera i totalt 13 stasjoner, 6 stasjoner i testfeltet og 7 stasjoner utenfor feltet, både på grunnere og dypere vann, som vist på figur 8. Beskrivelse av SPI undersøkelsen er gitt i sin helhet i vedlegg B.



*Figur 8: Stasjoner fra SPI-undersøkelser er angitt med trekant. Sorte sirkler er stasjoner for tidligere prøvetaking av sjøbunnen.*





*Figur 9: Stasjonskart med resultater:  
 Grå sirkel: Helt dekket av dekkmasse.  
 Grønn sirkel: Ingen tegn til dekkmasse.  
 Halvt sort, halvt grå: En del dekkmasse, men ikke heldekkende.*

SPI-bildene viser tydelig at det ligger et lag med dekkmasse i form av sandig grus i alle stasjoner innenfor tildekkingsfeltet og på noen av stasjonene utenfor feltet. Det er en god del tildekkingsmasser øst for feltet (ut mot dypere vann), der det ved noen stasjoner er et heldekkende lag. Det ser ut til å være mye mindre spredning av masser vest for feltet (inn mot land), her ble det bare stedvis observert tegn til dekkmasse.

Tykkelsen på laget var ikke mulig å bestemme nøyaktig på flere stasjonene ettersom kameraet ikke klarte å penetrere gjennom hele dekklaget. Alle tykkelsesverdier som er oppgitt er derfor minimumsverdier. På det meste kan man se at det ligger et dekklag på minst 7 cm innenfor testfeltet (stasjon 14). Den høyeste målingen utenfor feltet viser et dekklag på minst 3,5 cm (stasjon 25) på dypere vann i nordenden av feltet. Utdrag fra resultatene er vist i tabell 2 og på kartet i figur 9. Undersøkelsene er i sin helhet gitt i vedlegg B.

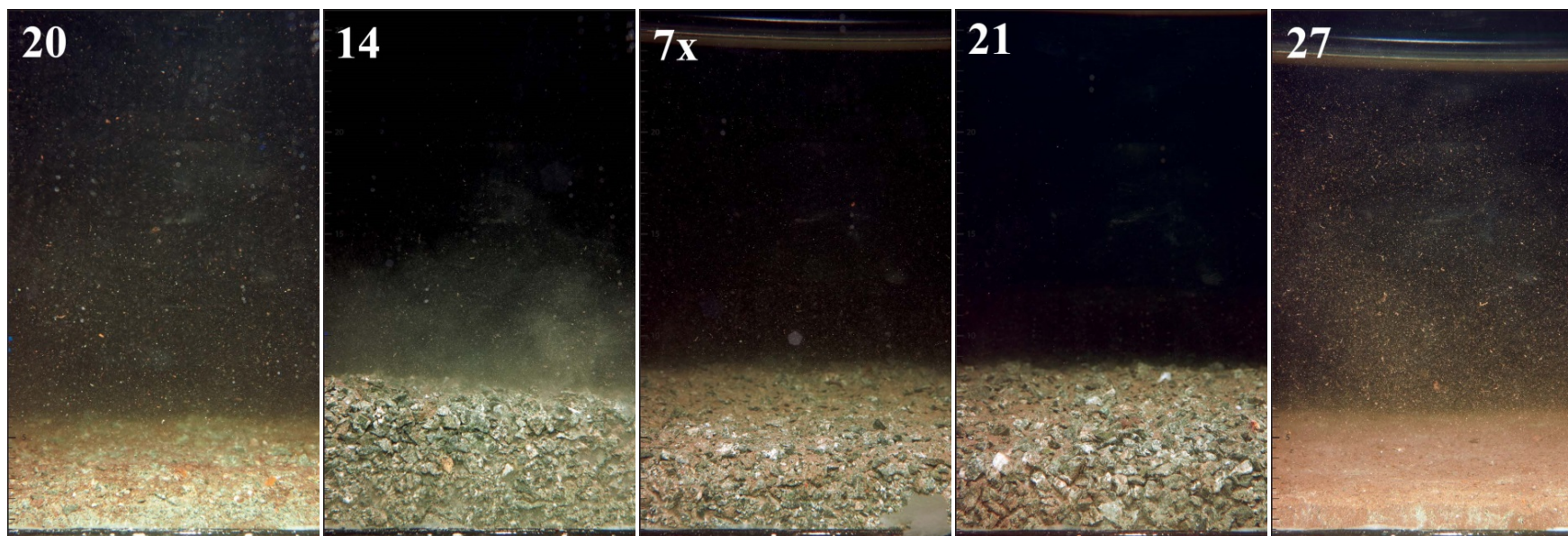
*Tabell 2: Resultatene av SPI-undersøkelsen. Målinger av lagtykkelse er basert på opp til 4 SPI-bilder i hver stasjon. Kameraets penetrasjonsdyp i sedimentet/dekkmassen er angitt og en kommentar basert på bildene fra overflatekameraet. Alle målinger i testfeltet viser en minimum tykkelse ettersom kameraet ikke penetrerte gjennom dekklaget.*

Stasjon	Bilde 1 (cm)	Bilde 2 (cm)	Bilde 3 (cm)	Bilde 4 (cm)	Kommentar basert på bildene fra overflatekameraet
14	6.3	7			Helt dekket med dekkmasse
20	0	0	0	0	En del dekkmasse, ikke heldekkende
7x	2.4	1.9	4.5	3.0	Helt dekket med dekkmasse
1x	2.1	1.6			Helt dekket med dekkmasse
2x	0.9	1.2	1.4		Helt dekket med dekkmasse
3x	1.3	2.3			Helt dekket med dekkmasse
4x	2.5				Helt dekket med dekkmasse
24	0				Ser ingen tydelige tegn til dekkmasse. Blandingsbunn, noe sand/bløtbunn og en del småstein.
22					Ser ingen tydelige tegn til dekkmasse. Varierte bunnforhold, noe bløtbunn og en del stein, noen bilder med bare tang. Muligens for bratt eller steinete til å få SPI-bilder
21	2.4	4.2			Helt dekket med dekkmasse
25	3.5				Helt dekket med dekkmasse
23					Helt dekket med dekkmasse. Ser ikke for bratt ut, mangel på SPI-bilder skyldes teknisk feil eller at det var for dypt, kabelaen på vinsjen var helt ute
20b	0	0	0		Ser ingen tydelige tegn til dekkmasse. Sandig sediment med en del muslinger og skallrester
27	0	0			Ingen tegn til dekkmasser. Bløtbunn

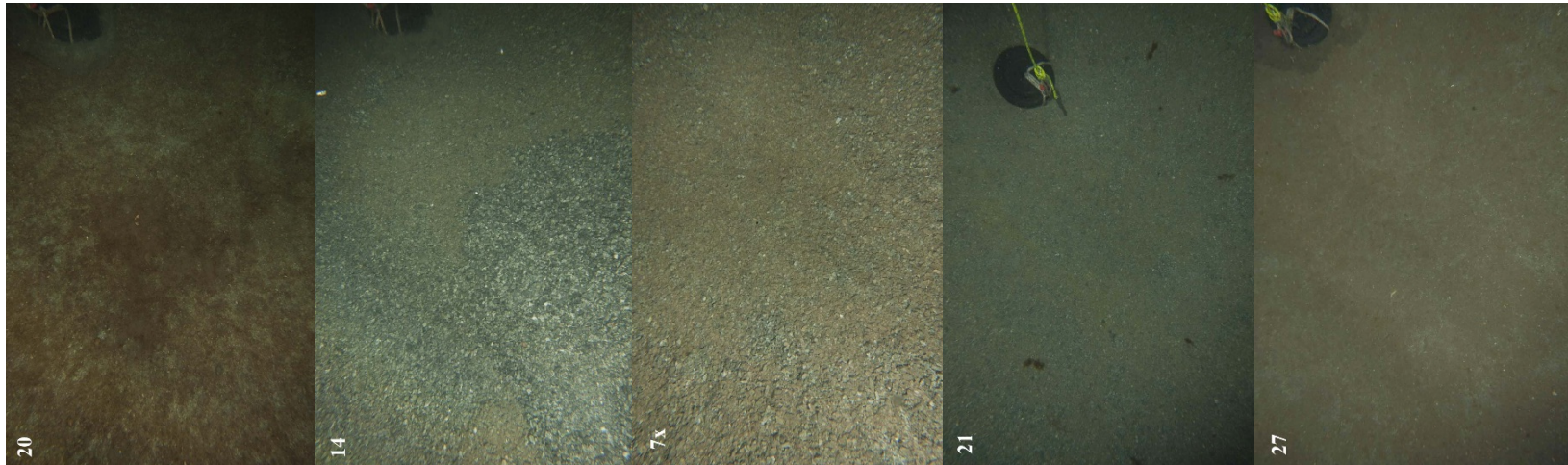
Resultatene viser en god tildekking av hele testfeltet men det er ikke mulig å konkludere om den prosjekterte mektigheten på 10 cm er oppnådd. Den høyeste målte mektigheten er 7 cm men pga. redusert penetrasjonsdyp til utstyret var ikke den opprinnelige sjøbunnen under tildekkingsmassen synlig på bildene. Det er funnet tildekkingsmasser utenfor feltet på dypere vann, mens det nærmere land bare er funnet små mengder tildekkingsmateriale. Et profil av SPI bilder på tvers av testfeltet gjennom stasjonene 20, 14, 7x, 21 og 27 er vist i figur 10 for penetrasjonsbildene mens overflatebildene er gitt i figur 11.



Både SPI-bildene og overflatebildene viser at det på tildekkingsmassene er observert et rødt lag med finstoff. Dette finstoffet stammer trolig fra opprinnelig sjøbunn i området som har samme farge på bildene. Det er usikkert om dette materialet er resedimentert materiale oppvirvlet under tildekkingen eller om det er materiale som har blitt tilført fra området utenfor testfeltet som følge av de rådende strømforhold. Videre overvåkingen vil fokusere på å belyse denne problemstillingen ved å følge utviklingen i mektighet av ny sedimentert materiale i testfeltet.



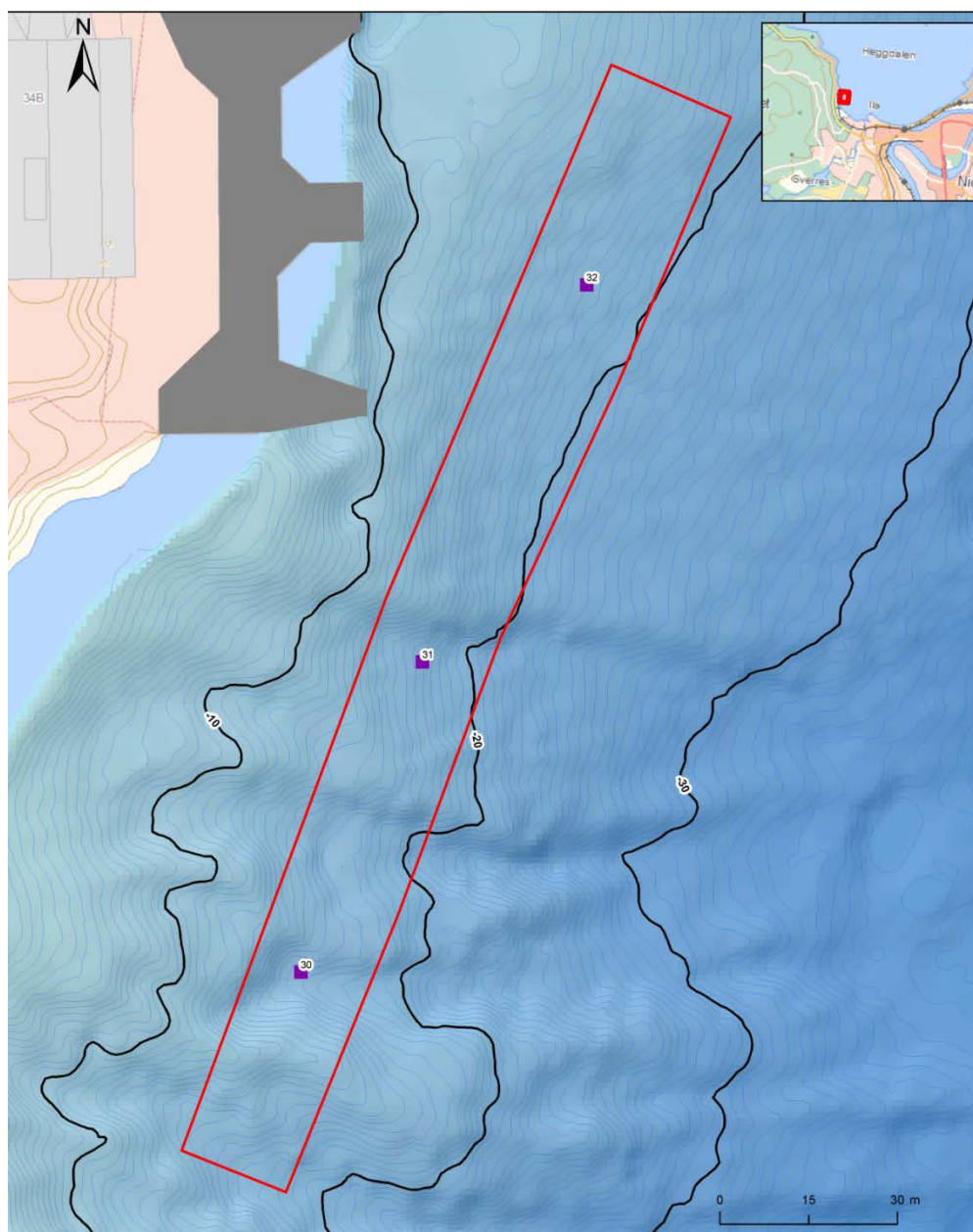
*Figur 10: Profilet gjennom stasjonene 20, 14, 7x, 21 og 27. Punktene 14 og 7x ligger i testfeltet. Stasjon 20 ligger grunnere enn testfeltet mens 21 og 27 ligger dypere enn testfeltet. Stasjon 14, 7x og 21 viser tildekkingsmateriale. Stasjon 27 viser opprinnelig sediment uten tildekkingsmasse, men stasjon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

## 9.2 Kjerneprøver og bokscorer

NGI utførte i mars 2013 sammen med NTNU prøvetaking med bokscorer i testfeltet i Fagervika. NTNUs båt Gunnerus ble benyttet for prøvetakingen. Prøvetakingen er utført i tre stasjoner i feltet. Stasjonene er plassert slik at de ligger på en linje midt i feltet i et nord-sør profil. De ligger i samme tverrprofiler som de tidligere parvise prøvestasjonene som er brukt for forundersøkelser og SPI- undersøkelser i testfeltet. Prøvestasjonenes lokalisering er vist i figur 12.



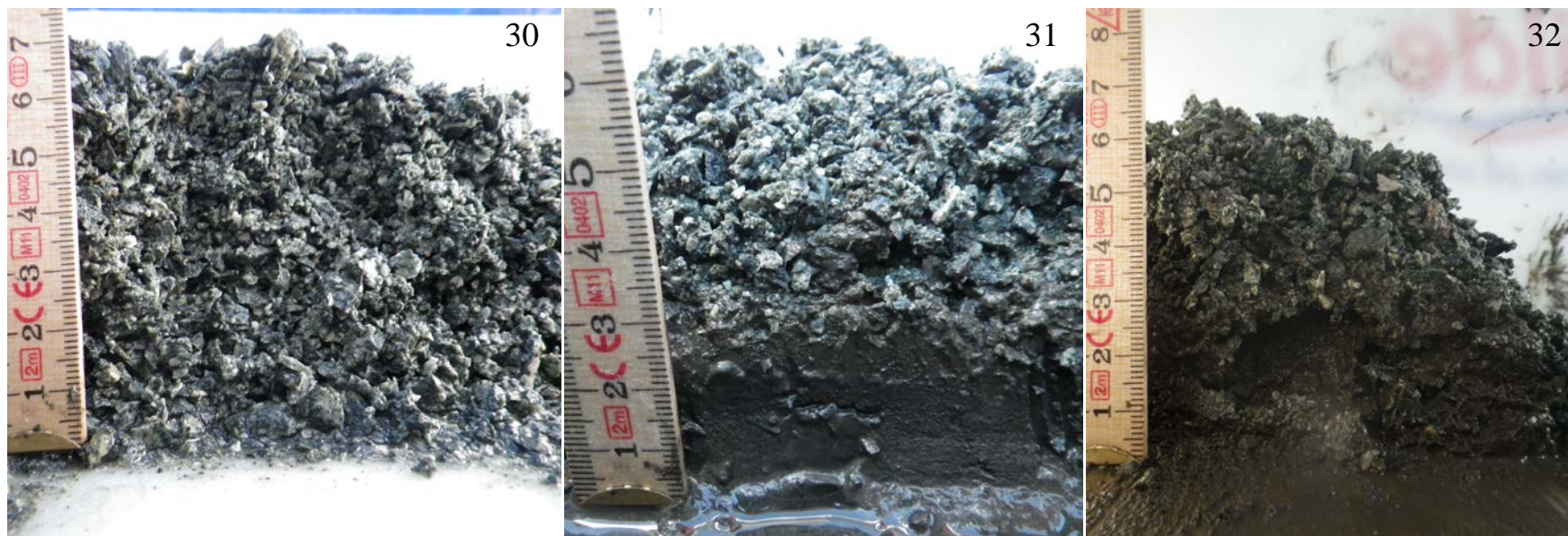
Figur 12: Kartskisse som viser prøvestasjonene 30- 32 hvor det er tatt ut bokscorer-prøver.

Prøvetaking ble utført med bokscorerer på sjøbunnen. Etter at prøvene var tatt opp ble det satt en 110 mm sylinter i den mektigste delen av bokscorerprøven for å få minst mulig forstyrrede prøver. Det var varierende mektighet på prøvene, men prøvetakeren penetrerte ned gjennom sandlag og ned i underliggende sediment i to av tre stasjoner (31 og 32). Prøvetakeren var lastet opp med en del vekt, men motstanden i tildekkingslaget medførte et begrenset penetrasjonsdyp. Dette medfører også at usikkerheten for mektigheten av tildekkingslaget er stor da prøvematerialet blir mer forstyrret når prøvetakeren lukker seg. Resultatet fra prøvetakingen er vist i tabell 3, hvor mektighet av observert tildekkingslag er angitt og hvorvidt coreren har trengt gjennom tildekkingslaget. Prøvetakingsmetode med bokscorerer medfører større usikkerheter med hensyn til bestemmelse av lagtykkelse enn SPI bilder.

*Tabell 3: Resultatene fra bokscorer-undersøkelsen. Målinger av lagtykkelse og penetrasjonsdyp for bokscorer er angitt.*

Prøvepunkt	Mektighet	Gjennomtrengning til sjøbunn	Merknad
30	< 7 cm	Nei	Tildekkingslagets mektighet basert på bokscorerer har større usikkerheter enn SPI.
31	5 cm	Ja	
32	5 cm	Ja	

Kjerneprøvene er lagret på NGIs lab som dokumentasjon for eventuell senere analyse.



Figur 13: Profilbilder av bokscorer- prøver i stasjon 30 til 32. Underliggende sediment sees i stasjon 31 og 32.



## 10 Oppsummering

Testfeltet i Fagervika har blitt tildekket med 530 m<sup>3</sup> tildekkingsmasse. Utleggingen med fallbunnslekter har vært vellykket. Arbeidene ble utført innenfor de rammer som ble satt for anleggsarbeidene. Turbiditeten målt i anleggsperioden var lav og stort sett på bakgrunnsnivå.

Resultater fra kontrollundersøkelser med SPI-kamera viser at man har fått tildekket hele det 4000 m<sup>2</sup> store testfeltet og noe spredning av tildekkingsmaterialet mot dypere vann har blitt funnet. Mektigheten på tildekkingslaget har vært vanskelig å anslå nøyaktig på grunn av fasthet i massene. Ved hjelp av SPI bilder ble det en maksimum tykkelse på minimum 7 cm observert. Bokscore prøver viser ca. 5 cm tykkelse, men disse målinger er beheftet med større usikkerhet. Videre overvåking vil fokusere på å dokumentere mektighetene nærmere med utvidet prøvetaking samt vurdere erosjon og avsetning av nytt sedimentert materiale i testfeltet.

## 11 Referanser

NGI, 2007

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

NGI/DNV, 2011

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

NGI, 2011

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

NGI, 2012a

Pilottest tynntildekking Fagervika. Søknad om tildekking i forbindelse med Pilottest tynntildekking ved Fagervika. NGI-notat 20120405-02-TN. 18. oktober 2012.

NGI, 2012b

NIFS N-6.3.1 Vurdering av kartleggingsgrunnet for kvikkleire i strandsonen. NGI-rapport 20120754-01-R. 1. desember 2012.

NGI, 2013a

Pilottest tynntildekking Fagervika. Vurdering av tildekkingsmateriale. NGI-rapport 2012-02-R. 1. januar 2013.

NGI, 2013b

Pilottest tynntildekking Fagervika. Kontroll- og overvåkingsprogram for tildekking. NGI-notat 20120405-04-TN revisjon 1. 15. januar 2013



Dokumentnr.: 20120405-02-R  
Dato: 2013-06-21  
Rev. nr.: 0  
Side: 25

NGI, 2013c

Pilottest tynntildekking Fagervika. Grovrisikoanalyse av tildekkingsarbeider. NGI-notat 20120405-TN revisjon 1. 18.januar 2013.

Klif, 2005

Veiledende testprogram for masser til bruk for tildekking av forurensede sedimenter. TA-21/2005

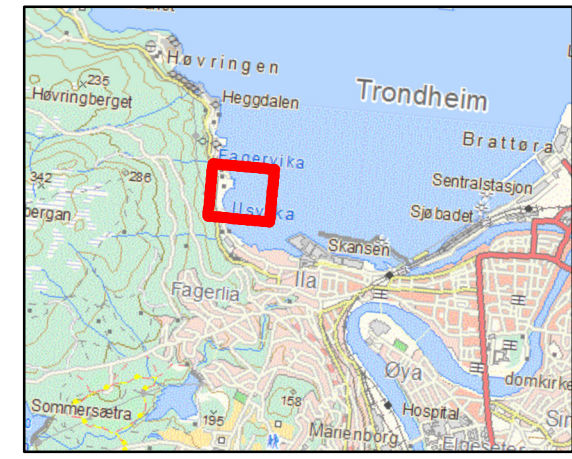
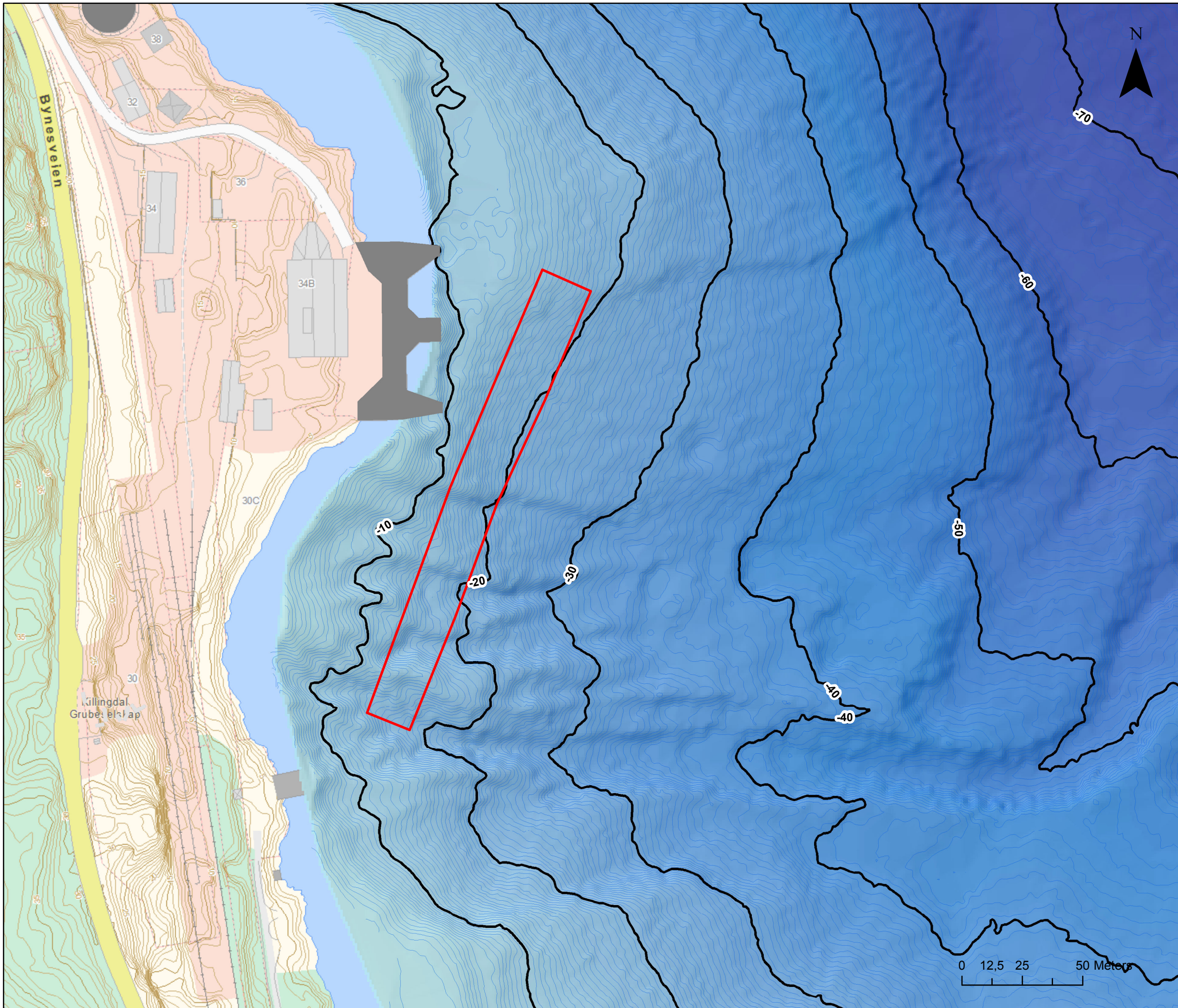


Dokumentnr.: 20120405-03-R  
Dato: 2013-06-21  
Rev.nr.: 0  
Vedlegg A

## Vedlegg A - Kartvedlegg

- Kart 1***      ***Situasjonsplan med testfelt***
- Kart 2***      ***Testfelt med kjerneprøver fra forundersøkelser***
- Kart 3***      ***Testfelt med kjerneprøver og SPI-kamerastasjoner***
- Kart 4***      ***Testfelt med bokscorer-stasjoner***




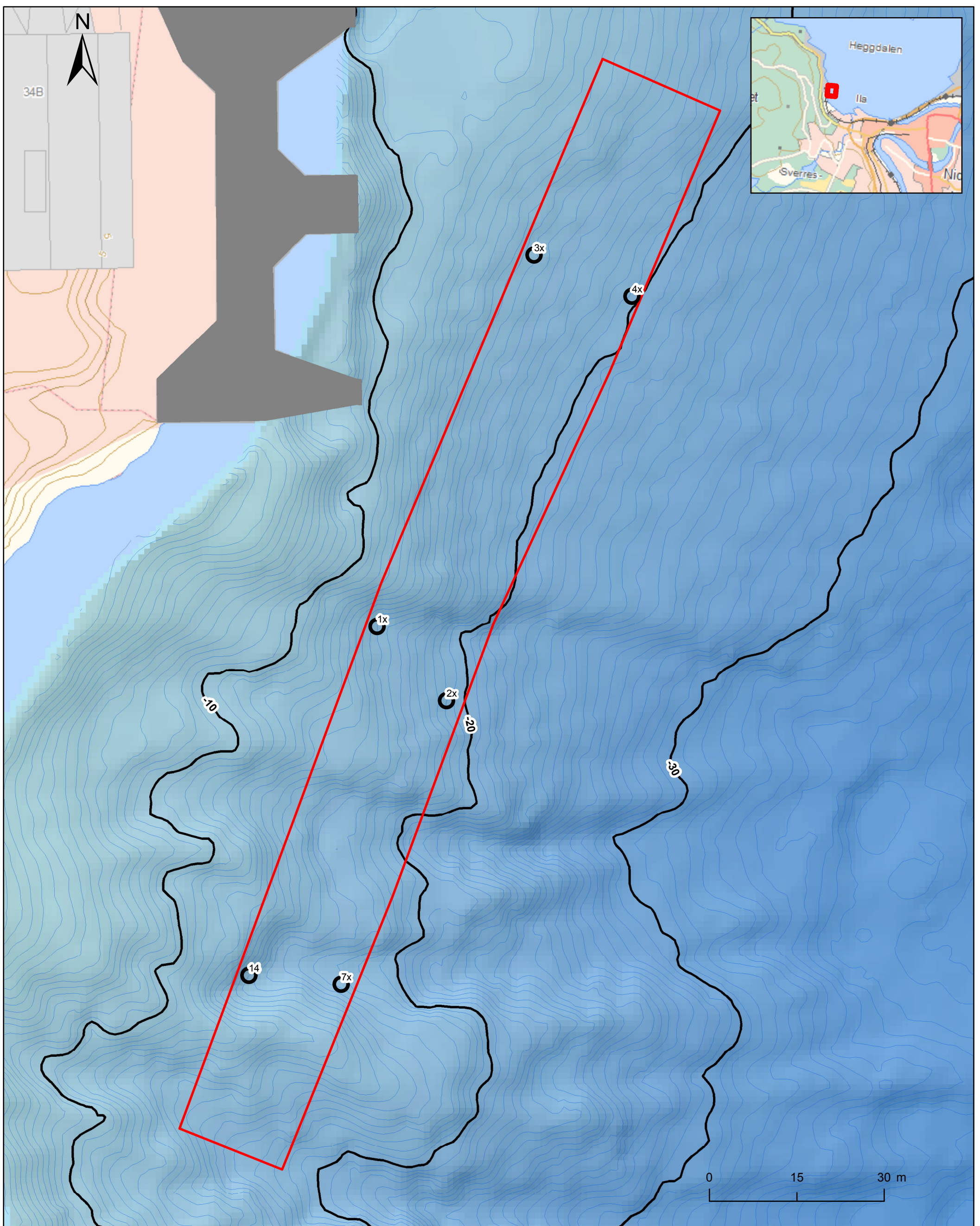


### Tegnforklaring

- Testfelt
- 0,5 m dybdekoter
- 10 m dybdekoter

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


Pilottest		
<b>Prøvepunkter</b>	Prosjektnr. <b>20120405</b>	Kart nr. <b>01</b>
	Utført <b>KEK</b>	Dato <b>2013-04-10</b>
Prøvepunkter Trondheim kommune, Iisvika	Kontrollert <b>XXX</b>	
	Godkjent <b>MMo</b>	

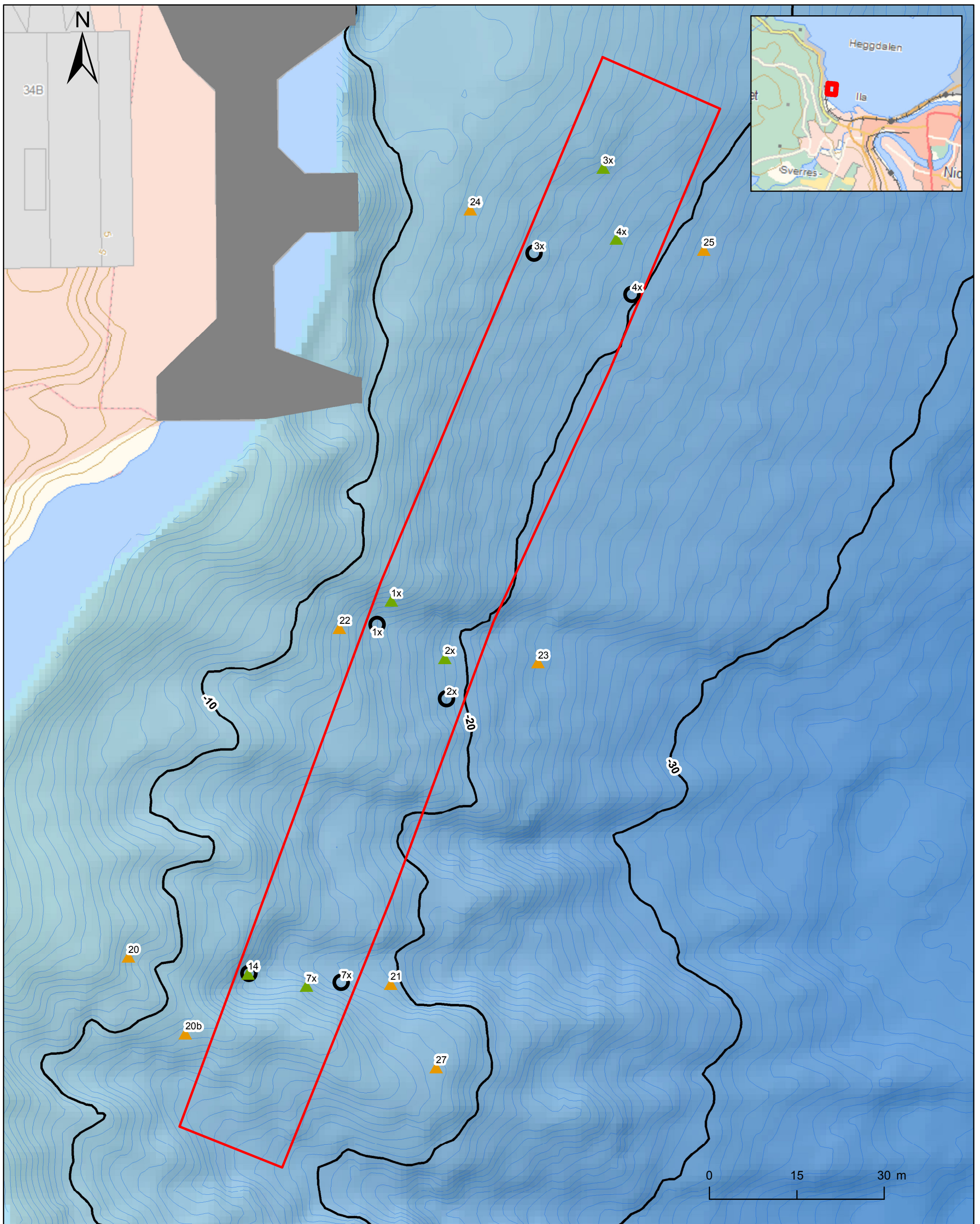


## Tegnforklaring

- Kjerneprøver
- Testfelt
- 0,5 m dybdekoter
- 10 m dybdekoter

Målestokk (A3): 1:601 Datum: ETRS89, Kartprojeksjon: UTM32N


Pilottest		
<b>Prøvepunkter</b>	Prosjektnr. 20120405	Kart nr. 02
Prøvepunkter Trondheim kommune Ilsvika/Fagervika	Utført KEK	Dato 2013-04-10
	Kontrollert XXX	
	Godkjent MMo	

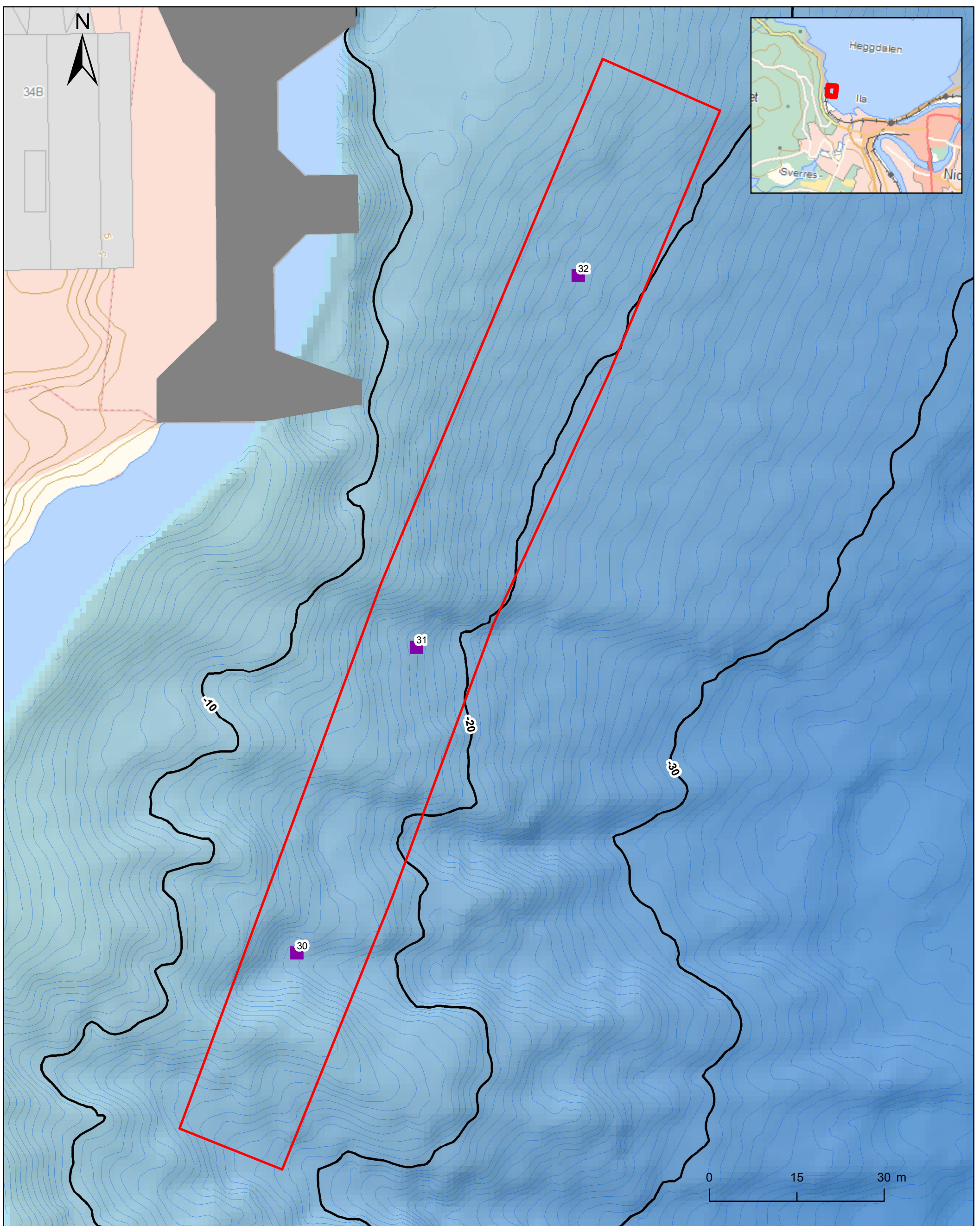


## Tegnforklaring

- ▲ SPI-kamerapunkter 1x-14
- ▲ SPI-kamerapunkter 20-27
- Kjerneprøver
- Testfelt
- 0,5 m dybdekoter
- 10 m dybdekoter

Målestokk (A3): 1:601 Datum: ETRS89, Kartprojeksjon: UTM32N


Pilottest		
Prøvepunkter	Prosjektnr. 20120405	Kart nr. 03
	Utført KEK	Dato 2013-04-10
	Kontrollert XXX	
	Godkjent MMo	



## Tegnforklaring

- Bokscorer
- Testfelt
- 0,5 m dybdekoter
- 10 m dybdekoter

Målestokk (A3): 1:601      Datum: ETRS89, Kartprojeksjon: UTM32N

Pilottest		
<b>Prøvepunkter</b>	Prosjektnr. 20120405	Kart nr. 04
	Utført KEK	Dato 2013-04-10
Prøvepunkter Trondheim kommune Ilsvika/Fagervika	Kontrollert XXX	
	Godkjent MMo	





Dokumentnr.: 20120405-03-R  
Dato: 2013-06-21  
Rev.nr.: 0  
Vedlegg B

## Vedlegg B - Rapport fra NIVA. SPI-undersøkelser.



Norsk institutt for vannforskning

**NIVA NOTAT N16/13**

11. april 2013

Til: NGI

Fra: NIVA ved Bjørnar Beylich

Kopi:

**Sak: SPI-Undersøkelser for prosjektet "Pilottest tynntildekking ved Fagervika"**

**NIVA Prosjektnr : O-13118**

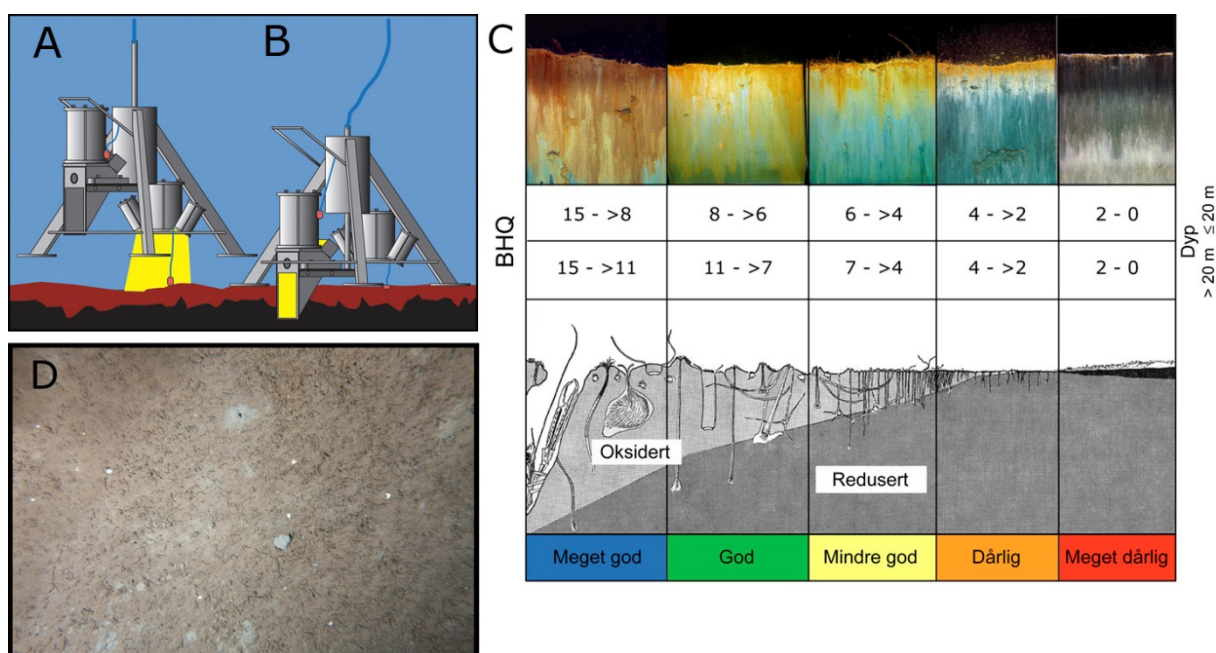
## **Bakgrunn**

Etter forespørsel fra NGI Har NIVA utført SPI-undersøkelser i Fagervika utenfor Trondheim for å se på lagtykkelse i, og rett utenfor et prøvetildeckingsområde.

## Materialer og Metoder

### SPI-undersøkelser

Sedimentprofilfotografering (SPI) er en rask metode for visuell kartlegging og klassifisering av sediment og bløtbunnsfauna. Teknikken kan sammenlignes med et omvendt periskop som ser horisontalt inn i de øverste dm av sedimentet. Bildet som blir 17,3 cm bredt og 26 cm høyt, tas nede i sedimentet uten å forstyrre strukturer i sedimentet. Et digitalt kamera med blits er montert i et vanntett hus på en rigg med tre ben (**Figur 1**). Denne senkes ned til sedimentoverflaten slik at en vertikal glassplate presses ca. 20 cm ned i sedimentet. Bildet tas gjennom glassplaten via et skråstilt speil som til sammen utgjør et prisme. Resultatet er digitale fotografier med detaljer av både strukturer, farger og eventuell fauna fra sedimentoverflaten og opp til 26 cm nedover i sedimentene. På riggen er det montert et overflatekamera som tar et bilde ( $\approx 1/4\text{m}^2$ ) av sedimentoverflaten rett før riggen når sedimentoverflaten.



**Figur 1.** Prinsippskisse for SPI-kamera og bildeanalyse. (A) Rigg over bunnen. Gult antyder at bilde av overflaten tas. (B) Kamera med prismet som har trengt ned i sedimentet og SPI bildet eksponeres. (C) Figuren viser en modell av endringer i faunatype fra upåvirkede bunnsedimenter med en rik, dyptgravende fauna (Meget god) til en grunnlevende, fattig fauna i påvirkede områder (Meget dårlig). Sedimentprofilbildet er vist i toppen av figuren, der brunt farget sediment indikerer oksidert, bioturbert sediment mens sortfarget sediment indikerer reduserte forhold. Grenseverdier for BHQ-miljøkvalitetsindeks for vanddyb  $\leq 20$  meter og  $> 20$  m i samme skala som benyttes for marine sedimenter i EUs vanndirektiv (Pearson & Rosenberg 1978, Nilsson & Rosenberg 1997, Rosenberg m. fl. 2004, Nilsson & Rosenberg 2006) er vist. (D) Eksempel av et overflatebilde med strukturer og børstemarkrør synlig.

Fra bildene kan en beregne en miljøindeks (Benthic Habitat Quality index; BHQ-indeks) ut fra strukturer i sedimentoverflaten (rør av børstemark, fødegrop og ekskrementhaug) og strukturer under sedimentoverflaten (bløtbunnsfauna, faunagang og oksiderte hulrom i

sedimentet) samt redox-forhold i sedimentet. Indeksen varierer på en skala fra 0 til 15. Denne indeksen kan siden sammenlignes med Pearson og Rosenbergs klassiske modell for faunaens suksesjon. Fra denne modellen klassifiseres bunnmiljøet i samme skala som benyttes i EUs vanndirektiv (Rosenberg m. fl. 2004). BHQ-indeksen har god korrelasjon med parameterene brukt i tradisjonelle bunnfaunaundersøkelser (Rosenberg m. fl. 2004). Fra overflatebildene kan en studere og kvantifisere dyr på sedimentoverflaten og spor av deres aktivitet. SPI- og overflatebilder kan også brukes til å vurdere lagtykkelse og utbredelse av tildekkingsmasser i forbindelse med tildekking av sjøbunn.

### ***Feltarbeidet.***

Feltarbeidet ble utført fra "Munkholmen II" den 12 og 13. Mars 2013. Bjørnar Beylich fra NIVA hadde ansvar for SPI-kameraet og Mari Moseid fra NGI var med første dagen for fortløpende å vurdere plassering av stasjoner. Stasjonkoordinater ble notert fra båtens GPS og vi prøvde å korrigere for at riggen ble plassert 4-10m fra GPS-antennen, dette ble basert på øyemål og himmelretning. Det er dog naturlig at båten vrir seg noe under arbeidet som fører til noe unøyaktighet på koordinatene. Vi antar at presisjonen burde være slik at det sjeldent avviker mer enn 10m fra angitt koordinat. Det ble på samtlige stasjoner forsøkt å ta både SPI-bilder og overflatebilder. Stasjonkoordinater er vist i **Tabell 1** og stasjonenes plassering i **Figur 2**.

**Tabell 1.** SPI-stasjoner, med dato, tidspunkt, vanddyb og koordinater i WGS84 desimalgrader

<b>Stasjon</b>	<b>Dato</b>	<b>Tid</b>	<b>Dyp</b>	<b>Lengdegrad</b>	<b>Breddegrad</b>
14	12.3.2013	08:52	17	10.35168	63.43575
20	12.3.2013	09:03	10	10.35127	63.43578
7x	13.3.2013	09:03	17	10.35188	63.43573
1x	13.3.2013	09:17	16	10.35216	63.43626
2x	13.3.2013	09:36	20	10.35238	63.43617
3x	13.3.2013	09:47	?	10.35296	63.43692
4x	13.3.2013	10:13	20	10.35300	63.43680
24	13.3.2013	10:31	11	10.35250	63.43692
22	13.3.2013	10:47	11.3	10.35202	63.43628
21	13.3.2013	12:04	21.4	10.35217	63.43573
25	13.3.2013	12:21	24	10.35330	63.43685
23	13.3.2013	12:40	24	10.35270	63.43622
20b	13.3.2013	13:06	14	10.35146	63.43566
27	13.3.2013	13:34	24	10.35232	63.43560

## Resultater

Bildene viser tydelig at det ligger et lag med dekkmasse i form av grus på alle stasjoner innenfor tildekkingsfeltet og på noen av stasjonene utenfor feltet (se **Figur 2**, Vedlegg 1. og Vedlegg 2). Det er en god del grus øst for feltet (ut mot dypere vann), der det ved noen stasjoner er et heldekkende lag med grus. Det ser ut til å være mye mindre spredning av grus vest for feltet (inn mot land), her så vi bare stedvis tegn til dekkmasse. Tykkelsen på laget er ikke mulig å bestemme på noen av stasjonene ettersom kameraet ikke klarte å penetrere gjennom hele dekklaget. Alle tykkelsesverdier som er oppgitt (**Tabell 2**) er derfor minimumsverdier. På det meste kan man se at det ligger et dekklag av grus på minst 7cm (stasjon 14), den høyeste målingen utenfor feltet viser et dekklag på minst 3,5cm (stasjon 25). Bildeeksempler fra stasjonene er vist i vedlegg 1 og vedlegg 2

**Tabell 2.** Resultatene av SPI-undersøkelsen. Målinger av tykkelse av gruslaget i opp til 4 SPI-bilder, dypeste måling, kameraets penetrasjonsdyp i sedimentet/dekkmassen og en kommentar basert på bildene fra overflatekameraet. Alle målinger er minimum tykkelse ettersom kameraet ikke penetrerte gjennom dekklaget.

Stasjon	Bilde 1 (cm)	Bilde 2 (cm)	Bilde 3 (cm)	Bilde 4 (cm)	Dypeste målt (cm)	P.dyp	Kommentar basert på bildene fra overflatekameraet
14	6.3	7	-	-	>7	6.7	Helt dekket med grus
20	0	0	0	0	0.0	0.0	En del grus, ikke heldekkende
7x	2.4	1.9	4.5	3.0	>4.5	2.9	Helt dekket med grus
1x	2.1	1.6	-	-	>2.1	1.9	Helt dekket med grus
2x	0.9	1.2	1.4	-	>1.4	1.2	Helt dekket med grus
3x	1.3	2.3	-	-	>2.3	1.8	Helt dekket med grus
4x	2.5	-	-	-	>2.5	2.5	Helt dekket med grus
24	0	-	-	-	0.0	0.0	Ser ingen tydelige tegn til dekkmasse. Blandingsbunn, noe sand/bløtbunn og en del småstein.
22	-	-	-	-	-	-	Ser ingen tydelige tegn til dekkmasse. Varierte bunnforhold, noe bløtbunn og en del stein, noen bilder med bare tang. Muligens for bratt eller steinete til å få SPI-bilder
21	2.4	4.2	-	-	>4.2	3.3	Helt dekket med grus
25	3.5		-	-	>3.5	3.5	Helt dekket med grus
23	-	-	-	-	-	-	Helt dekket med grus. Ser ikke for bratt ut, mangel på SPI-bilder skyldes teknisk feil eller at det var for dypt, kabelen på vinsjen var helt ute
20b	0	0	0	-	0.0	1.7	Ser ingen tydelige tegn til dekkmasse. Sandig sediment med en del muslinger og skallrester
27	0	0	-	-	0.0	1.9	Ingen tegn til dekkmasser. Bløtbunn





## **Referanser**

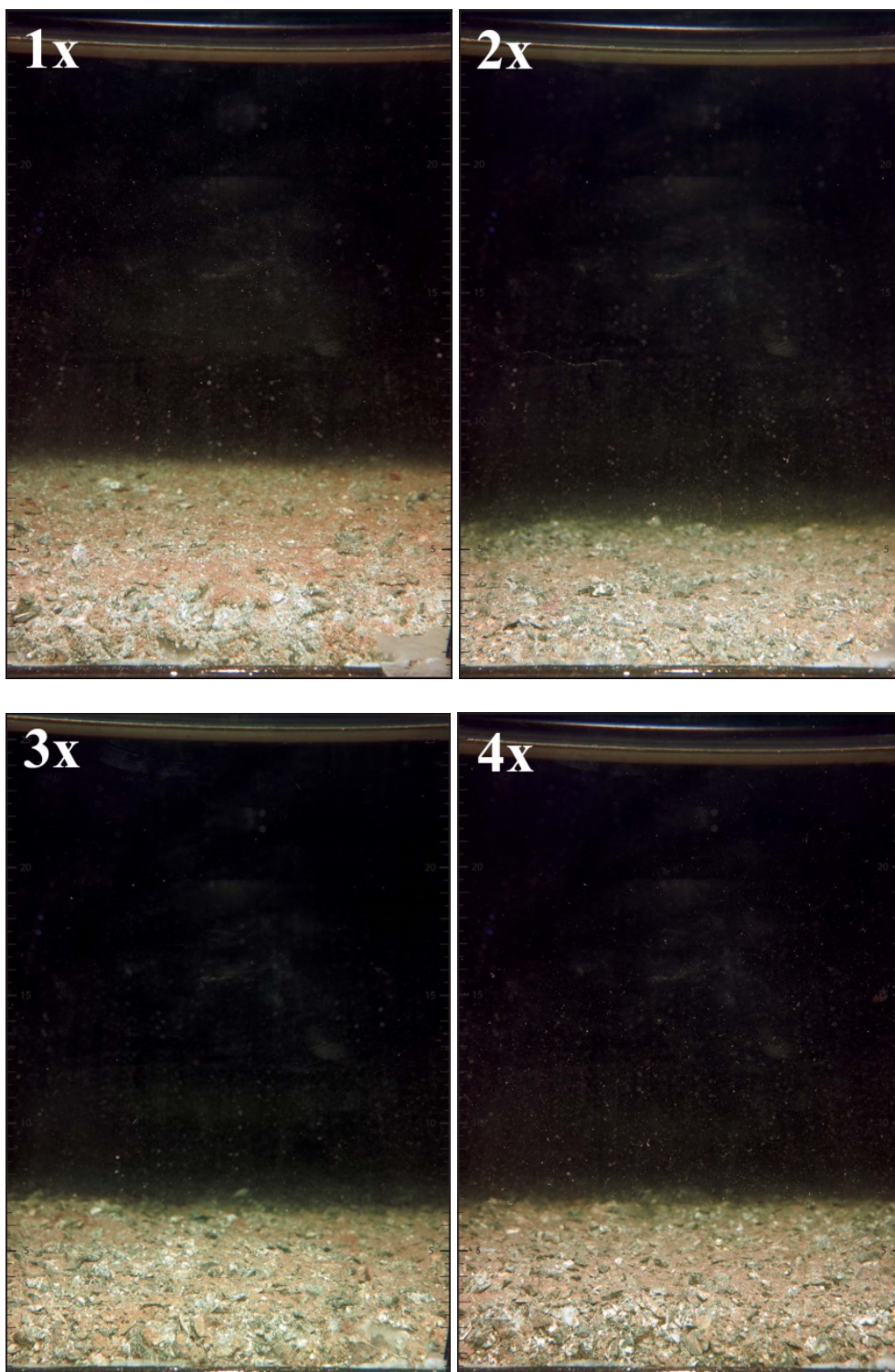
**Nilsson HC, Rosenberg R. 1997.** Benthic habitat quality assessment of an oxygen stressed fjord by surface and sediment profile images. *Journal of Marine Systems* 11:249-264

**Nilsson HC, Rosenberg R. 2006.** Collection and interpretation of Sediment Profile Images (SPI) using the Benthic Habitat Quality (BHQ) index and successional models. NIVA Report No. 5200-2006, Sidor 26

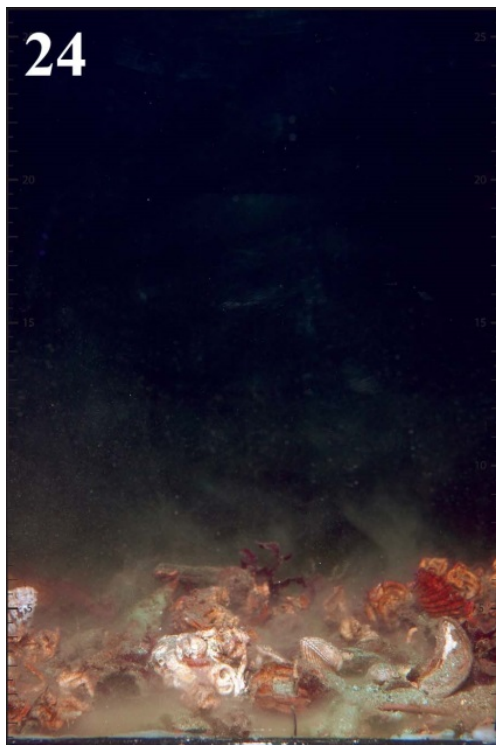
**Pearson TH, Rosenberg R. 1978.** Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr Mar Biol Ann Rev* 16:229-311

**Rosenberg R, Blomqvist M, Nilsson HC, Cederwall H, Dimming A. 2004.** Marine quality assessment by use of benthic species-abundance distributions: a proposed new protocol within the European Union Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin* 49:728-739

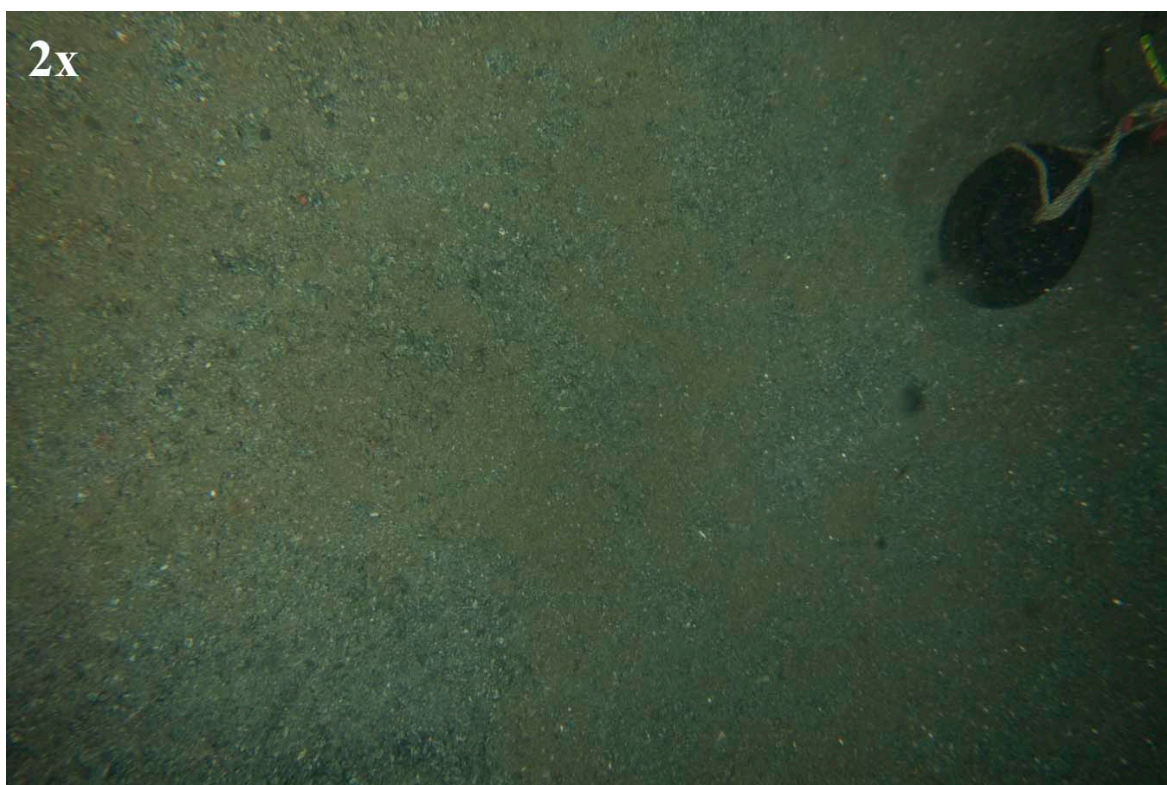
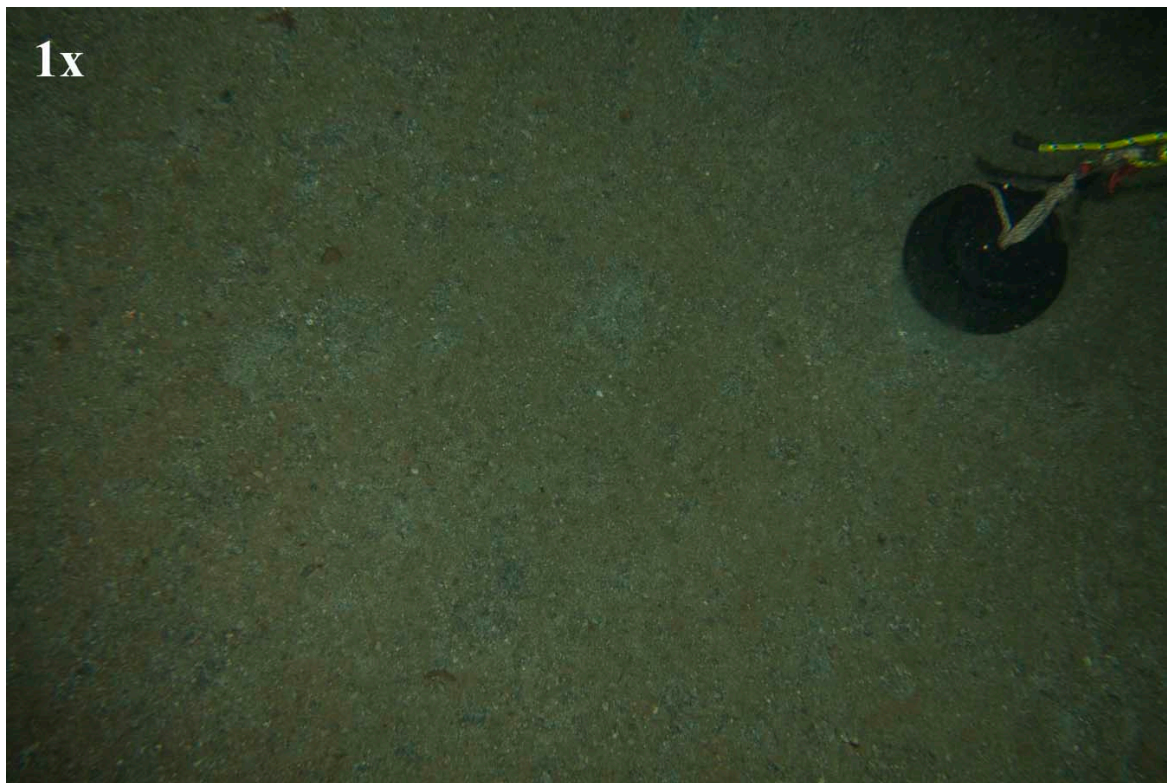
**Vedlegg 1.**  
**Eksempler for SPI-Bilder på stasjonene**

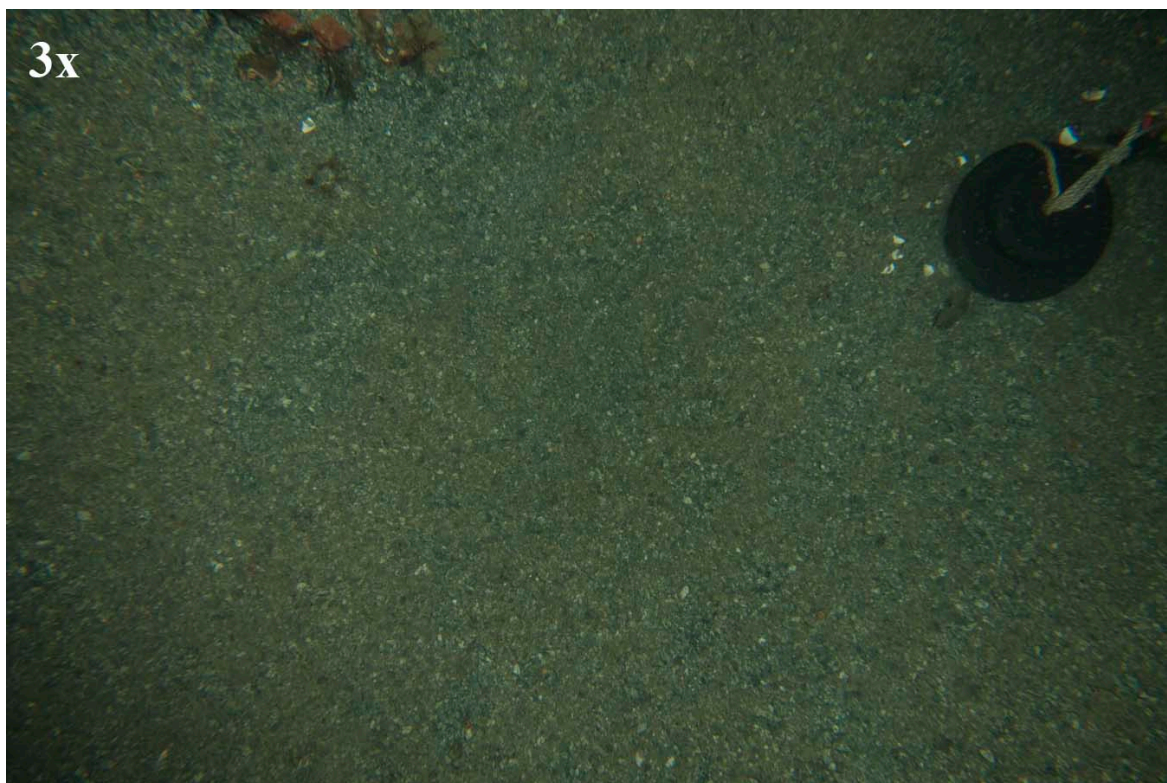




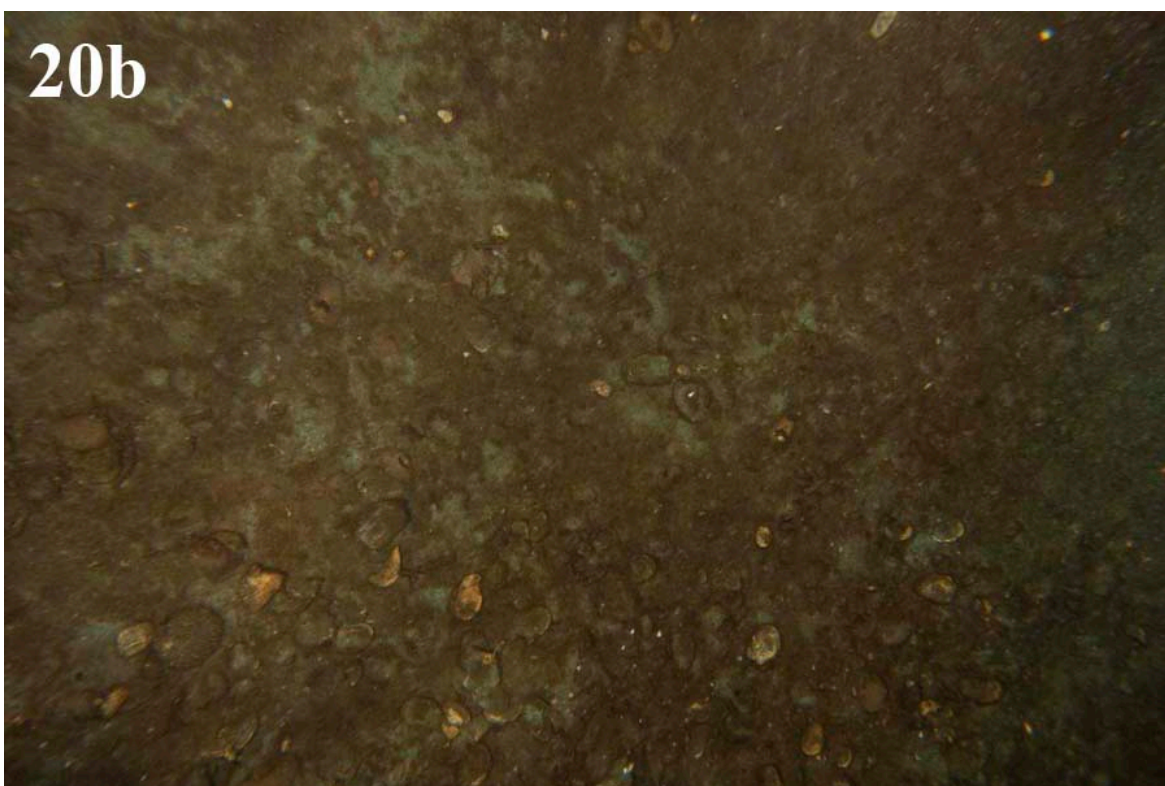
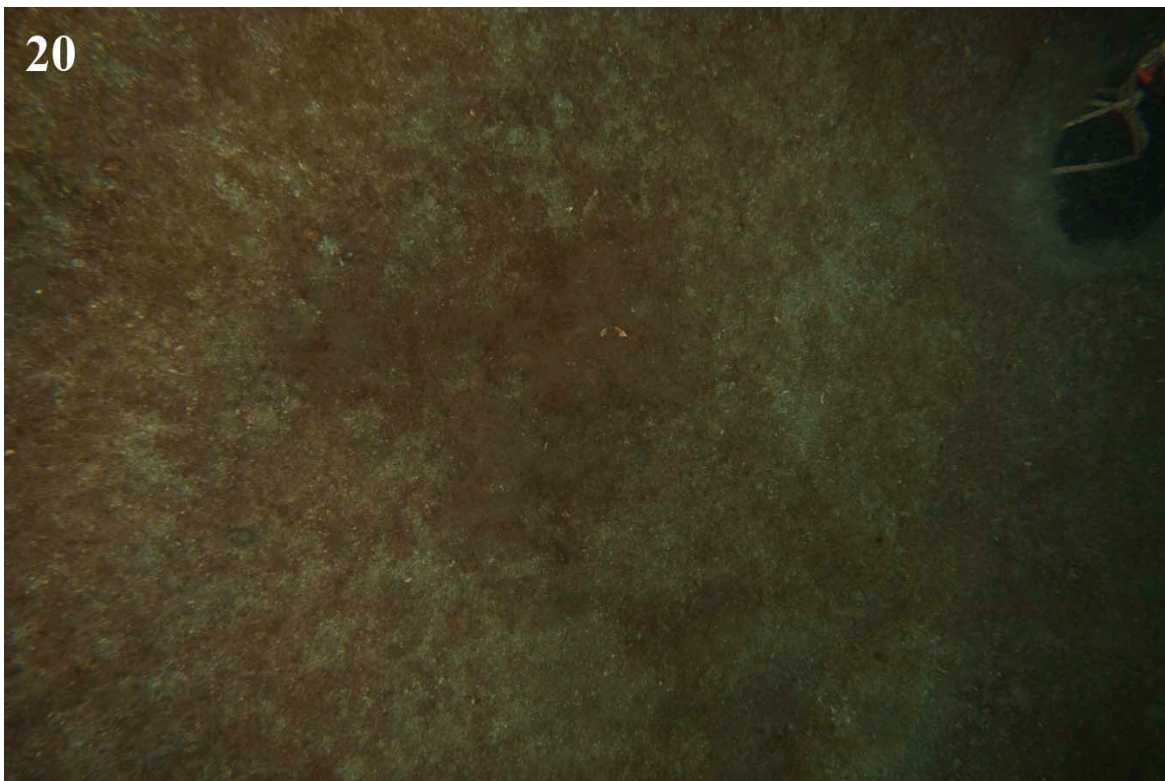


**Vedlegg 2**  
**Eksempler av overflatebilder på stasjonene**



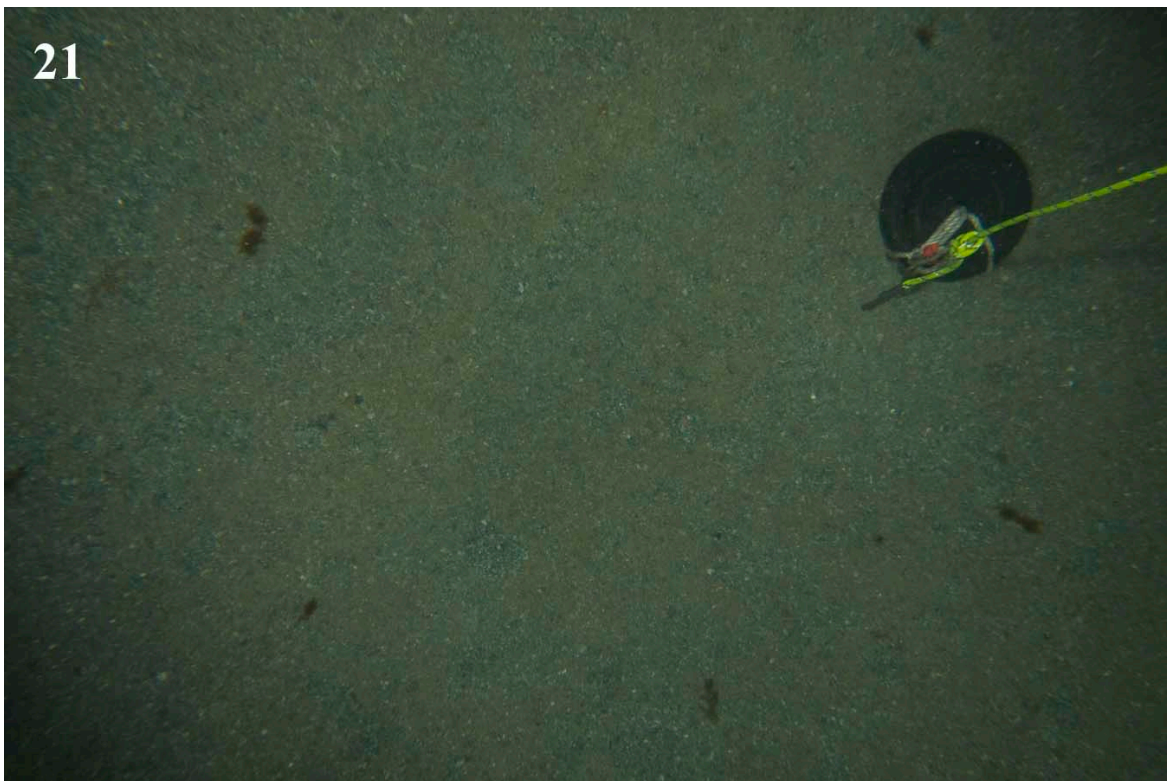




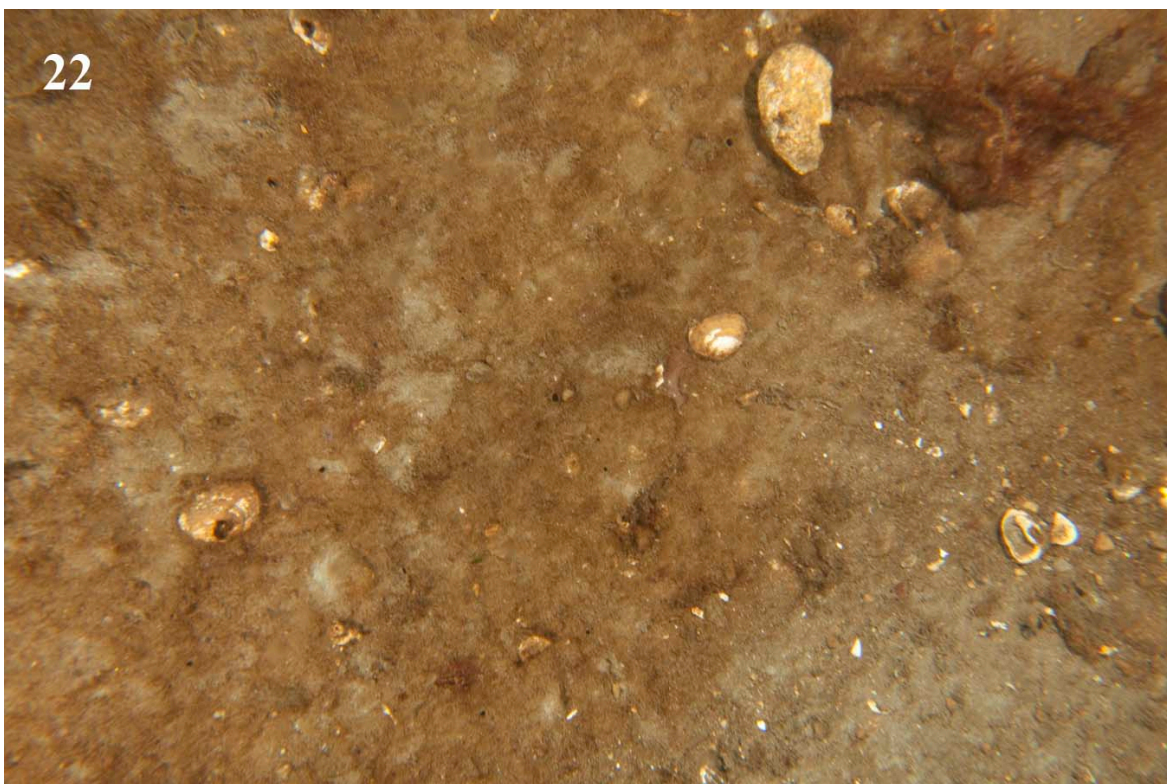




21



22









# Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



<b>Dokumentinformasjon/Document information</b>													
<b>Dokumenttittel/Document title</b> Pilottest tynntildekking Fagervika – Feltrapport tildekking 2013.						<b>Dokumentnr./Document No.</b> 20120405-03-R							
<b>Dokumenttype/Type of document</b> Rapport/Report			<b>Distribusjon/Distribution</b> Fri/Unlimited			<b>Dato/Date</b> 21. juni 2013		<b>Rev.nr.&amp;dato/Rev.No.&amp;date</b> -0-					
<b>Oppdragsgiver/Client</b> Trondheim kommune													
<b>Emneord/Keywords</b> Forurenset sjøbunn, tynntildekking,													
<b>Stedfesting/Geographical information</b>													
<b>Land, fylke/Country, County</b> Norge, Sør-Trøndelag						<b>Havområde/Offshore area</b>							
<b>Kommune/Municipality</b> Trondheim						<b>Felt navn/Field name</b>							
<b>Sted/Location</b> Fagervika						<b>Sted/Location</b>							
<b>Kartblad/Map</b> 1621 IV Trondheim						<b>Felt, blokknr./Field, Block No.</b>							
<b>UTM-koordinater/UTM-coordinates</b> Sone 32 N7035023 E567498													
<b>Dokumentkontroll/Document control</b>													
<b>Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001</b>													
Rev./ Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision					Egen- kontroll/ Self review av/by:		Sidemanns- kontroll/ Colleague review av/by:		Uavhengig kontroll/ Independent review av/by:		Tverrfaglig kontroll/ Inter- disciplinary review av/by:	
0	Originaldokument					MMo	KHc	GBr	B				
<b>Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release</b>						<b>Dato/Date</b> 21. juni 2013		<b>Sign. Prosjektleder/Project Manager</b> Mauri Høseid					



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

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

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

NGI was awarded Centre of Excellence status in 2002 and leads the International Centre for Geohazards (ICG).

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



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

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

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

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

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

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

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

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

