

BERGEN KOMMUNE

# TESTTILDEKKING STORE LUNGEGÅRDSVANN, BERGEN HAVN

FAGRAPPOR



## Dokumentinformasjon

Tittel:	Testtildekking Store Lungegårdsvann, Bergen Havn		
COWI-kontor:	Bergen, Solheimsgaten 13, 5058 Bergen		
Oppdrag nr:	A040950-010	Rapportnummer	A040950-2018-02
Utgivelsesdato:	31.01.2018	Antall sider:	85
Tilgjengelighet:		Antall vedlegg:	
Utarbeidet:	Aud Sundal Bjørn Kvisvik	Sign.	<i>Aud Sundal</i> <i>Bjørn Kvisvik</i>
Kontrollert:	Arve Misund	Sign.	<i>Arve Misund</i>
Godkjent:	Oddmund Soldal	Sign.	<i>Oddmund Soldal</i>
Oppdragsgiver:	Bergen kommune	Oppdragsgivers kontaktperson:	Hogne Hjelle Per Vikse
Kontaktinformasjon saksbehandler:	Aud Sundal, avsu@cowi.com		
Forsidefoto	COWI AS		
Stikkord:	Store Lungegårdsvann, testtildekking, aktivt karbon, skjellsand, maskinsand		

# INNHOOLD

Sammendrag	5
1 Innledning	7
2 Miljømål og tiltaksmål	8
3 Tildekkingsdesign	8
3.1 Geotekniske forhold	8
3.2 Tildekkingsmasser	9
3.3 CT-skanning av sedimentkjerner og testing av tildekkingsmasser	10
3.4 Modellering av tildekkingsstykkelse	17
3.5 Strømmålinger og modellering av propellstrøm	18
3.6 Valg av tildekkingsdesign for testtildekkingen	22
4 Beskrivelse av testfelter	23
4.1 Topografi og bunnforhold	23
4.2 Installasjoner	24
4.3 Miljøgifter i sedimentene i testfeltene	25
4.4 Bunndyrsundersøkelse	27
4.5 Tilkomst	28
5 Entreprenør og utstyr	28
5.1 Testtildekking	28
5.2 Kontroll og overvåkning	30
6 Resultater testfelt 1	30
6.1 Tildekkingsløsning	30
6.2 Masser	31
6.3 Utlegging	32
6.4 Kontrollmålinger etter tiltak	33
6.5 Erfaringer testfelt 1	47
7 Resultater testfelt 2	48
7.1 Skrotrydning	48
7.2 Tildekkingsløsning	48
7.3 Masser	50
7.4 Utlegging av skjellsand og pulverisert aktivt karbon i delområde 2A	51
7.5 Utlegging av skjellsand og AquaGate+PAC 10% i delområde 2B og 2C	53
7.6 Kontrollmålinger etter tiltak	55
7.7 Erfaringer testfelt 2	64
8 Resultater testfelt 3	65
8.1 Tildekkingsløsning	66

8.2	Utlekking	66
8.3	Kontrollmålinger etter tiltak	67
8.4	Erfaringer testfelt 3	71
9	Overvåkning av spredning av forurensning	71
9.1	Turbiditetsloggere	72
9.2	Sedimentfeller	75
9.3	Passive prøvetakere (POM)	79
9.4	Vannprøver	80
9.5	Erfaringer overvåkning	82
10	Konklusjon testtildekking	83
11	Referanser	84

## Sammendrag

I forbindelse med at det er planlagt at det skal gjøres tiltak mot den forurensede sjøbunnen i Store Lungegårdsvann i Bergen Havn, ble det høsten 2017 gjennomført en testtildekking i 3 ulike felter. Testen ble gjennomført i områder på totalt ca. 15 000 m<sup>2</sup> og ble utført for å vurdere egnethet av forskjellige tildekkingsmasser, mektigheter og utleggingsmetodikk. Fokus var på områder med bløt sjøbunn som dekker størstedelen av Store Lungegårdsvann.

I forkant av testtildekkingen ble det gjennomført analyser av miljøgifter i sedimentene, geotekniske vurderinger, strømmålinger, modellering av propellstrøm, CT-scanning av sedimentkjerner og modellering av tildekkingstykkelse for å bestemme tildekkingsdesign.

Tilkomsten til Store Lungegårdsvann er begrenset av Gamle Nygårdsbro, og entreprenøren Boston AS pumpet tildekkingsmassene til testfeltene i Store Lungegårdsvann gjennom rør fra fartøy som lå utenfor Gamle Nygårdsbro. En spesialutviklet drone med GPS posisjoneringsutstyr styrte utleggingen. Utstyret og anleggsarbeidet medførte minimalt med forstyrrelser for båteiere og andre brukere av Store Lungegårdsvann.

I testfelt 1, som har svært bløt sjøbunn og skrående terreng, ble det testet ut tildekking med ren sand 0/2 mm i flere lag i totalt tykkelse på ca. 30 cm. Det ble testet ut utlegging av både skjellsand og maskinsand, samt en kombinasjon av disse.

Kontrollmålingene viser at tildekkingsmassene ble plassert innenfor grensene for testfelt 1, og det er ikke gjort observasjoner som tilsier at det har skjedd grunnbrudd i underliggende masser, eller noen andre større bevegelser på sjøbunnen som har medført forflytning av masser fra testfeltet til omkringliggende områder. Noe finstoff fra tildekkingsmassene har spredt seg og ligger i et svært tynt lag over sjøbunnen i området rundt testfeltet. Med noen unntak, ligger tykkelsen på tildekkingslaget på  $30 \pm 5$  cm ved lokalitetene der det er gjort kontrollmålinger. Kjerneprøvene og CT-skanningen viser at både skjellsand og maskinsand har lagt seg over sjøbunnen med liten (<1 cm) innblanding. Kjerneprøvetaking med relativt lett utstyr fungerte svært godt gjennom sandmasser, både i områder med skjellsand og maskinsand, og var den kontrollmetoden som gav mest nyttig informasjon i dette området. Oppfølgingen av testfeltet bør inkludere en nærmere undersøkelse av området ved bunnen av skråningen for å undersøke om tildekkingsmassene kan ha samlet seg i litt tykkere lag her.

I testfelt 2 ble det testet ut en tynnere tildekking med skjellsand på ca. 20 cm som inkluderte et lag med aktivt karbon. I den ene delen av testfeltet ble det lagt ut aktivt karbon i form av produktet AquaGate+PAC 10%, mens det i den andre delen av området ble lagt ut aktivt karbon i form av en blanding av pulverisert aktivt karbon, NaCl og sjøvann. Denne kull-slurryen ble blandet med skjellsand og pumpet til testfeltet, mens AquaGate+PAC 10% produktet ble lagt ut manuelt med bøtter fra dronen.

Kontrollmålingene viser at skjellsand ble plassert innenfor grensene for testfelt 2, med kun et tynt lag med finstoff over sjøbunnen i området utenfor testfeltet. Den totale tykkelsen på tildekkingslaget varierte mellom 17 og 29 cm ved lokalitetene der det ble utført kontrollmålinger, med flest målinger i intervallet 19-23 cm. Observasjoner fra kjerneprøver/opsamlingsbøtter og laboratorieanalyser av laget med aktivt karbon indikerer at man i området der det ble lagt ut AquaGate+PAC 10% har lyktes med å plassere planlagt mengde aktivt karbon på 2 kg per m<sup>2</sup> i tildekkingen. I området der blandingen av pulverisert aktivt karbon/skjellsand ble lagt ut, indikerer resultatene at man har oppnådd en del mindre aktivt karbon enn planlagt i tildekkingen. Det er planlagt oppfølging av testfelt

2 blant annet med tanke på eventuell erosjon og rekontaminering av tildekkingslaget. På grunn av lokaliseringen av testfelt 2, er det trolig mindre sjanse for rekontaminering av dette testfeltet sammenlignet med de andre to testfeltene som er omringet av forurenset sjøbunn på alle kanter.

I testfelt 3 ble det testet ut om det var mulig å pumpe TBM-masser som inneholder både grus og stein med utstyret som ble brukt under testtildekkingen. Til dette forsøket ble det valgt ut et testfelt der sjøbunnen er fastere og mer stabil og faren for oppvirvling av forurenset sjøbunn er mindre enn i områdene med bløt sjøbunn. Arbeidet i testfelt 3 var således kun en test på om det er mulig å pumpe TBM-massene og ikke en test på hvordan TBM-masser oppfører seg på bløt sjøbunn. Pumpingen av TBM-massene til testfelt 3 ble gjennomført uten nevneverdige problemer, og testen viser at det er mulig å legge ut grovkornede masser som TBM med Bostons sitt utleggingsutstyr.

Kjemiprøvene tatt fra tildekkingslaget i etterkant av tildekkingen i alle tre testfeltene viser at kravet til miljøtilstand i topplaget er tilfredsstillt med god margin.

Etterkontrollen gjennomført så langt tilsier at det vil være gjennomførbart å etablere en tildekking over den bløte sjøbunnen i Store Lungegårdsvann som tilfredsstillt målet om at forurensningen fra sjøbunnen ikke skal forårsake at miljøgiftkonsentrasjonene i de øverste 10 cm av tildekkingslaget overstiger tilstandsklasse II. Resultatene fra testtildekkingen tyder på at en slik tildekking kan bestå av både ren sand (0/2 mm) (maskinsand eller skjellsand) med tykkelse på ca. 30 cm eller en tynnere variant på ca. 20 cm med aktivt karbon mellom sandlag (0/2 mm). En tildekking bestående av flere sandlag med total tykkelse på ca. 30 cm vil kunne gjennomføres i stor skala på samme måte som under testtildekkingen, med pumping av massene og utlegging i flere tynne lag fra de dypereliggende delene av sjøbunnen mot de grunnere områdene. En storskala tildekking bestående av sand med et lag av et produkt som AquaGate+PAC 10%, vil kreve etablering av en mer automatiserte løsning for utlegging av karbon materialet enn benyttet i dette prosjektet, mens de rene sandlagene kan legges ut som i testfeltene. Med enkelte forbedringer av metoden benyttet i dette prosjektet, kan også en blanding av pulverisert aktivt karbon, NaCl og saltvann fungere for å etablere et lag av aktivt karbon mellom sandlag i en større skala tildekking.

Under testtildekkingen (inkludert skrotrydningen) ble det utført overvåking ved hjelp av turbiditetslogger, sedimentfeller, vannprøver og passiv prøvetaker (POM). Et omfattende føringsprogram har fremskaffet et godt datasett over forholdene i Store Lungegårdsvann før testtildekkingen. Samlet sett tyder resultatene fra overvåkingen på at testtildekkingen ikke har forårsaket økt spredning av partikkelbåret forurensning eller forverret vannkvalitet med tanke på miljøgifter sett i forhold til situasjonen i Store Lungegårdsvann før testtildekkingen. Noe spredning av partikler fra de rene tildekkingsmassene har testtildekkingen forårsaket, men det finnes ingen vanninntak eller verneverdige marine naturtyper som ikke tåler nedslamming i Store Lungegårdsvann. Det vurderes derfor ikke som nødvendig å benytte siltgardin ved tildekking av sjøbunnen i Store Lungegårdsvann dersom sandmasser (0/2 mm) og tilsvarende utleggingsmetodikk som brukt i dette prosjektet blir valgt for hovedtiltaket. Man bør også kunne tillate en høyere turbiditetsgrense enn 10 FTU over bakgrunnsverdi ved et slikt tiltak.

# 1 Innledning

Store Lungegårdsvann er et av delområdene i prosjektet Renere Havn Bergen der det planlegges tiltak mot forurenset sjøbunn. Store Lungegårdsvann grenser til Puddefjorden, der det i dag pågår tiltak mot forurenset sjøbunn, og Store Lungegårdsvann er utpekt som neste delområde der tiltak ønskes gjennomført.

Det er utarbeidet en tiltaksplan mot forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann (COWI, 2016), og Fylkesmannen i Hordaland har gitt tillatelse til tiltak (Fylkesmannen i Hordaland, 2016). Tiltaket som er beskrevet i tiltaksplanen består av tildekking av den forurensede sjøbunnen. Store Lungegårdsvann skiller seg fra de andre delområdene i Bergen Havn ved at sjøbunnen i størstedelen av området er svært bløt, samt at det finnes brattere skråninger enn i de andre delområdene. I tillegg er tilkomsten til Store Lungegårdsvann begrenset av Gamle Nygårdsbro ved munningen av Store Lungegårdsvann. Tildekkingen i dette delområdet gir derfor utfordringer knyttet til valg av tildekkingsmateriale og utleggingsmetodikk. For å komme frem til en egnet tildekkingsløsning, ble det som del av detaljprosjekteringen gjennomført en testtildekking i tre testfelter på totalt ca. 15 000 m<sup>2</sup> for å vurdere egnethet av forskjellige tildekkingsmasser, mektigheter og utleggingsmetodikk med fokus på de bløte sjøbunnsområdene. Et overvåkningsprogram ble også gjennomført for å vurdere eventuell spredning av forurensning fra tiltaket. Testtildekkingen ble gjennomført i perioden 15.09.17–27.09.17.

Lokaliseringen av Store Lungegårdsvann og de tre testfeltene er vist i Figur 1.



Figur 1 Lokalisering av Store Lungegårdsvann og de tre testfeltene. Det pågår utfyllingsaktivitet i den nordøstlige delen av Store Lungegårdsvann i forbindelse med etablering av ny bybanetrasé (innenfor blå stiplede linje).

## 2 Miljømål og tiltaks mål

For Store Lungegårdsvann er det ikke vedtatt egne miljømål, men i tiltaksplanen for området er følgende miljømål foreslått (COWI, 2016):

- › Innhold av PCB<sub>7</sub>, PAH<sub>16</sub> og tungmetaller (As, Cd, Cu, Cr, Pb, Hg, Ni, Zn) i de øverste 10 cm av sjøbunnen skal ikke overskride tilstandsklasse III.
- › Forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann skal ikke utgjøre en helsefare for mennesker.
- › Forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann skal ikke gi negativ påvirkning på økosystemet i Puddefjorden og resten av Byfjorden.

Valget av tilstandsklasse III som den tilstandsklasse innholdet av miljøgifter ikke skal overskride (første punkt) er i tråd med anbefalingene gitt i veileder M-350 (Miljødirektoratet, 2015) for områder der landbaserte kilder ikke er stoppet.

Følgende tiltaks mål er foreslått for tiltaket mot forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann (COWI, 2016):

- › I inntil fire uker etter at tiltaket er gjennomført skal innholdet av PCB<sub>7</sub>, PAH<sub>16</sub> og tungmetaller (As, Cd, Cu, Cr, Pb, Hg, Ni, Zn) i de øverste 10 cm av sjøbunnen være i tilstandsklasse II eller lavere.
- › Tiltaket skal ikke medføre spredning av forurensete partikler til Puddefjorden.

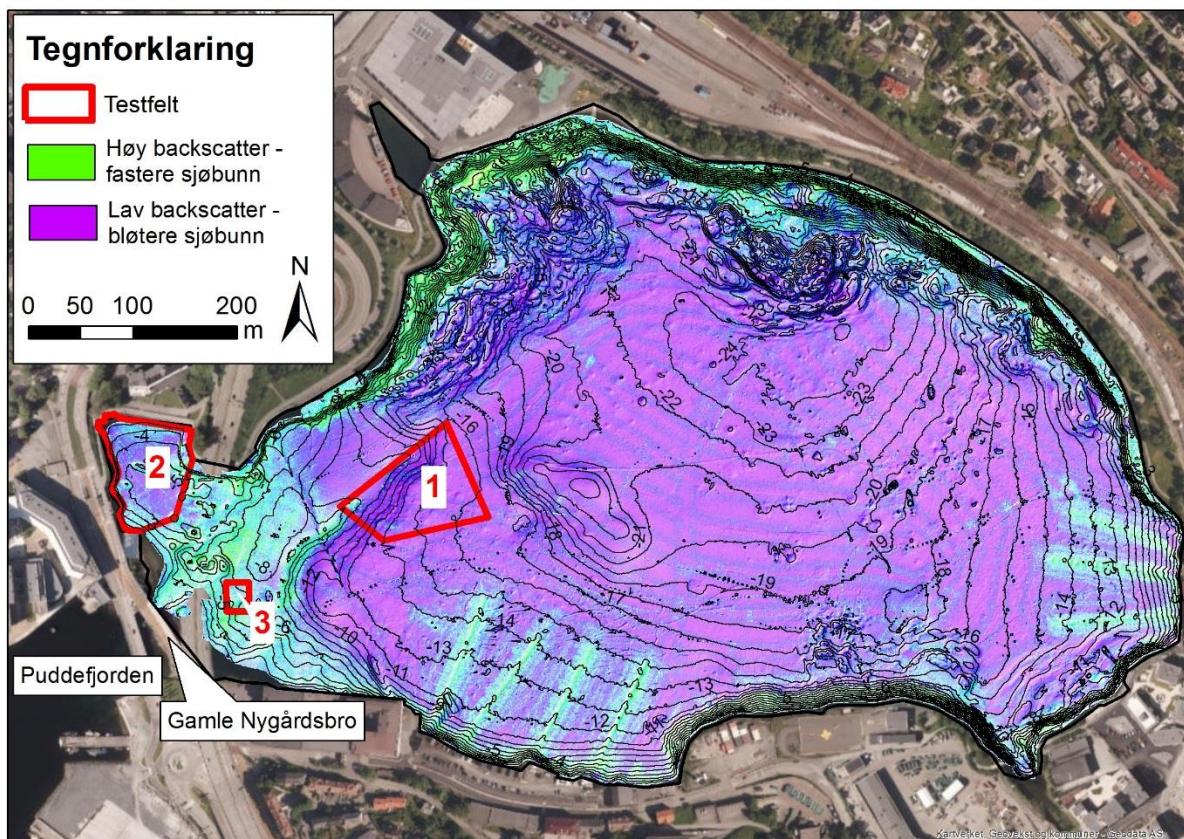
## 3 Tildekkingsdesign

### 3.1 Geotekniske forhold

Store Lungegårdsvann er et avgrenset fjordbasseng med et areal på ca. 440 000 m<sup>2</sup> og maksimal dybde på 26 m (Figur 2). Terskelen ved Gamle Nygårdsbro i vest ligger på 3,7 m dyp. Bunntopografien viser at det har vært utfyllingsaktivitet langs store deler av dagens strandlinje (Parker, 2013). I de sentrale delene av vannet er det relativt flatt med helning < 5°, mens sjøbunnen er brattere (15-25°) oppover mot terskelen i vest. Mellom 0 og 10 m heller sjøbunnen mellom 20 og 60° langs det meste av vannet, men massene her består primært av sprengstein.

Sonderboringer og geotekniske laboratorieundersøkelser på prøver fra Store Lungegårdsvann viser at sedimentene i store deler av området har lav egenvekt og skjærstyrke og er svært vannholdige (Norconsult, 2014; Norconsult, 2016). Massene består generelt av silt og sandholdig gytje over sand/grus og morene. Det øvre laget på ca. 0,5 m er svært bløtt, nærmest flytende, og inneholder nesten ikke sand. Videre nedover er det bløte, gytjige masser i en tykkelse på omtrent 8-10 m. Noen steder er det registrert mektigheter på opptil 19 m med sonderingsmotstand mindre enn 0,5 kN. Under gytjelaget er det antatt sand- og grusmasser over morene. Bunnhardhetsdata basert på ekkostyrke fra multistråle ekkolodd viser at områdene med bløt sjøbunn dekker det meste av Store Lungegårdsvann (lilla farge i Figur 2). I området nær munningen i vest viser disse dataene og prøvetaking av sedimentene at sjøbunnen er fastere og består av mer sand og grus enn i andre deler av Store Lungegårdsvann (grønn farge i Figur 2).





Figur 2 Bunnhardhetsdata basert på ekkostyrke fra multistråle ekkolodd (backscatter). De høye backscatter-verdiene i sør og øst er relatert til pirenene i de to båthavnene.

## 3.2 Tildekkingsmasser

I forkant av testtildekkingen ble det utført en vurdering av hvilken type tildekking som kan brukes i Store Lungegårdsvann basert på geotekniske forhold og bunnsedimentets karakter (Norconsult, 2016). Tre typer tildekking ble vurdert:

- 1) Tynnsjikttildekking med reaktive masser
- 2) Tildekking med sand med/uten separasjonsduk
- 3) Tunnel-boremaskin masser (TBM) fra Ulrikstunnelen (brukt som tildekkingsmasse i Puddefjorden)

For områdene med bløt sjøbunn ble det anbefalt tynnsjikttildekking med reaktive masser eller sand med lav egenvekt uten materiale over 3 mm (Norconsult, 2016). Det ble vurdert som vanskelig å få lagt en tett duk under sandlaget uten at massene ville bli fortrenget opp mellom dukene. Det ble anbefalt å legge massene fra de dypere delene til grunnere områder i flere tynne lag med fokus på at hele området med bløte sedimenter tildekkes jevnt og at hele området tildekkes. Hvis noen områder utelates vil det være fare for at sedimentet forflytter seg mot områder som ikke er tildekket. Det ble anbefalt å gjennomføre et testforsøk for å vurdere hvor godt de anbefalte tildekkingsløsningene ville fungere på den bløte sjøbunnen og for å optimalisere utleggingen (Norconsult, 2016).

Tildekking med TBM-masser i områdene med bløt sjøbunn ble vurdert til å ville skape stor spredning av forurensning på grunn av innsynkning av tildekkingsmaterialet i de bløte sjøbunnsedimentene (Norconsult, 2016).

I de grunnere områdene i vest mot munningen av Store Lungegårdsvann der sjøbunnen er fastere, ble alle tre tildekkingsmassene vurdert til å kunne brukes så lenge tildekkingslaget ble konstruert slik at kan motstå erosjon fra strøm og båttrafikk (Norconsult, 2016).

### 3.3 CT-skanning av sedimentkjerner og testing av tildekkingsmasser

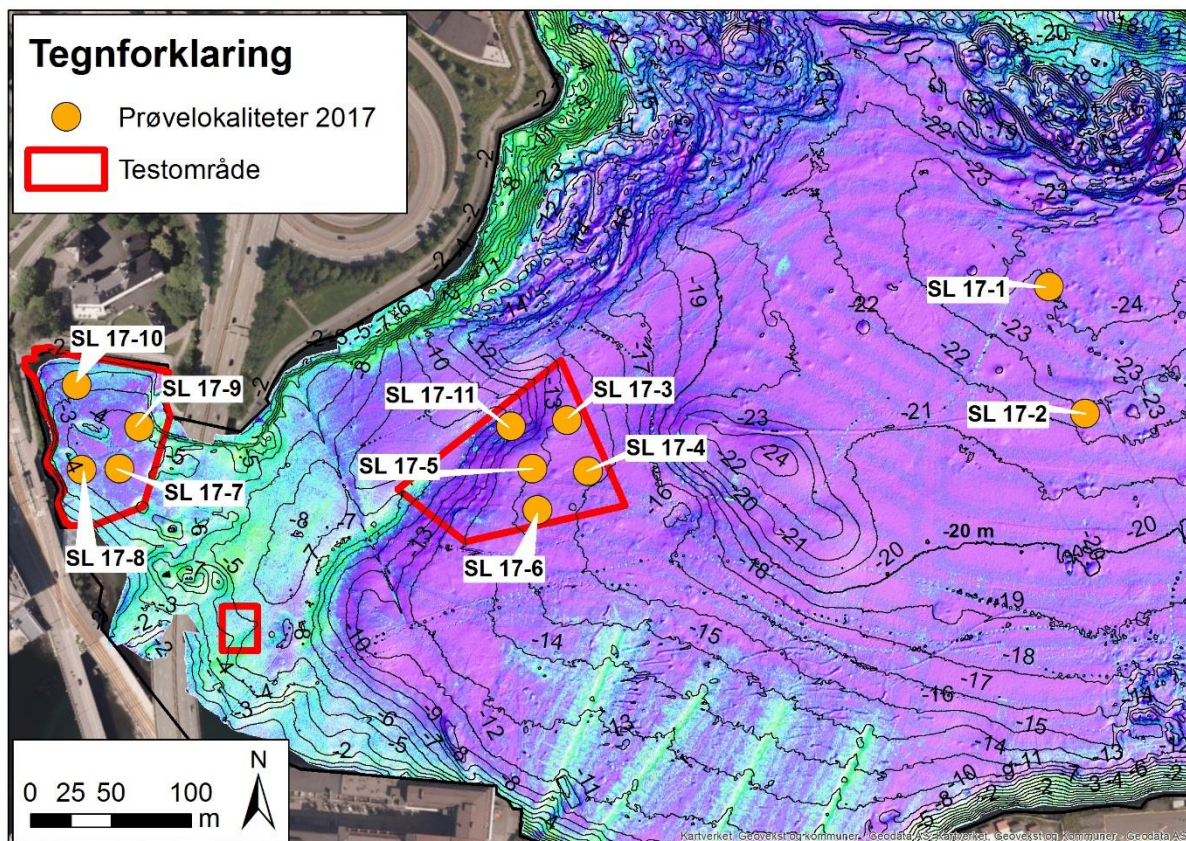
I forkant av testtildekkingen ble det innhentet prøver fra 11 lokaliteter i Store Lungegårdsvann med fokus på de bløte sjøbunnsområdene (Figur 3). Fra lokalitetene SL 17-2, SL 17-3 og SL 17-6 ble det hentet inn kjerneprøver som ble skannet med CT-skanner (CT=computertomografi) ved institutt for Geovitenskap ved Universitetet i Bergen. CT-skanneren sender røntgenstråler inn i sedimentkjernen fra mange ulike vinkler, og man kan deretter genere tredimensjonale bilder og vise områder med ulik tetthet eller ulik kontrastnivå. I dette forsøket ble kjerneprøvene skannet både før og etter at de ble tildekket med forskjellig type tildekkingsmasser i laboratoriet med formål å blant annet å avdekke sedimentkarakteristikk og omfanget av innblandingssonen mellom sjøbunn og tildekkingsmateriale.

Tildekkingsmassene som ble benyttet i laboratorietesten bestod av skjellsand 0/2 mm, maskinsand 0/2 mm (nedknust berg), skjellsand 0/8 mm og gruspartikler 8/10 mm (Figur 4). Skjellsand har en tetthet på omkring 1 g/cm<sup>3</sup> og er således et lett tildekkingsmateriale som kan være godt egnet til tildekking av bløt sjøbunn. Laboratorietesten ble utført ved at tildekkingsmassene ble fylt i et rør med samme diameter som kjerneprøvene og deretter overført til kjerneprøverørene i ulike lagtykkelser. Kjerneprøverørene ble merket mellom hver påfylling for å avdekke kompresjon i sjøbunnsedimentene.

Laboratorietesten ble gjennomført for blant annet å fremskaffe informasjon om hvor mye man kan forvente at tildekkingsmassene blandes inn i sjøbunnsedimentet og hvor mye sjøbunnsedimentet kompakteres etter tildekking. Analyser av sedimentprøver fra lokalitetene SL 17-3 og SL 17-6 viser at siltinnholdet ligger over 85 %, mens innholdet av sand er mindre enn 10 %. Vanninnholdet i sedimentene ligger rundt 80% ved begge lokalitetene (se fulle analyseresultater i Tabell 3, avsnitt 4.3). Det ble ikke gjennomført analyser av prøver fra lokalitet SL17-2, men sedimentene ved denne lokaliteten er vurdert til å være relativt lik sjøbunnen ved de andre to lokalitetene basert på feltobservasjoner.

Det ble utført 3 ulike eksperimenter:

- A) Tildekking med skjellsand 0/2mm og skjellsand 0/8 mm (kjerne 3 fra lokalitet SL 17-3)
- B) Tildekking med skjellsand 0/2 mm og maskinsand 0/2 mm (kjerne 6 fra lokalitet SL 17-6)
- C) Tildekking med gruspartikler 8/10 mm og skjellsand 0/8 mm (kjerne 2 fra lokalitet SL 17-2)



Figur 3 Oversikt over prøvelokaliteter fra 2017. Kjerneprøver fra lokalitet SL17-2, SL17-3 og SL17-6 ble skannet med CT-skanner. Se avsnitt 4.3 for nærmere omtale av prøver fra de andre lokalitetene.



Figur 4 Skjellsand 0/2 mm og skjellsand 0/8 mm brukt i laboratorietesten

### 3.3.1 Test A – Tildekking med skjellsand 0/2 mm og skjellsand 0/8 mm

Sedimentkjerne 3 er innhentet fra ca. 15 m dyp innenfor testområde 1. Kjerne 3 hadde ca. 50 cm med saltvann over sedimentoverflaten under testene. CT-skanningen som ble utført før påfylling av tildekkingsmasse viste at det både var gravespor i toppsedimentene og skjellfragmenter nederst i kjernen (Figur 5). Gravesporene viser at det er/har vært biologisk liv i sedimentene på 15 m dyp i Store Lungegårdsvann. Det var ikke mulig å se lagdeling visuelt, men CT-skanningen viste at det er lagdeling i kjernen (Figur 6).

Det ble overført (fylt på) totalt 30 cm masse til kjerne 3:

1) Overføring av et første lag med 6 cm fin skjellsand til kjernen.

**Erfaring:** Skjellsanden var litt fuktig og falt som en "klump" ned i vannet, men løste seg opp før den nådde sedimentoverflaten. Skjellsanden drysset ned over sedimentene og innen ca. 10 minutter var blakkingen i vannet borte. Det ble observert en liten kile av underliggende sedimenter som gikk opp i skjellsand med maksimal dybde på 1 cm, men ellers var innblandingen mellom underliggende sediment og skjellsand minimal (<1 cm). De fineste fraksjonene sedimenterte sist og la seg på toppen av laget.

2) Overføring av ca. 19 cm fin skjellsand til kjernen.

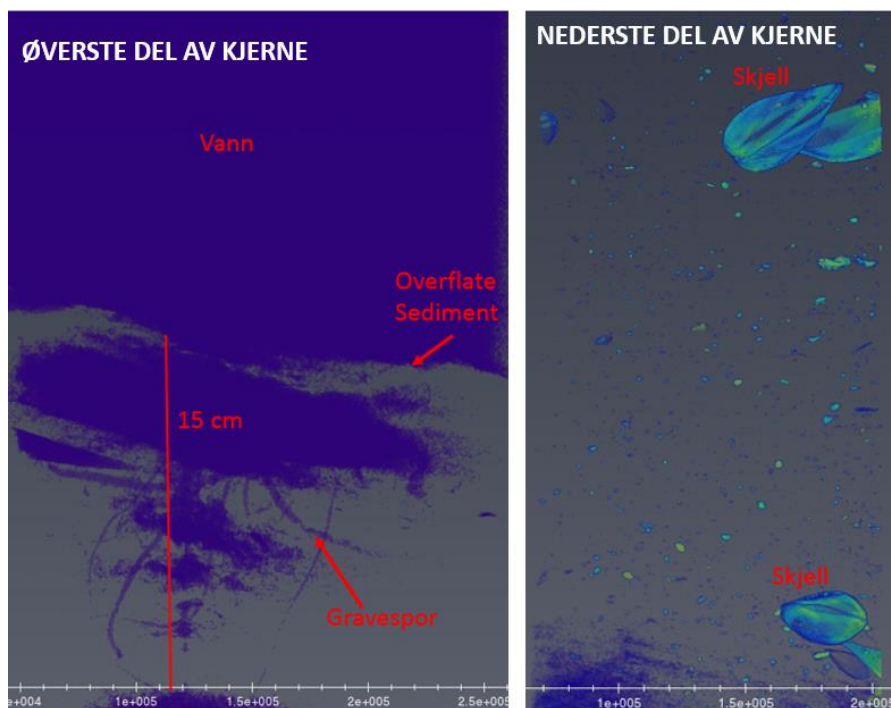
**Erfaring:** Noen av de fineste partiklene på toppen av det første laget ble oppvirvlet av den nytilførte skjellsanden, men mesteparten ble liggende.

3) Overføring av ca. 5 cm grov skjellsand til kjernen.

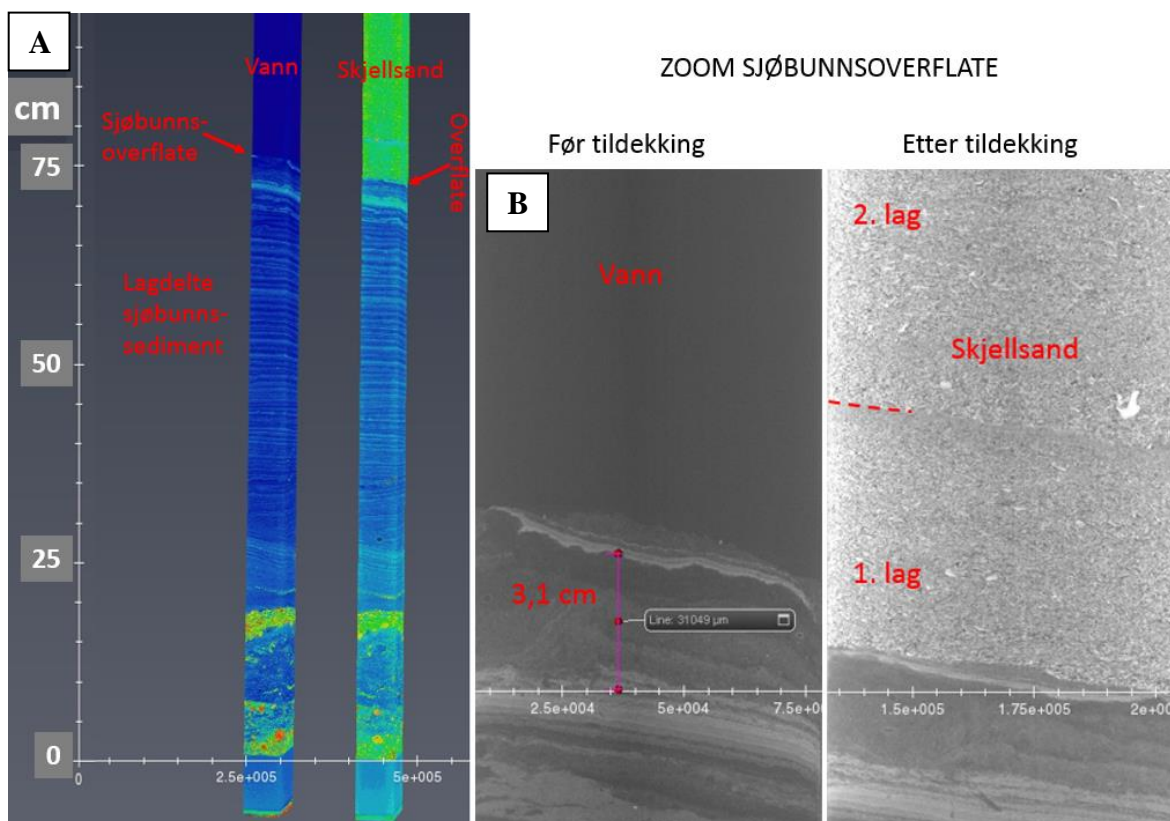
**Erfaring:** De fineste fraksjonene fra det foregående laget ble virvlet opp, og ca. 2 cm av de fineste fraksjonene ble til slutt liggende over det grove skjellsandlaget. Vannoverflaten var dekket av et tynt lag av skum etter ferdig tildekking.

**Kompaksjon av sjøbunnsedimenter:** Umiddelbart etter ferdig tildekking med 30 cm skjellsand, var kompaksjonen av underliggende sediment ca. 3 cm. Det ble observert at kompaksjonen fortsatte i lang tid etter tildekking, og etter 11 dager var total kompaksjon av underliggende sediment ca. 7 cm. Etter 6 måneder var total kompaksjon av underliggende sediment ca. 10 cm. De øverste 30 cm av sjøbunnsedimentene var påvirket av kompaksjonen, med suksessivt mindre kompaksjon nedover i sedimentene.

**Konklusjon:** Tildekking med fin skjellsand (0/2 mm) gav minimal innblanding mot underliggende sedimentlag og virker godt egnet som tildekking på bløte sedimenter. Tildekkingen med totalt 30 cm skjellsand medførte kompaksjon av underliggende sjøbunnsediment på flere cm, og kompaksjonen fortsatte i flere måneder etter tildekking. Kompaksjonen var synlig opptil 30 cm nedover i de tildekkede sjøbunnsedimentene.



Figur 5 Resultater fra CT-skann av kjerne 3 før tildekking. I øverste del av kjernen kan man se gravespor. I den nederste delen av kjernen ser man både skjellfragmenter og hele skjell.



Figur 6 Bilde A viser kjerne 3 før (til venstre) og etter (til høyre) tildekking med skjellsand. De ulike fargene viser områder med ulik relativ tetthet (fra lav til høy tetthet: blå, grønn, gul, rød). Bilde B viser toppen av kjernen før og etter tildekking. Mellom tildekking med skjellsand og CT-skanning ble sjøbunnsedimentene sammenpresset 3,1 cm. Topplaget er fortsatt intakt og viser at innblandingen har vært veldig liten (<1 cm).

### 3.3.2 Test B – Tildekking med skjellsand 0/2 mm og maskinsand 0/2 mm

Sedimentkjerne 6 ble innhentet fra ca. 15 m dyp innenfor testområde 1.

Det ble overført totalt 35 cm tildekkingsmasse til kjerne 6:

1) Overføring av 5 cm fin skjellsand til kjernen.

**Erfaring:** Skjellsanden var litt fuktig og falt som en "klump" ned i vannet (Figur 7, bilde 1), men løste seg opp før den nådde sedimentoverflaten (Figur 7, bilde 2). Skjellsanden drysset ned over sedimentene og innen ca. 10 minutter var blakkingen i vannet borte. Det ble observert noen få partikler av svart, underliggende sediment som ble oppvirvlet under påføring av skjellsand (Figur 7, bilde 2 og 3), men ellers virket innblandingen mellom underliggende sediment og skjellsand liten (<1 cm). Det ble heller ikke observert områder med mindre relativ tetthet under CT-skanningen i dette laget.

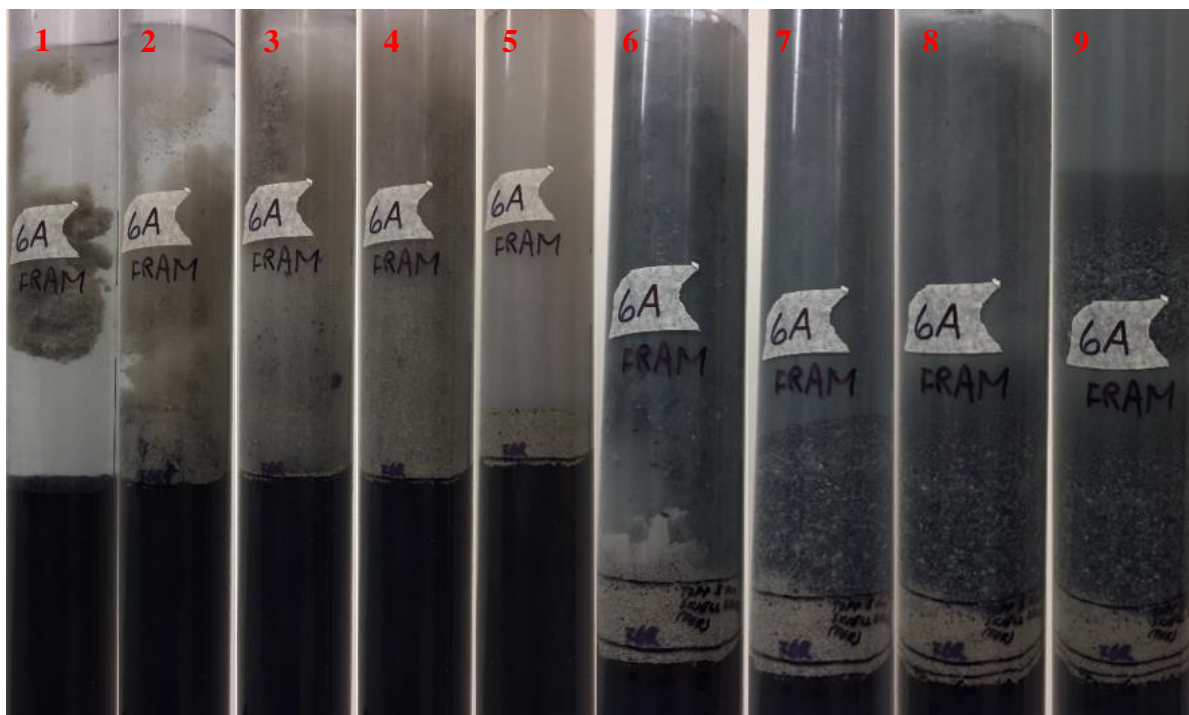
2) Etter 10 min. ble det overført 15 cm maskinsand 0/2 mm til kjernen (Figur 7, bilde 6-8).

**Erfaring:** Noe av skjellsanden ble oppvirvlet av den nytilførte maskinsanden, men mesteparten ble liggende. Det virket som om den høyere egenvekten til massen bidro til at hastigheten på partiklene var større enn for skjellsanden. Overgangen mot laget av skjellsand var tydelig. Det gikk lenger tid før blakking av vannet ble redusert, og sorteringen/graderingen av maskinsanden ble større enn for skjellsanden.

3) Etter 10 min. ble det overført nye 15 cm 0/2 mm maskinsand til kjernen (Figur 7, bilde 9).

**Erfaring:** Mye av det fineste materialet som lå på toppen etter overføring nr. 2 ble oppvirvlet.

**Konklusjon:** Tildekking med fin skjellsand (0/2 mm) gav minimal innblanding mot underliggende sedimentlag og virker godt egnet som tildekking på bløte sedimenter. Maskinsanden blakket vannet mer og førte til større sortering av kornene. Maskinsanden har større egenvekt, og vil kunne virvle opp de fineste partiklene i underliggende sediment.



Figur 7 Tildekking av kjerne 6 med 5 cm fin skjellsand (bilde 1-5) og ca. 30 cm maskinsand 0/2 mm (bilde 6-9).

### 3.3.3 Test C – Tildekking med grus 8/10 mm og skjellsand 0/8 mm

Sedimentkjerne 2 ble innhentet fra de dypereliggende, sentrale delene av Store Lungegårdsvann. Sjøbunnen i dette området er relativt lik sjøbunnen innenfor testfelt 1, der kjerne 3 og 6 ble hentet fra, og består av siltig, bløt sjøbunn med høyt vanninnhold.

Det ble overført totalt 22 cm masse til kjerne 2:

1) Overføring av 2 cm grus til kjernen.

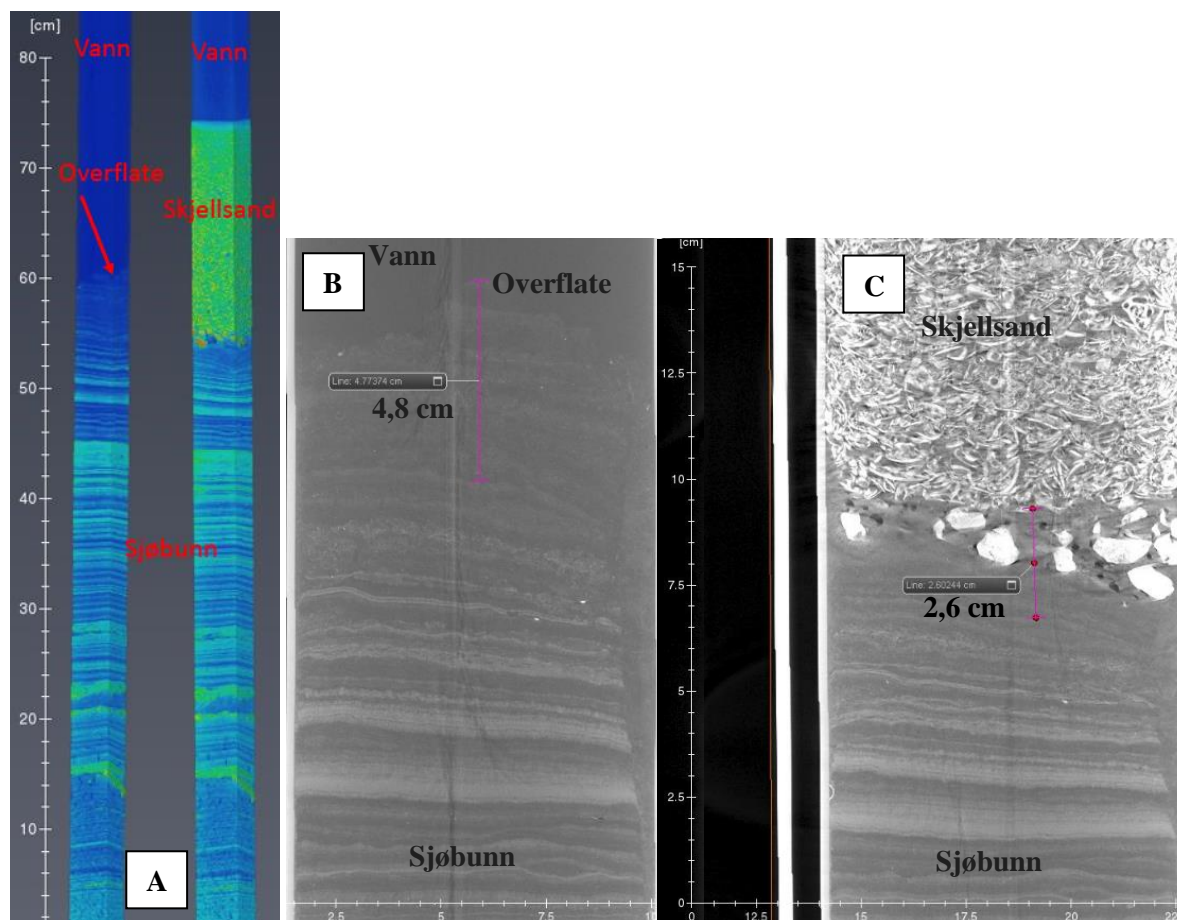
**Erfaring:** Grusen forsvant delvis ned i underliggende sediment og virvlet samtidig opp sjøbunnsedimenter. CT-skanning viste at gruspartiklene forsvant 2-3 cm ned i underliggende sediment (Figur 8 A og C).

2) Etter 10 min. ble det overført ca. 20 cm grov skjellsand (0/8 mm) til kjernen.

**Erfaring:** De fineste fraksjonene av skjellsanden sedimenterte til slutt og la seg på toppen av kjernen.

#### Konklusjon:

Tildekking med gruspartikler 8/10 mm medførte større innblanding med sjøbunnsedimentene enn skjellsand 0/2 mm og mer oppvirvling av sjøbunnsedimenter. De øvre 2-3 cm av sjøbunnsedimentene ble innblandet i tildekkingsmaterialet, mens kompresjonen i sjøbunnsedimentet var 2-3 cm umiddelbart etter tildekking.



Figur 8 *Bilde A viser hele kjerne 2 før og etter påfylling med tildekkingsmasse. Bilde B viser den opprinnelige sjøbunnsoverflaten før tildekking, og bilde C viser det samme utsnittet som bilde B etter pålegging av 2 cm grus 8/10 mm og 20 cm grov skjellsand.*

### 3.3.4 Oppsummering av CT-skanning av kjerneprøver

CT-skanning er en godt egnet metode for blant annet å avdekke lagdeling og strukturer i en sedimentkjerne og avdekke omfanget av innblanding mellom tildekkingsmasser og underliggende sediment. Testene gjennomført her gir en indikasjon på hvordan forskjellig tildekkingsmasse med forskjellig kornstørrelse vil oppføre seg i kontakt med den bløte sjøbunnen i Store Lungegårdsvann, selv om rammebetingelsene ved at kjerneprøverørerne begrenser horisontal utpressing vil være ulik den reelle situasjonen på sjøbunnen.

Fin skjellsand (0/2 mm) gav minst innblandingssone (maksimalt 1 cm), mens gruspartikler (8/10 mm) medførte 2-3 cm innblanding med underliggende sedimenter. Tidligere testforsøk utført av Norconsult på samme type sjøbunnsedimenter fra Store Lungegårdsvann, viste at steiner på 50 mm ble gjenfunnet ca. 12 cm ned i sedimentet når de ble sluppet ned på sedimentet fra lav høyde i vann (Norconsult, 2016).

Initial kompaksjon av sjøbunnsedimentet i kjernene etter tildekking viste seg å være størst, men kompaksjonen fortsatte flere måneder etter tildekkingen. For tildekking med ca. 30 cm skjellsand var sjøbunnsedimentene komprimert ca. 3 cm etter 2 timer. Etter 11 dager var kompaksjonen 7 cm, og etter 6 måneder var den ca. 10 cm.



Gravesporene i kjerne 3 innhentet fra 15 m dyp viser at det er/har vært biologisk liv i sjøbunnsedimentene på denne dybden i Store Lungegårdsvann.

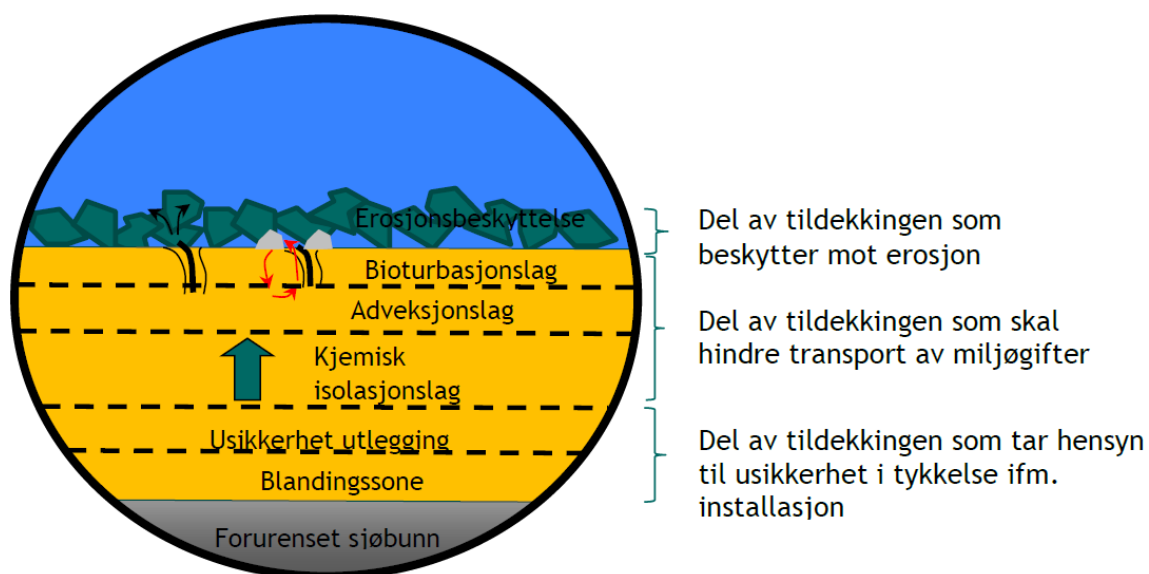
### 3.4 Modellering av tildekkingsstykkelse

Basert på de geotekniske anbefalingene og laboratorietestene, ble det valgt å gå videre med modellering og uttesting i felt av to typer tildekkingslag i de bløte områdene av Store Lungegårdsvann:

- 1) Sand med kornstørrelse 0/2 mm
- 2) Sand med kornstørrelse 0/2 mm med et lag med aktivt karbon

Det ble gjennomført en modellering av nødvendig tykkelse av adveksjonslag og kjemisk isolasjonslag i tildekking av sedimentene i Store Lungegårdsvann (NGI, 2017). Modelleringen ble gjort med det mål at forurensningen fra sjøbunnen ikke skal forårsake at konsentrasjoner etter tildekking i de øverste 10 cm av tildekkingslaget overstiger tilstandsklasse II.

Figur 9 viser en generell oppbygging av et tildekkingsdesign med tanke på å hindre transport gjennom tildekkingen og å bevare tildekkingens fysiske integritet. Den øverste delen av tildekkingen (erosjonsbeskyttelsen) er ment å skulle hindre skader som følge av erosjon. Lagene under dette (bioturbasjonslaget, adveksjonslaget og det kjemiske isolasjonslaget) er ment å skulle redusere spredning av forurensning gjennom tildekkingen, mens de nederste lagene vist i figuren er med i designet for å ta hensyn til usikkerheter knyttet til utlegging av tildekkingsmasser.



Figur 9 Illustrasjon av tildekkingslag (Miljødirektoratet, 2016).

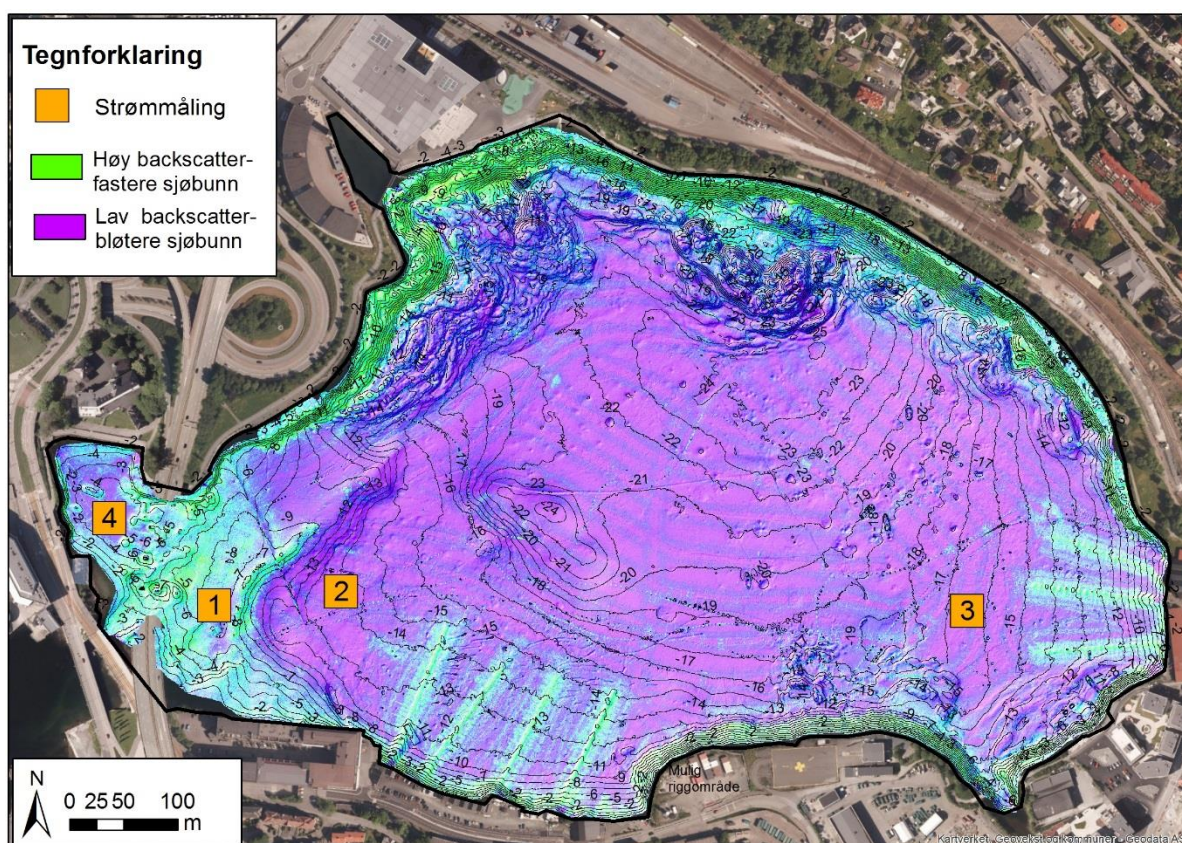
Modelleringen utført for Store Lungegårdsvann viste at PAH-forbindelsen antracen er styrende for tykkelsen til det kjemiske isolasjonslaget (NGI, 2017). Dersom det kjemiske isolasjonslaget kun skal bestå av sand, må det legges ut et isolasjonslag på 10 cm (modellert som 10 cm isolasjonslag + 10 cm bioturbasjonslag) for å oppnå målsetningen med tildekkingen med en tidshorisont på 1000 år. Dersom en benytter aktivt karbon, viser modelleringen at det er tilstrekkelig med et lag på 0,5 cm

aktivt karbon eller 2 kg aktivt karbon per m<sup>2</sup> overdekket med et 10 cm sandlag for bioturbasjon for å oppnå kravet.

For adveksjonslaget ble det anbefalt å legge ut et lag på 10 cm. Det kan eventuelt gjøres en vurdering om dette laget kan sammenfalle med bioturbasjonslaget og erosjonsbeskyttelseslaget (NGI, 2017).

### 3.5 Strømmålinger og modellering av propellstrøm

Det ble gjennomført strømmålinger ved 4 lokaliteter i Store Lungegårdsvann i tidsrommet 29.03.17-08.05.17 (Fishguard, 2017a). Lokalitetene er vist i Figur 10. Dybdene ved lokalitet 1-4 er henholdsvis ca. 8, 14, 16 og 5 m. Bunnstrøm ble målt ved alle lokalitetene, mens det også ble foretatt profilerende strømmålinger av vannsøylen ved lokalitet 2 og 3. Måleintervallet ble satt til hvert 3. minutt for å fange opp kortvarige endringer i strømhastighet.



Figur 10 Lokalisering av stasjoner der det er utført strømmålinger. Ved lokalitet 1 og 4 ble det kun målt bunnstrøm, mens det ble foretatt profilerende strømmålinger av vannsøylen ved stasjon 2 og 3.

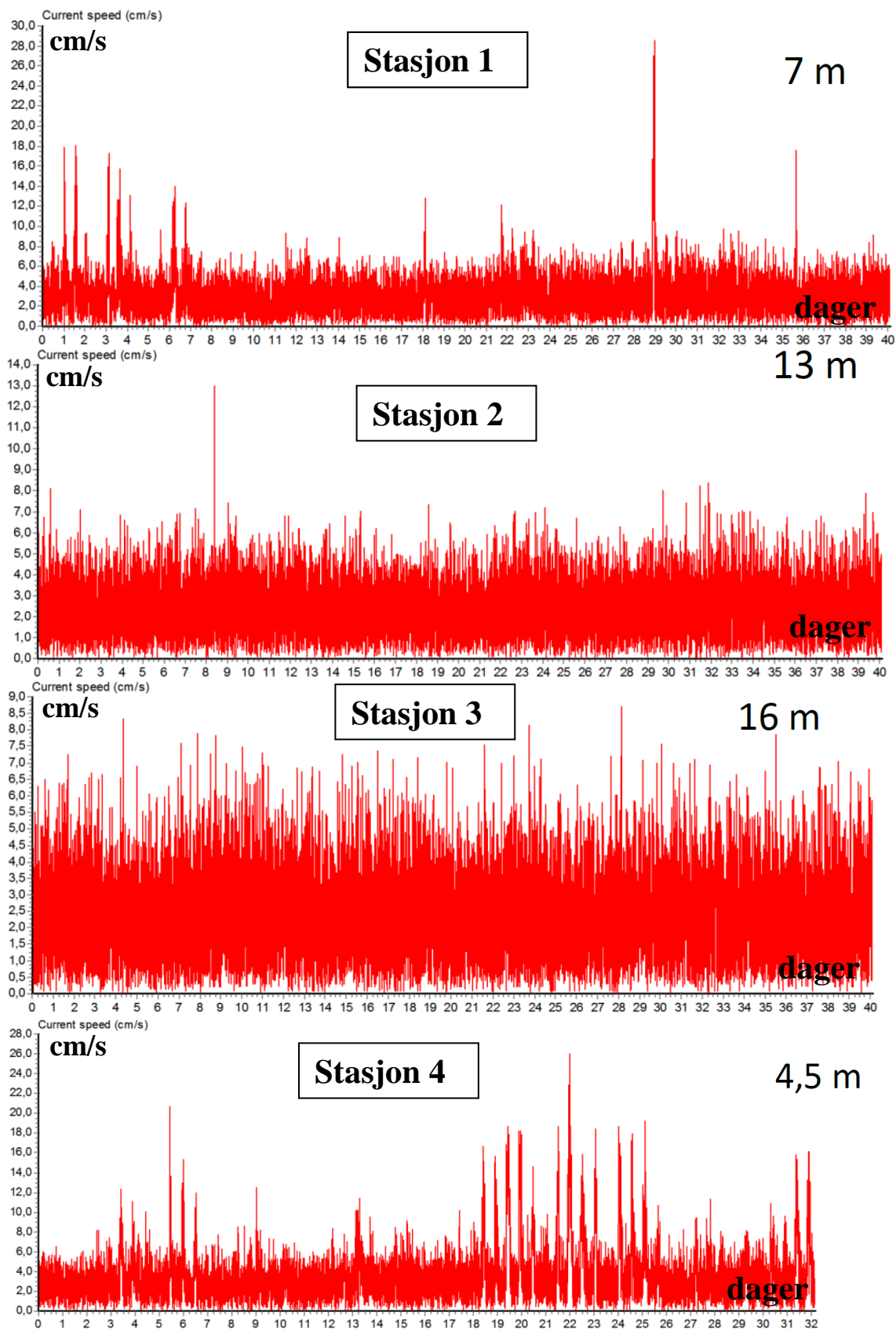
Måleresultatene viste svak strøm med varierende grad av vekslende strømrørninger ved alle stasjonene. Det store flertallet av målingene ved alle lokaliteter og dybder lå under 5 cm/s. Gjennomsnittlig hastighet varierte mellom 2,4 og 4,9 cm/s, med noe tendens mot lavere hastighet dypere i vannsøylen. Bunnstrømmen målt ved lokalitet 2 og 3 er trolig representativ for de sentrale

områdene i Store Lungegårdsvann med bløt sjøbunn. Resultatene for målingene av bunnstrøm ved de 4 lokalitetene er vist i Figur 11.

Korte episoder med økt strømhastighet ble registrert ved alle stasjonene i løpet av perioden med hastigheter opp mot 25-30 cm/s for målinger nærmest overflaten. For stasjonene 2 og 3 begrenset disse episodene seg til øverste del av vannsøylen. For stasjonene 1 og 4 ble episoder med økte strømhastighet også registrert for bunnstrøm, men måleresultater over 15 cm/s begrenset seg imidlertid til 0,1-0,8 % av datasettet.

Noen enkeltepisoder med høyere strømhastighet kan i varierende grad korreleres med stigende vannstand i periodene med størst avstand mellom lavt og høyt tidevann. Denne korrelasjonen er tydeligst ved stasjon 4, men en svak korrelasjon kan også identifiseres ved lokalitet 1 og øverste målepunkt i stasjon 2 (Fishguard, 2017a).

Området i og rett innenfor farleden under Gamle Nygårdsbro har sterkest strøm i Store Lungegårdsvann. Det ble ikke utført strømmålinger her, men undersøkelser av sjøbunnen viser at det heller ikke er finstoff på sjøbunnen der strømmen er aller sterkest. Et stykke unna farleden er det imidlertid områder der strømmen trolig er noe høyere enn målt ved målestasjon 1 samtidig som det finnes noe silt/sand på sjøbunnen. Måleresultatene fra målestasjon 1 anses derfor ikke å være representativ for hele det grunnere området i den vestlige delen av Store Lungegårdsvann.



Figur 11 Bunnstrøm ved de 4 stasjonene (0,5-1 m over sjøbunnen) (fra Fishguard, 2017a). Målingene ved stasjon 1-3 ble utført i perioden 29.03.17-08.05.17. Målingene ved stasjon 4 ble utført i perioden 06.04.17-08.05.17.

I tillegg til strømmålinger ble det gjennomført beregning av oppvirvling av bunnsedimenter fra båter og vannskutere som trafikkerer Store Lungegårdsvann (Sintef, 2017). Småbåthavnene i Store Lungegårdsvann har oppgitt informasjon om motorkraft og propellenes størrelse og plassering for deres største fartøyer, og basert på denne informasjonen ble det valgt ut 3 dimensjonerende båter og en vannskuter. Beregningene ble utført med 30 og 60 % motorpådrag for båtene og 60 og 100 % motorpådrag for vannskuteren.

Resultatene viser at det er liten forskjell i beregnet bunnstrøm for de forskjellige båtene (Tabell 1). For 5 m vanddyb er maksimal bunnstrøm ca. 47 og 59 cm/s ved henholdsvis 30 og 60 % motorpådrag. Ved 15 m vanddyb er de tilsvarende størrelsene ca. 14 og 18 cm/s. Beregnet bunnstrøm for vannskuteren ligger noe lavere enn for båtene. Tabell 1 viser også minste sedimentstørrelse ( $D_{50}$ ) som er beregnet å ligge i ro ved maksimal propellstrøm ved bunnen. Minste sedimentstørrelse er 1,2 - 1,3 mm for høyt pådrag og 0,7 - 0,9 mm for lavt pådrag på 5 m vanddyb. På 15 m vanddyb er det beregnet at ingen sedimenter vil erodere (bunnstrøm på under 20 cm/s).

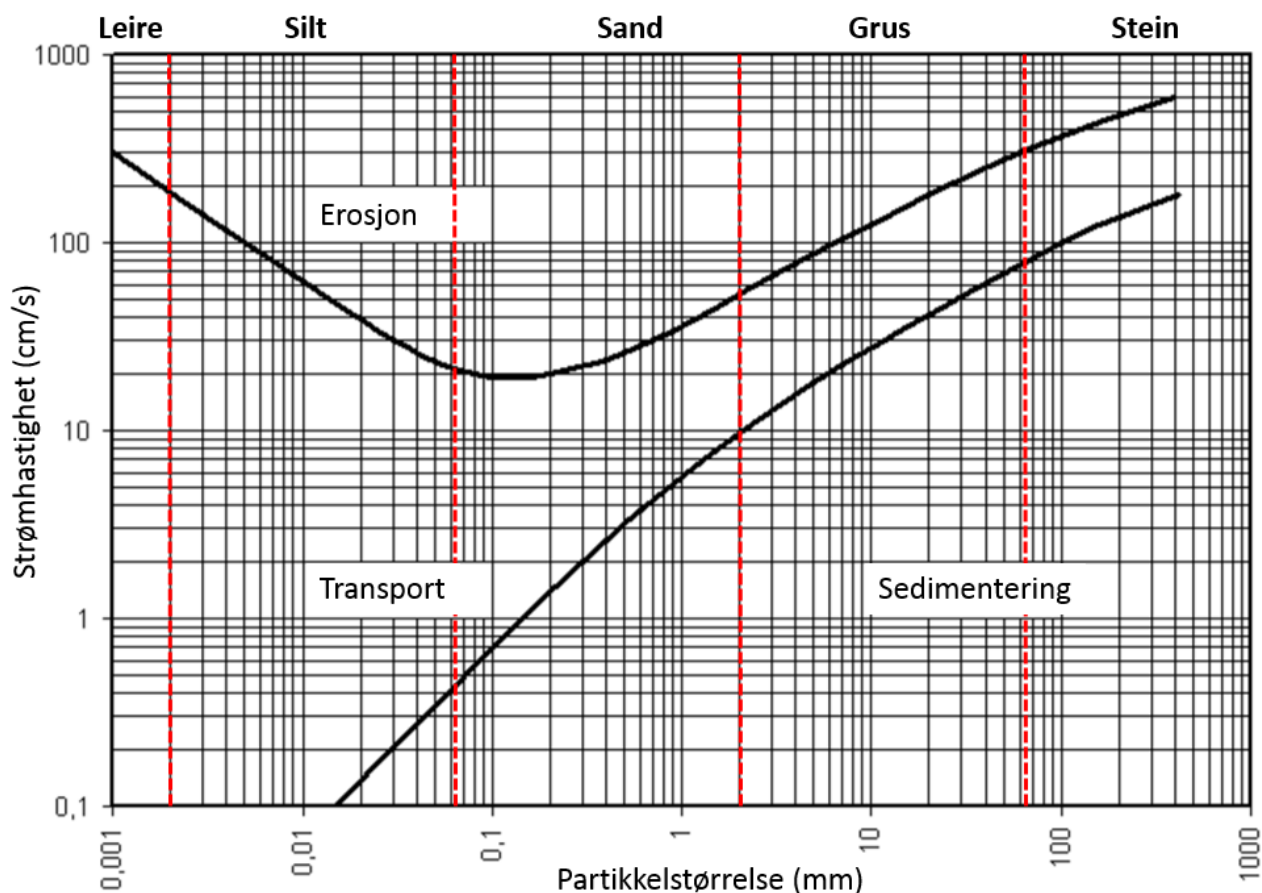
Tabell 1 Minste sedimentstørrelse ( $D_{50}$ ) som er beregnet å ligge i ro ved maksimal propellstrøm ved bunnen (fra Sintef, 2017).

	Båt	Vanddyb	Maks bunnstrøm (m/s)		Minste $D_{50}$ (mm) for suspensjon	
			Lavt pådrag	Høyt pådrag	Lavt pådrag	Høyt pådrag
1	Schaefer Yachts 290	5 m	0,46	0,57	0,7	1,2
		15 m	0,14	0,18	-*)	-*)
2	Unique 900 / Marex 290	5 m	0,49	0,61	0,9	1,3
		15 m	0,14	0,18	-*)	-*)
3	Selby 27	5 m	0,47	0,59	0,8	1,2
		15 m	0,14	0,17	-*)	-*)
4	Sea-Doo RXT-X 300 vannskuter	5 m	0,40	0,48	0,4	0,8
		15 m	0,13	0,15	-*)	-*)

\*) Med en bunnstrøm på under 20 cm/s (gjelder 15 m dyp) vil ingen sedimenter erodere. Det skyldes at jo finere sedimentene er, desto viktigere blir de kohesive kreftene i forhold til friksjonskreftene og for leire, silt og fin sand øker erosjonshastigheten med minkende sedimentstørrelse.

Hjulstrøm diagrammet i Figur 12 beskriver forholdet mellom transport, erosjon og sedimentasjon av ulike kornstørrelser ved forskjellige strømhastigheter. Transport av en partikkel av en viss størrelse innebærer at partikkelen allerede er i suspensjon. Kohesive krefter virker sterkere på leir- og siltpartikler, og figuren viser at erosjon skjer raskest i partikler av fin/medium sand.

Basert på Hjulstrøms diagram og resultatene fra strømmålingene og beregningene av propellstrøm fra fartøy, vurderes det ikke som nødvendig å tildekke områdene med bløt sjøbunn i Store Lungegårdsvann med grovere materiale enn sand. I de grunnere områdene med fastere sjøbunn i vest nær munningen av Store Lungegårdsvann må tildekkingslaget inneholde mer grovkornet materiale for å sikre det mot erosjon.



Figur 12 Hjulstrøm diagrammet viser strømhastighet og partikkelstørrelse og forholdet mellom erosjon, transport og sedimentering.

### 3.6 Valg av tildekkingsdesign for testtildekkingen

Basert på utredningene/målingene beskrevet i avsnitt 3.1 – 3.5, ble det valgt å teste ut følgende tildekkingsløsninger i de bløte sjøbunnsområdene som del av pilottesten:

1) Tildekking med sand (0/2 mm) utlagt i flere tynne lag med total tykkelse på 30 cm. Siden de geotekniske vurderingene anbefalte materiale med lav egenvekt, ble det valgt å teste ut både maskinsand (nedknust berg) og skjellsand. Skjellsand har generelt lavere egenvekt enn maskinsand.

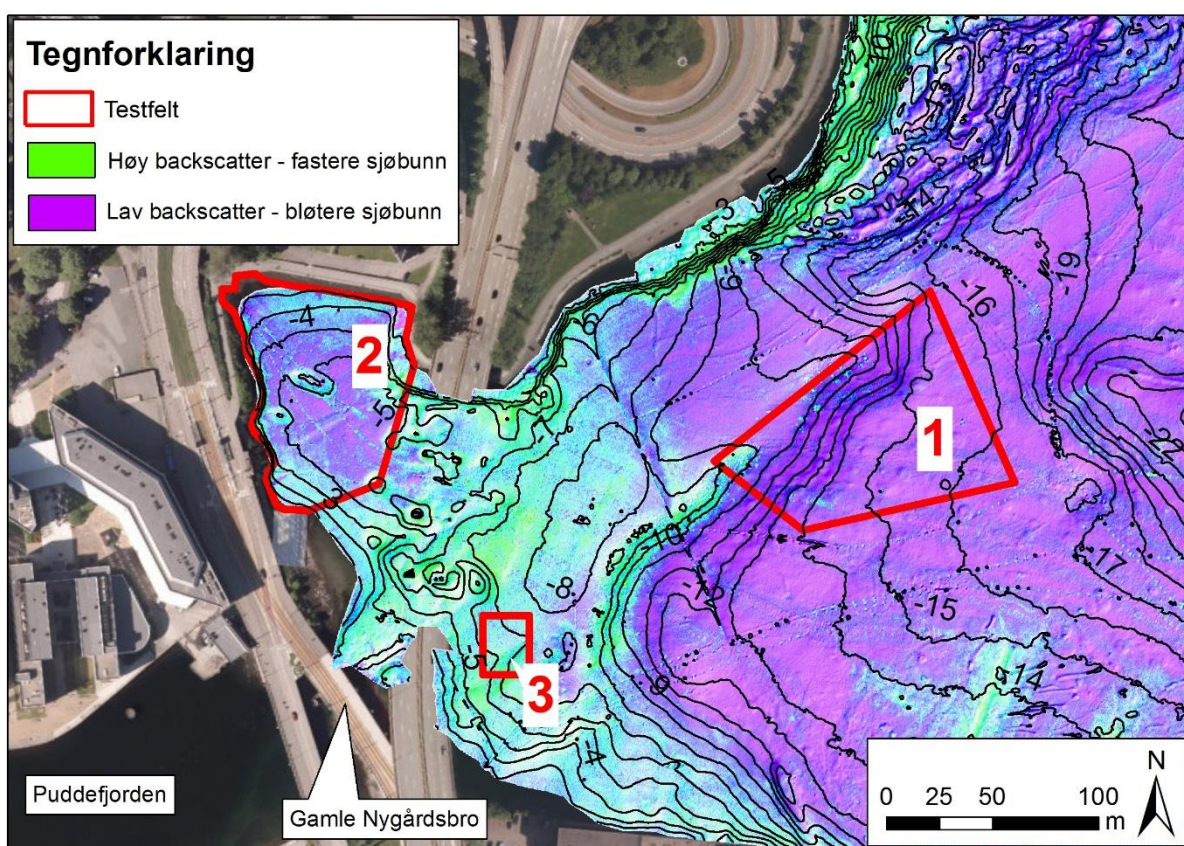
2) En tynnere tildekkning på totalt 20 cm bestående av sand (0/2 mm) utlagt i flere tynne lag og et lag med aktivt karbon tilsvarende 2 kg per m<sup>2</sup> innimellom sandlagene. Det ble valgt å teste ut utlegging av både pulverisert aktivt kull og AquaGate+PAC 10% (se avsnitt 7.3 for beskrivelse av kullproduktene).

I tillegg til uttesting av tildekkingsløsninger og utleggingsmetodikk i områdene med bløt sjøbunn, ble det valgt å teste ut en utleggingsmetode for TBM-masser i områdene med fastere sjøbunn i vest. Entreprenøren som ble valgt til tildekkingsforsøket pumpet massene inn i Store Lungegårdsvann gjennom rør fra fartøy som lå utenfor Gamle Nygårdsbro (se avsnitt 5.1), og det var ønskelig å teste

om det også var mulig å legge ut TMB-masser som inneholder både grus og stein med denne metoden.

## 4 Beskrivelse av testfelter

Det ble valgt ut 3 testfelter lokalisert i den vestlige delen av Store Lungegårdsvann (Figur 13). I den nordøstlige delen av Store Lungegårdsvann pågår det en større utfylling i forbindelse med etablering av ny Bybanetrase, og en siltgardin sperrer denne delen av Store Lungegårdsvann. Det ble derfor valgt å legge testfeltene et stykke vest for siltgardinen og utfyllingsområdet.



Figur 13 Oversikt over de tre testfeltene i den vestlige delen av Store Lungegårdsvann

### 4.1 Topografi og bunnforhold

#### 4.1.1 Testfelt 1

Testfelt 1 har et areal på 8250 m<sup>2</sup> og ligger i et dybdeområde på mellom 10 og 16 m (Figur 13). Den sørøstlige delen av testfeltet er relativt flat med helning 0-5°. Helningsgradienten i skråningen i den nordvestlige delen av testfeltet ligger hovedsakelig i området 10-20°. Testfeltets østre grense ligger ca. 350 m fra Gamle Nygårdsbro.

Testfelt 1 har svært bløt sjøbunn og er representativt for områdene i de sentrale, dypereliggende delene av Store Lungegårdsvann.

#### 4.1.2 Testfelt 2

Testfelt 2 har et areal på 6765 m<sup>2</sup> og ligger i et dybdeområde på mellom 0 og 5 m (Figur 13). Området er tilnærmet helt flatt i de sentrale delene, mens helningsgraden stiger opp mot rundt 15° i enkelte områder nærmere land. Testfeltets nordlige grense ligger ca. 200 m fra Gamle Nygårdsbro.

Sjøbunnen i testfelt 2 er mindre bløt enn i testfelt 1, og har enkelte soner med fastere sjøbunn langs land som vist i Figur 13.

#### 4.1.3 Testfelt 3

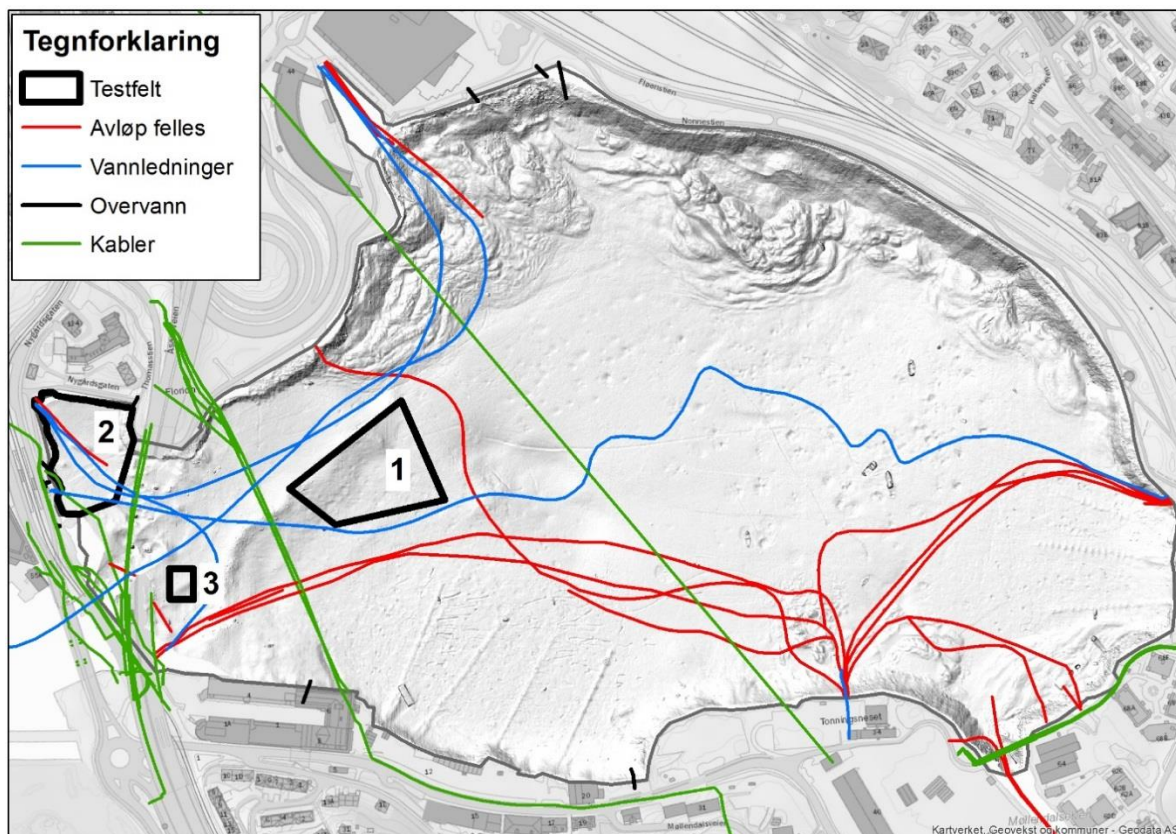
Testfelt 3 har et areal på 600 m<sup>2</sup> og ligger i et dybdeområde på mellom 5 og 7 m. Området er relativt flatt (<5°) og har fastere sjøbunn enn i de to andre testfeltene med bunnsediment som primært består av sand og grus med lite finstoff.

## 4.2 Installasjoner

Det ligger en rekke vann- og avløpsledninger og kabler på sjøbunnen i Store Lungegårdsvann. Figur 14 viser en oversikt over disse basert på data innhentet i august 2016. BKKs vannledning som krysser under Nygårdsbroen og går ut i Puddefjorden ble lagt ut våren 2017, og for denne er det benyttet innmålingsdata fra juli 2017.

Ingen ledninger eller kabler krysser testfelt 1 og 3, mens i testfelt 2 ligger det 3 vannledninger, en avløpsledning og en kabel. Det ble innhentet tillatelse fra alle eierne av ledningene og kablene til å dekke ledningene og kablene med sand (0/2 mm).





Figur 14 Oversikt over ledninger og kabler i Store Lungegårdsvann

### 4.3 Miljøgifter i sedimentene i testfeltene

Konsentrasjonen av miljøgifter i overflatesedimenter (0-10 cm) i Store Lungegårdsvann er kartlagt i flere runder, og en oversikt over resultatene for hele Store Lungegårdsvann er gitt i "Tiltaksplan for forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann, Bergen" (COWI, 2016). I forkant av testtildekkingen ble det tatt 9 prøver fra området innenfor testfelt 1 og 2, og analyseresultatene fra disse prøvene er presentert i Tabell 3. Analyseresultatene er fargelagt etter tilstandsklasser oppgitt i veileder M-608/2016 "Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota" (Tabell 2) (Miljødirektoratet, 2016). Tilstandsklassene representerer en forventet økende grad av skade på organismsamfunn i sedimentene. Prøvelokalitetene er vist i Figur 3.

Analyseresultatene viser at det er påvist høyest forurensningsnivå av kobber, kvikksølv og TBT tilsvarende tilstandsklasse V. PCB<sub>7</sub> er påvist i tilstandsklasse IV i alle prøver. De tyngre PAH-forbindelsene har også generelt konsentrasjoner tilsvarende tilstandsklasse IV, med unntak av prøve SL17-8 der flere PAH-forbindelser er påvist i tilstandsklasse V. Forurensningsnivået er relativt likt i de to testfeltene, og nivåene er også generelt i tråd med det generelle forurensningsnivået i sedimentene i Store Lungegårdsvann (COWI, 2016).

Prøvene SL17-3, SL17-4, SL17-5 og SL17-6 er representative for de bløtteste delene av Store Lungegårdsvann, og kornfordelingsanalysene viser at disse prøvene inneholder mellom 85 og 90 % silt, samt litt leire og finsand og har et vanninnhold i området 80-86 %. I testfelt 2 er det større innslag av finsand i sedimentene, særlig i strandsonen. TOC innholdet i sedimentene varierer mellom 3,8 og 6,8 %. Kjerneprøve SL17-1 og SL17-2 ble ikke analysert for miljøgifter.

Tabell 2 Klassifiseringssystem for vann og sediment i veileder M-608/2016 (Miljødirektoratet, 2016).

I Bakgrunn	II God	III Moderat	IV Dårlig	V Svært dårlig
Bakgrunnsnivå	Ingen toksiske effekter	Kroniske effekter ved langtids-eksponering	Akutt toksiske effekter ved kort-tidseksponering	Omfattende toksiske effekter
Øvre grense: bakgrunn	Øvre grense: AA-QS, PNEC	Øvre grense: MAC-QS, PNEC <sub>akutt</sub>	Øvre grense: PNEC <sub>akutt</sub> * AF <sup>1)</sup>	

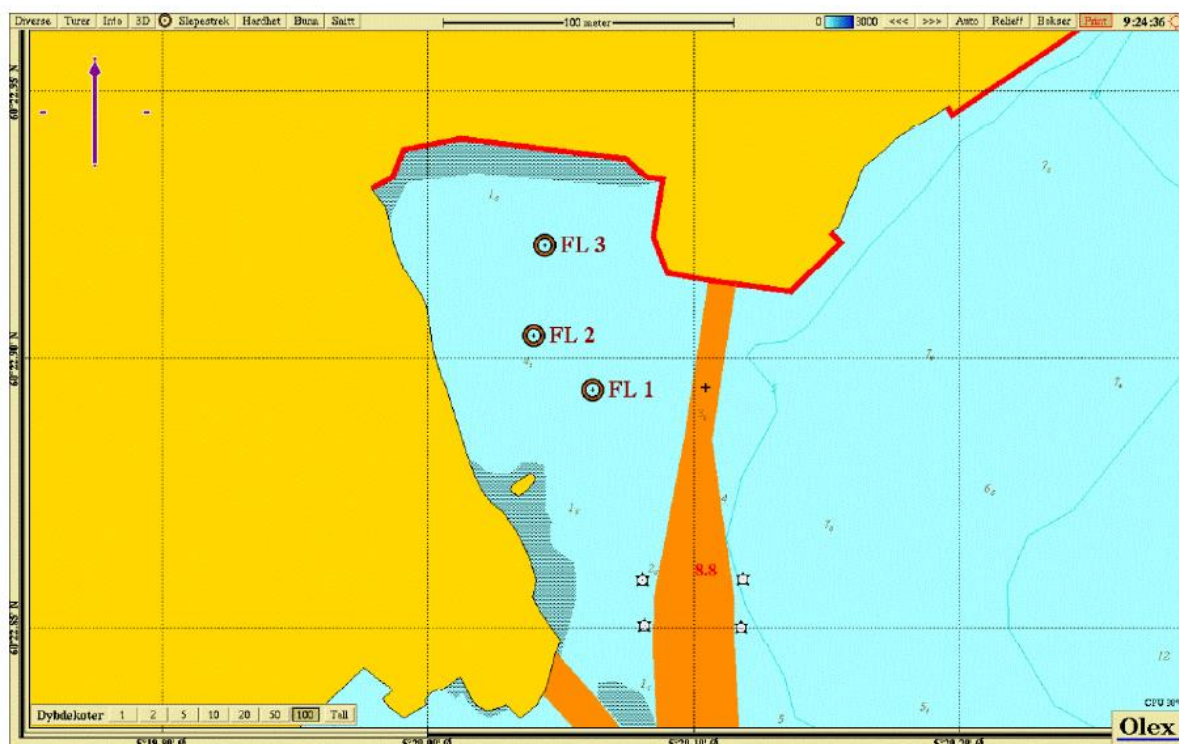
Tabell 3 Analyseresultater for sedimentprøver tatt før tildekking i testfelt 1 og 2 klassifisert etter veileder M-608/2016 (Miljødirektoratet, 2016). Se Tabell 2 for fargeskala. Kjerne SL17-1 og SL17-2 ble ikke analysert for miljøgifter.

ELEMENT	Enhet	SL17-3	SL17-4	SL17-5	SL17-6	SL17-7	SL17-8	SL17-9	SL17-10	SL17-11
As (Arsen)	mg/kg TS	8,98	10,2	9,43	14,3	14,2	13	8,21	10,3	9,04
Pb (Bly)	mg/kg TS	152	133	115	273	220	161	123	210	149
Cu (Kopper)	mg/kg TS	236	226	215	334	302	264	188	301	239
Cr (Krom)	mg/kg TS	89,4	66,6	84,3	112	81,5	75,7	62	90,4	83
Cd (Kadmium)	mg/kg TS	2,12	1,52	1,53	8,78	3	2,24	2,28	4,12	2,52
Hg (Kvikksølv)	mg/kg TS	0,97	0,47	0,62	3,19	2,23	2,53	2,46	5,77	1,84
Ni (Nikkel)	mg/kg TS	53,4	41,9	51,9	41,7	34,1	25,3	22,7	25,9	37,5
Zn (Sink)	mg/kg TS	463	450	408	825	550	412	308	428	414
Naftalen	µg/kg TS	70	54	34	64	64	233	38	49	79
Acenaftalen	µg/kg TS	52	40	29	53	42	42	19	43	28
Acenaften	µg/kg TS	48	42	42	78	48	315	26	39	62
Fluoren	µg/kg TS	44	43	41	68	47	377	26	44	54
Fenantren	µg/kg TS	391	326	312	538	456	2380	208	330	451
Antracen	µg/kg TS	141	104	100	214	145	704	83	136	147
Fluoranten	µg/kg TS	1040	870	781	954	1210	3850	764	1110	1340
Pyren	µg/kg TS	1770	1290	1120	2050	1650	3330	809	1200	1450
Benso(a)antracen	µg/kg TS	959	584	527	1430	689	1850	406	547	823
Krysen	µg/kg TS	1050	699	581	1540	869	1670	442	686	734
Benso(b)fluoranten	µg/kg TS	1560	992	915	2600	1460	2830	960	1320	1650
Benso(k)fluoranten	µg/kg TS	920	592	648	1900	965	1710	554	762	909
Benso(a)pyren	µg/kg TS	1170	845	751	1860	992	1910	675	991	1230
Dibenso(ah)antracen	µg/kg TS	165	148	130	212	155	206	126	156	191
Benso(ghi)perylene	µg/kg TS	1140	836	668	1410	1100	1640	564	839	1030
Indeno(123cd)pyren	µg/kg TS	889	863	563	1130	508	1710	663	1010	1280
Sum PAH-16*	µg/kg TS	11000	8300	7200	16000	10000	25000	6400	9300	11000
Sum PCB-7	µg/kg TS	110	80	74	230	120	160	68	210	130
Tributyltinnkation*	µg/kg TS	923	1240	1010	523	795	927	846	1140	1500
Tørrestoff (E)	%	18,7	14,4	16,5	20	36,7	38,7	57,2	49,2	42,6
Vanninnhold	%	81,2	85,6	83,5	79,9	63,3	61,3	42,8	50,7	57,4
TOC	% TS	4,39	5,2	4,62	5,6	5,49	6,82	3,91	4,27	3,78
Kornstørrelse >2 mm	%	0,15	0,37	0,16	0,16	0,58	0,57	5,14	9,12	0,77
Kornstørrelse 1-2 mm	%	0,46	0,12	0,24	0,08	0,54	0,38	5,34	3,23	1,08
Kornstørrelse 0,5-1 mm	%	0,54	0,61	0,49	0,49	0,9	0,68	5,72	2,61	1,65
Kornstørrelse 0,25-0,5 mm	%	0,92	0,73	0,98	0,58	3,43	1,67	8,52	3,4	2,74
Kornstørrelse 0,125-0,25 mm	%	1	0,98	1,71	1,15	5,18	9,2	19,2	6,37	7,23
Kornstørrelse 0,063-0,125 mm	%	6,82	6,11	7,99	5,45	15,6	14,8	16	13,1	20,4
<b>Sand (0,063-2 mm)</b>	%	<b>9,7</b>	<b>8,6</b>	<b>11,4</b>	<b>7,8</b>	<b>25,7</b>	<b>26,7</b>	<b>54,8</b>	<b>28,7</b>	<b>33,1</b>
Kornstørrelse 0,032-0,063 mm	%	15,8	15,8	16,3	14,9	14	13,3	5,84	9,96	11,6
Kornstørrelse 0,016-0,032 mm	%	25,9	26,9	26,2	26,7	22,8	21,8	11	18,4	19,3
Kornstørrelse 0,008-0,016 mm	%	25,3	25,4	24,5	26,6	20,5	20,5	11,4	17,6	18,3
Kornstørrelse 0,004-0,008 mm	%	12,3	12,2	11,6	13	9,1	9,51	6,11	8,72	9,16
Kornstørrelse 0,002-0,004 mm	%	7,04	7	6,5	7,18	4,81	4,92	3,66	4,96	4,98
<b>Silt (0,002-0,063 mm)</b>	%	<b>86,3</b>	<b>87,3</b>	<b>85,1</b>	<b>88,4</b>	<b>71,2</b>	<b>70,0</b>	<b>38,0</b>	<b>59,6</b>	<b>63,3</b>
<b>Leire (&lt; 0,002 mm)</b>	%	<b>3,7</b>	<b>3,7</b>	<b>3,4</b>	<b>3,7</b>	<b>2,5</b>	<b>2,7</b>	<b>2,0</b>	<b>2,6</b>	<b>2,8</b>

\* Klassifisert etter veileder TA-2229/2007 siden det ikke fins grenseverdier for disse stoffene i veileder M-608/2016

## 4.4 Bunndyrsundersøkelse

Det ble gjennomført en marinbiologisk undersøkelse av bunndyrs sammensetningen i testfelt 2 i forkant av tildekkingen der det ble tatt bunndyrsprøver fra sedimentet på tre utvalgte stasjoner innenfor testfeltet (Figur 15) (Fishguard, 2017b). Stasjonene ligger på mellom 5 og 7 m dyp. Analysene av bunndyrsprøvene gir informasjon om hvilke arter og hvor mange individer som er tilstede før tildekkingen.



Figur 15 Lokalisering av bunndyrsstasjonene i testfelt 2 (fra Fishguard, 2017).

Resultatene fra bunndyrsundersøkelsen viste at det var mellom 18 og 25 arter ved de tre bunndyrsstasjonene og mellom 79 og 303 individer ved hver stasjon (Fishguard, 2017b). Stasjon FL1 havnet i tilstandsklasse III (moderat) i henhold til grenseverdier gitt i gjeldende veiledere, mens de andre to stasjonene havnet i tilstandsklasse II (god). Felles for alle stasjonene var at de domineres av arter som er tilknyttet økologiske grupper som enten er forurensningstolerante eller forurensningsindikatorer.

Tildekkingen vil ødelegge habitatet for de artene som er tilstede. Etter en viss periode vil det skje en reetablering av bunndyrsamfunnet i området, og dette vil påvirkes av det nye substratet (sedimentet) og hvilke arter som finnes i nærliggende områder. Etter reetableringen har funnet sted, vil det tas nye bunndyrsprøver for å se på forskjeller og likheter knyttet til artssammensetningen før og etter tildekkingen.

## 4.5 Tilkomst

Tilkomst til Store Lungegårdsvann er via Puddefjorden under de tre Nygårdsbroene, der åpningen under Gamle Nygårdsbro er mest begrensende for båttrafikk (Figur 16). Det finnes kun et farbart løp under Gamle Nygårdsbro. Dette har fri høyde på 3,1 m, seilingsdyp på 3,5 m og seilingsbredde på ca. 10 m. Det finnes i tillegg 5 andre løp under Gamle Nygårdsbro som ikke er farbare. Disse er tørrlagt ved lavvann.



Figur 16 Farled under Gamle Nygårdsbro

## 5 Entreprenør og utstyr

### 5.1 Testtildekking

Testtildekkingen ble utført av det Karmøy-baserte firmaet Boston AS (<http://www.boston-as.no/>). Til arbeidet benyttet Boston lekteren Ren Havn, båten MS Sandstrand og en spesialutviklet drone med GPS posisjoneringsutstyr (Figur 17). Massene ble pumpet inn til testfeltene i Store Lungegårdsvann gjennom rør fra fartøy som lå utenfor Gamle Nygårdsbro.

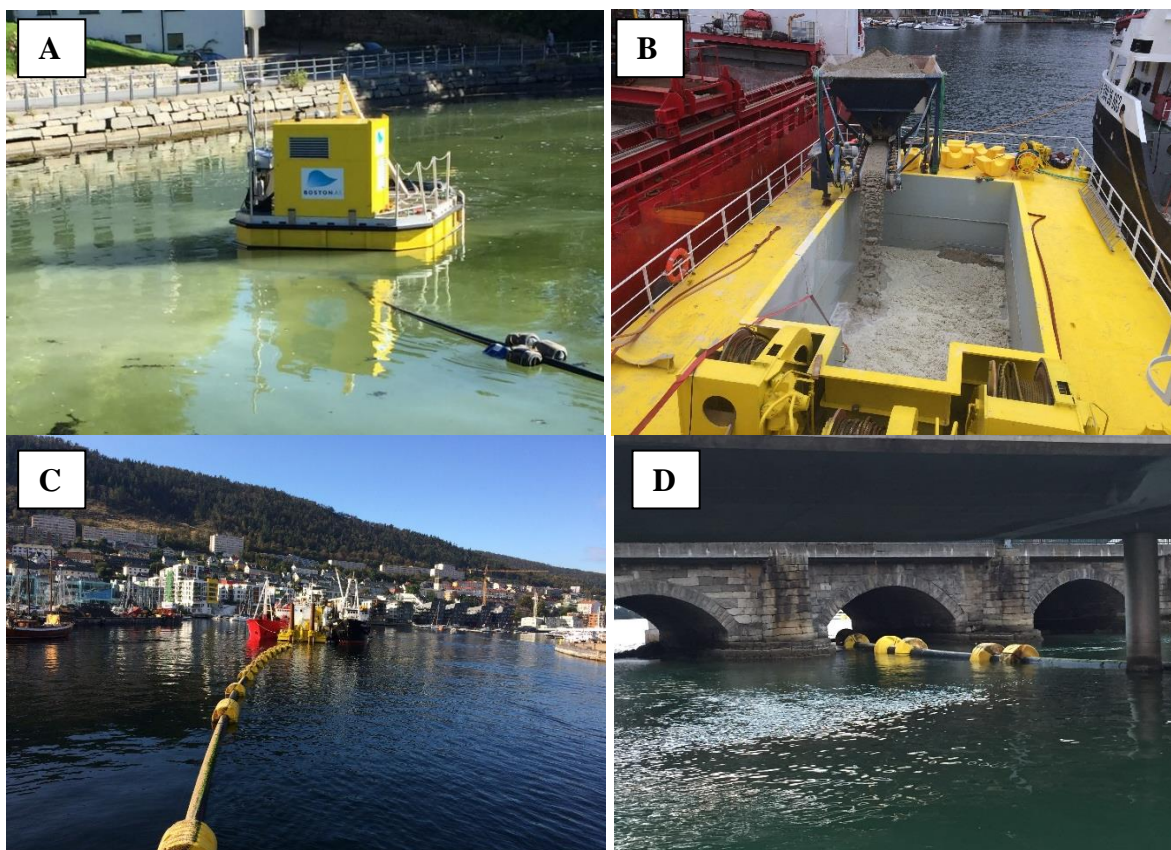
Lekteren Ren Havn har to pumpesystemer om bord:

1. Pumpe med rør med diameter på 125 mm. Kapasiteten på dette pumpesystemet er ca. 50 m<sup>3</sup> i timen. I Store Lungegårdsvann ble denne brukt i testfelt 2, da dette feltet er relativt grunt. Massene ble pumpet ca. 300 meter i disse rørene.

- Pumpe med rør med diameter på 565 mm. Kapasiteten på dette pumpesystemet med sandmasser er ca. 250 m<sup>3</sup> - 270 m<sup>3</sup> i timen. Denne pumpen ble brukt i testfelt 1 og 3, og massene ble pumpet opptil 500 meter.

MS Sandstrand har samme pumpesystem som beskrevet under punkt 1 og ble benyttet til deler av utleggingen i testfelt 2.

Bilder av fartøyene og utstyret benyttet under testtildekkingen er vist i Figur 17.



Figur 17 A) Bilde av dronen under utlegging av skjellsand i testfelt 2 med 125 mm rør B) Matekasse, transportbånd og lasterom om bord på lekteren Ren Havn C) Pumping av masser fra lekteren Ren Havn (lokalisert utenfor Gamle Nygårdsbro) gjennom 565 mm rør inn til testfelt 1 i Store Lungegårdsvann D) 565 mm røret ble lagt gjennom en av åpningen under Gamle Nygårdsbro som ikke er farbart for ikke å hindre båttrafikken under broen.

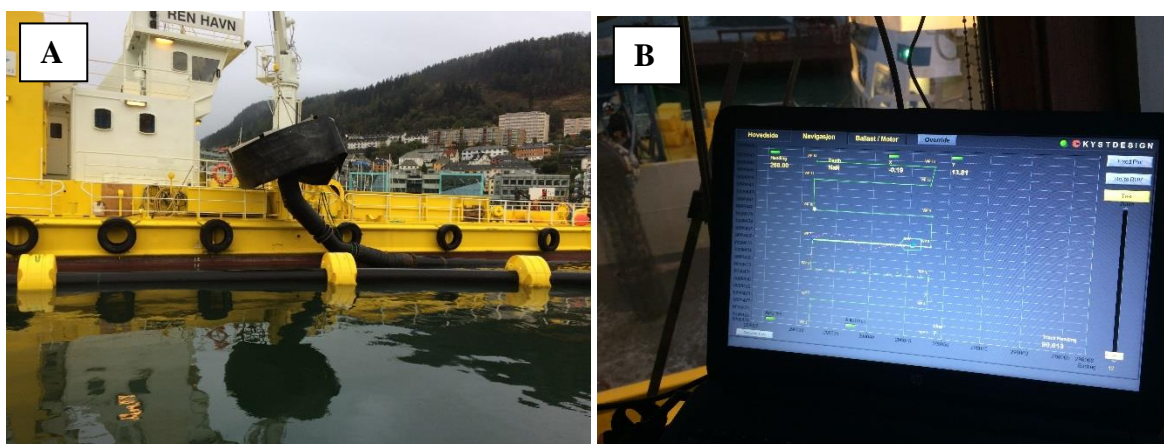
I enden av rørene er det konstruert et utleggingshode som reduserer hastigheten på utleggingsmassen ved at massene i enden av rørene pumpes oppover og inn i utleggingshodet (Figur 18 A). Utleggingshodet begrenser området som massene legges ut på, og sørger for at massene synker ned på sjøbunnen på en kontrollert måte. Utleggingshodet festes under dronen og avstanden mellom dronen og utleggingshodet kan justeres avhengig av dybdeforholdene. Boston har et utleggingshode for utlegging på grunne vanddyb (brukt i testfelt 2) og et for vanddyb over 4 meter (brukt i testfelt 1 og 3). Det største utleggingshodet er vist i Figur 18 A.

Dronen programmeres til å gå med utleggingsrørene i et spor (track) og med en kalkulert hastighet avhengig av hvor tykt tildekkingslag som skal legges (Figur 18 B). Tildekkingsmassene blandes med sjøvann om bord i lekteren Ren Havn og pumpes deretter ut til området som skal tildekkes. Vanligvis

legges det andre laget på tvers av sporet i første lag for å sikre jevn tildekking, og dette ble gjort i testfelt 2 og 3. I testfelt 1 ble det imidlertid av geotekniske årsaker valgt å kun legge ut masser i samme spor fra de dypeste mot de grunneste områdene.

Det ble ikke benyttet siltgardin under testtildekkingen.

På grunn av annen anleggsaktivitet i indre del av Puddefjorden der fartøyene til Boston lå under testtildekkingen i Store Lungegårdsvann, måtte tidsperioden for testtildekkingen nedkortes i forhold til den opprinnelige planen. Hele testtildekkingen ble gjennomført på en svært intensiv måte i perioden 15.09.17-27.09.17.



Figur 18 A) Det største utleggingshodet brukt i testfelt 1 og 3 B) Skjerm bilde av sporene dronen ble programmert til å gå langs.

## 5.2 Kontroll og overvåking

En rekke metoder ble benyttet for å kontrollere og dokumentere utleggingslagets tykkelse, oppbygging og kjemi. COWI utførte all kjerneprøvetaking og prøvetaking med grabb under og etter testtildekkingen, i tillegg til utsetting av målepinner og bøtter. Veseth AS gjennomførte ROV og multistråle ekkolodd undersøkelsene. 3 kjerneprøver ble scannet i CT-scanneren ved institutt for Geovitenskap ved universitetet i Bergen etter testtildekkingen. Analyser av miljøgiftkonsentrasjoner i tildekkingslaget ble utført av det akkrediterte laboratoriet Eurofins AS. Analyser av mengde aktivt karbon i tildekkingslaget i testfelt 2 ble utført av Norges Geotekniske Institutt (NGI).

## 6 Resultater testfelt 1

### 6.1 Tildekkingsløsning

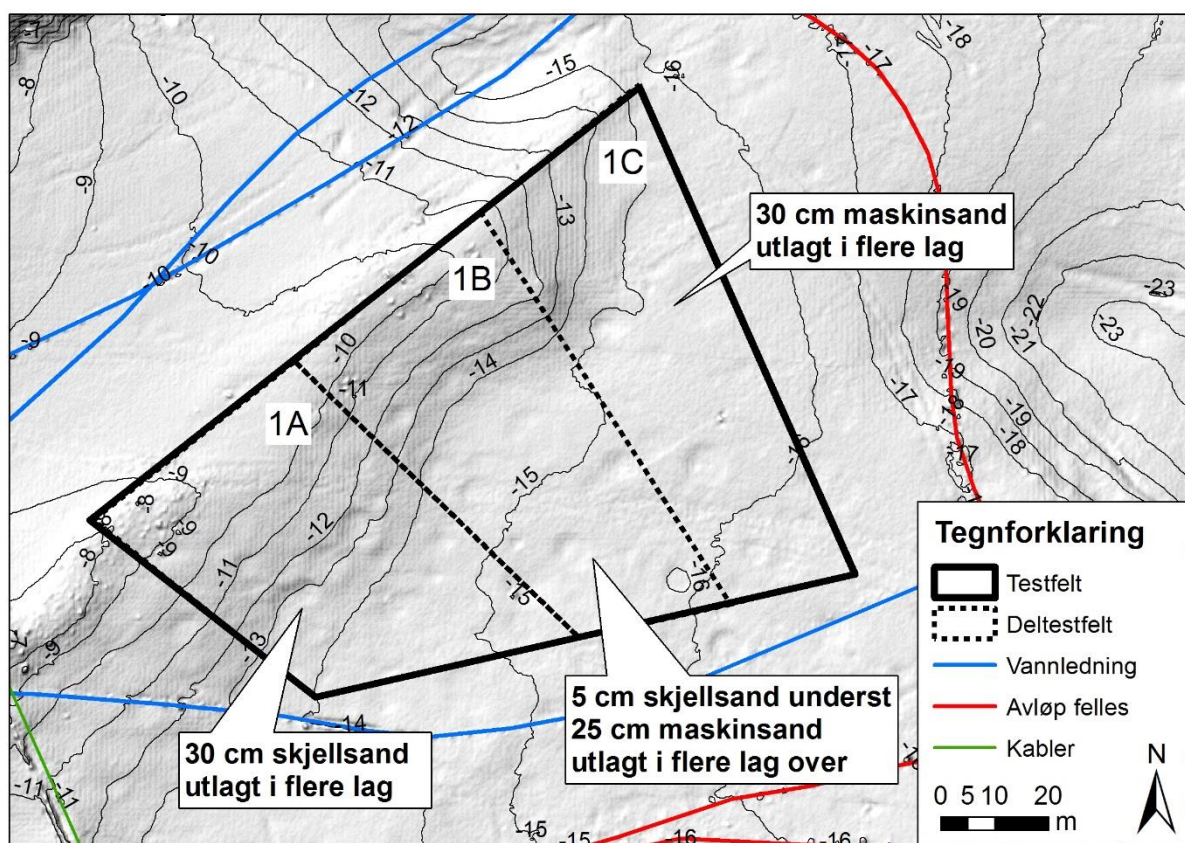
Testfelt 1 ble inndelt i 3 like områder på 2750 m<sup>2</sup> hver kalt 1A, 1B og 1C (Figur 19). Inndelingen ble gjort slik at alle delfeltene inneholdt både skrående sjøbunn og et flatere område.

Følgende tildekkingsløsninger ble valgt for de tre delfeltene:

**Testfelt 1A:** Totalt 30 cm med skjellsand utlagt i flere lag. Et første lag på ca. 5 cm for å stabilisere sjøbunnen.

**Testfelt 1B:** Totalt 30 cm med en kombinasjon av skjellsand og maskinsand. Ca. 5 cm med skjellsand underst for å stabilisere sjøbunnen og deretter 25 cm maskinsand utlagt i flere lag over.

**Testfelt 1C:** Totalt 30 cm maskinsand utlagt i flere lag. Et første lag på ca. 5 cm for å stabilisere sjøbunnen.



Figur 19 Oversikt over tildekkingsløsning i testfelt 1

## 6.2 Masser

Boston AS har konsesjoner på opptak av skjellsand fra forekomster i Hordaland, Rogaland og i Vest-Agder. Skjellsanden (0/2 mm) brukt i dette prosjektet ble hentet fra skjellsandforekomster i Hordaland og Rogaland.

Maskinsand ble hentet fra Norstone sitt anlegg på Tau i Rogaland. Massene bestod av nedknust kvartsdioritt (0/2 mm).

## 6.3 Utlegging

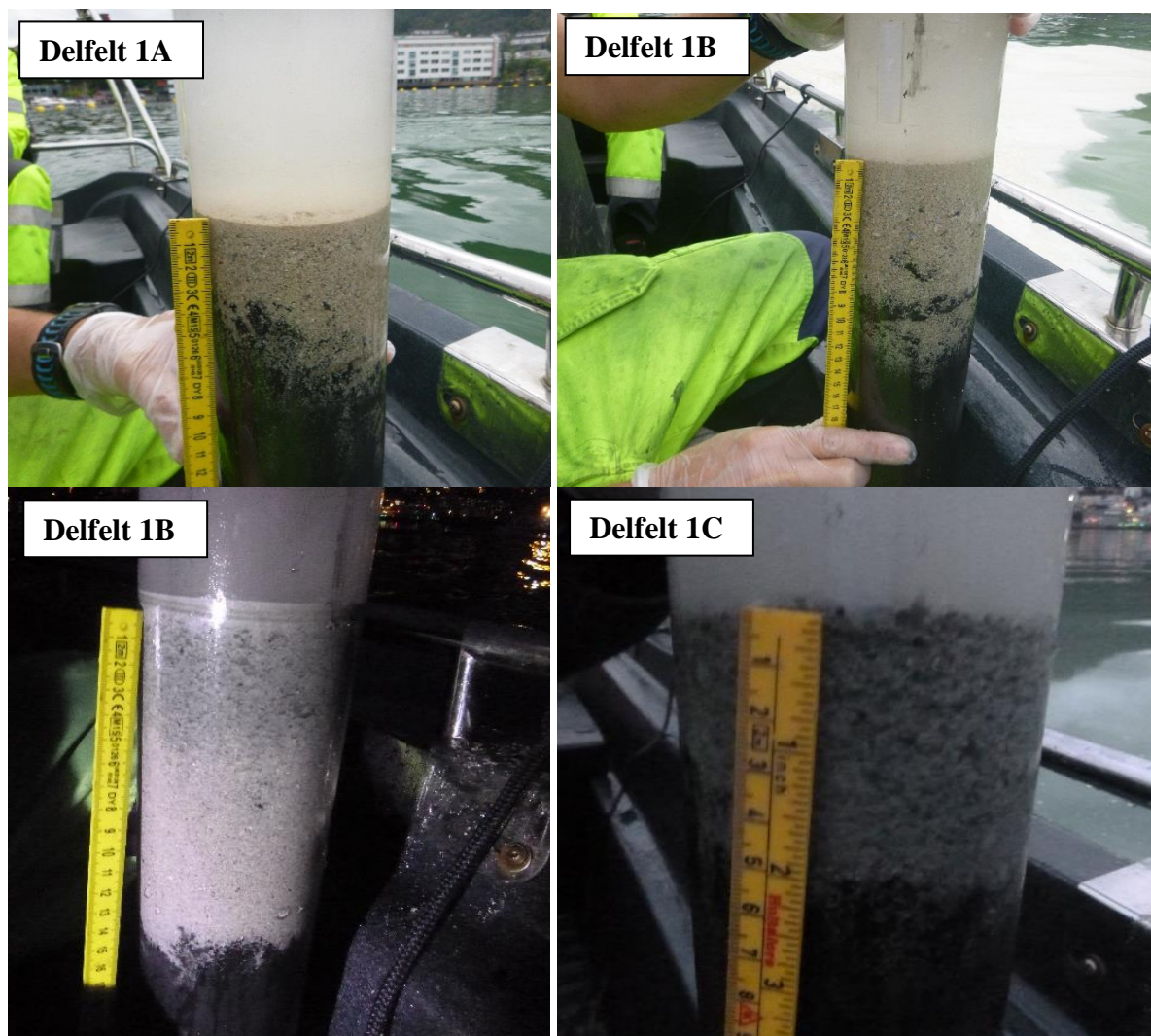
Utleggingen i testfelt 1 startet med et 5 cm skjellsand over sjøbunnen i delfelt 1A og 1B og deretter flere lag med skjellsand i delfelt 1A. Totalt ble det lagt ut skjellsand i 5 runder i delfelt 1A.

Maskinsand ble lagt i et første lag på 5 cm i delfelt 1B og 1C (dvs. over det første laget med skjellsand i 1B og rett på sjøbunnen i 1C). Det ble gjennomført kjerneprøvetaking rett etter utlegging av det første laget av både skjellsand og maskinsand for å kontrollere tykkelsen (Figur 20). Siden dronen går med en kalkulert hastighet for å oppnå den planlagte tykkelsen, er det nyttig å kontrollere utleggingslaget i felt for eventuelt å kunne justere hastigheten. Kjerneprøvetakingen viste at den reelle tykkelsen på det første skjellsandlaget var 4-7 cm, mens tykkelsen på det første laget med maskinsand i delfelt 1C var ca. 5 cm (Figur 20).

Ved utleggingen av maskinsand i testfelt 1B og 1C, ble dronen programmert til å gå i et spor som dekket begge delfeltene i retning vest-øst med start i de dypereliggende (sørlige) delene. Etter det første 5 cm laget med maskinsand, ble det lagt ut to lag til med maskinsand i 1B og 1C som av entreprenør ble estimert til å være 8-10 cm tykt. Det gikk imidlertid tomt for innkjøpt maskinsand før utleggingen av det siste av disse lagene ble ferdigstilt. Dette medførte at i den nordlige delen av delfelt 1B ble det lagt ut kun 3 lag totalt mot 4 lag i resten av delfeltet. I den nordlige delen av delfelt 1C ble det dermed kun utlagt totalt 2 lag mot totalt 3 lag i resten av delfeltet.

Maskinsanden ble fraktet til området på en 2500 tonns lastebåt fra Norstone sitt anlegg på Tau i Rogaland mot slutten av prosjektperioden. På grunn av den begrensede perioden testtildekkingen hadde til rådighet, var det ikke aktuelt å hente inn flere lass for å fullføre utleggingen. Det var i utgangspunktet beregnet at det ville være litt knapt med 2500 tonn maskinsand til testfelt 1B og 1C, men det ble akseptert fra prosjektet sin side at tildekkingslaget i delfelt 1B og 1C kunne bli et par cm tynnere for at massene skulle kunne fraktes i en omgang. Det andre og tredje laget av maskinsand ble imidlertid trolig tykkere enn planlagt, slik at underskuddet på masse ble størst i nord og i delfelt 1C, istedenfor å bli fordelt jevnt utover begge delfeltene.





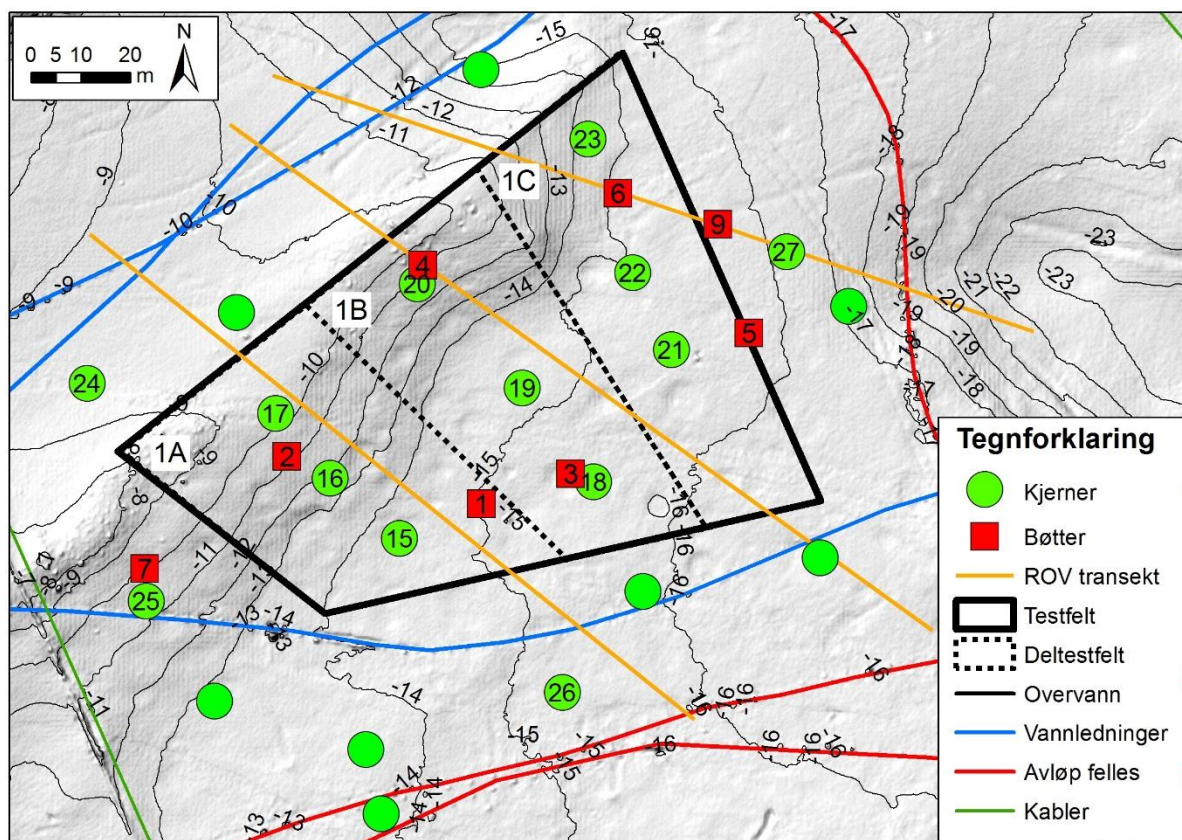
Figur 20 Bilder av kjerneprøvetaking rett etter utlegging av det første 5 cm laget i delfeltene 1A, 1B og 1C. For delfelt 1B er det også vist en kjerne tatt etter utlegging av et lag med maskinsand over det første laget med skjellsand. Overgangssonen mellom sjøbunn og tildekkingsmasse er vanskelig å studere fra utsiden av prøverørene da sjøbunnen kan bli smurt utover langs kanten av plastrørene ved prøvetagning.

## 6.4 Kontrollmålinger etter tiltak

### 6.4.1 Kjerneprøver

Det ble tatt kjerneprøver fra båt ved 9 lokaliteter innenfor testfelt 1, samt 12 kjerneprøver rundt testfelt 1 ved bruk av en [UWITEC](#) kjerneprøvetaker (Figur 21). Bilder av kjerneprøvene tatt innenfor testfeltet er vist i Figur 22. Posisjonene ble registrert ved bruk av en Topcon GRS-1 med nøyaktighet på cm-nivå, men noe drift av båten under prøvetakingen kan ha medført noe lavere nøyaktighet på posisjonene.

Forskjellen mellom den svarte sjøbunnen og tildekkingsmassene vises tydelig gjennom plastrørene og gir allerede i felt en god indikasjon på tykkelsen til tildekkingslaget. Overgangssonen mellom sjøbunnen og sanden kan imidlertid ikke registreres nøyaktig fra utsiden av prøverørene da sjøbunnen kan bli smurt utover langs kanten av plastrørene ved prøvetagning. Kjerneprøvene ble derfor fraktet til laboratorium og delt opp for å måle tykkelse på tildekkingslaget og undersøke overgangssoner og lagdeling (Figur 23).



Figur 21 Oversikt over lokaliteter for kjerneprøver og bøtter i og rundt testfelt 1. Nummererte lokaliteter er referert til i tekst/andre figurer. Transektene viser hvor ROV undersøkelsen ble utført.

Kjerne 15, 16 og 17 ble tatt innen delfelt 1A, og total tykkelse på tildekkingslaget (skjellsand) ved disse lokalitetene ble målt til henholdsvis 34, 25 og 30 cm (Figur 22). Tildekkingslaget viser tydelig lagdeling, med intern korngradering fra grovere til finere masser innen hvert lag. Figur 23 viser innblandingssonen mellom sjøbunn og skjellsand i kjerne 16 som viser at skjellsanden har lagt seg over sjøbunnen med liten (<1 cm) innblanding.

Kjerne 18, 19 og 20 ble tatt innen delfelt 1B, og total tykkelse på tildekkingslaget (skjellsand og maskinsand) ved disse lokalitetene ble målt til henholdsvis 27, 31 og 20 cm (Figur 22). I kjerne 18 og 19 ble det påvist et ca. 5 cm skjellsand lag underst med 3 lag med maskinsand over med intern korngradering fra grovere til finere masser. I kjerne 20, som ble tatt i skråningen i nord, ble det registrert mindre maskin sand enn ved lokalitet 18 og 19. Bildene av innblandingssonen i kjerne 19 og 20 (Figur 23) viser at noen få større korn har sunket ned i sjøbunnen, men generelt er det lite innblanding i tråd med resultatene fra delfelt 1A.

I kjerne 21, 22 og 23 fra delfelt 1C er tildekkingslaget (maskinsand) målt til henholdsvis 22, 22 og 11 cm. Resultatene reflekterer at det ble lagt ut for lite masse i dette delfeltet, spesielt i den siste delen av utleggingsruten i den nordre delen av feltet. Også i dette feltet der det ble lagt maskinsand rett på sjøbunnen, viser innblandingssonen i kjernene at sanden har lagt seg over sjøbunnen med liten (<1 cm) innblanding (Figur 23). Resultatene for innblandingssonen er således like for områdene der det ble lagt ut skjellsand og maskinsand. I kjerne 23 ble det registrert et gråfarget lag 3-4 cm under sjøbunns-overflaten. Dette laget er tolket til å være del av den opprinnelige sjøbunnen og ikke være relatert til tildekkingen siden slike svært finkornede grålige lag også ble observert under kjerneprøvetakingen i forkant av testtildekkingen.



**K15: 34 cm**



**K16: 25 cm**



**K17: 30 cm**



**K18: 27 cm**



**K19: 31 cm**



**K20: 20 cm**



**K21: 22 cm**



**K22: 22 cm**

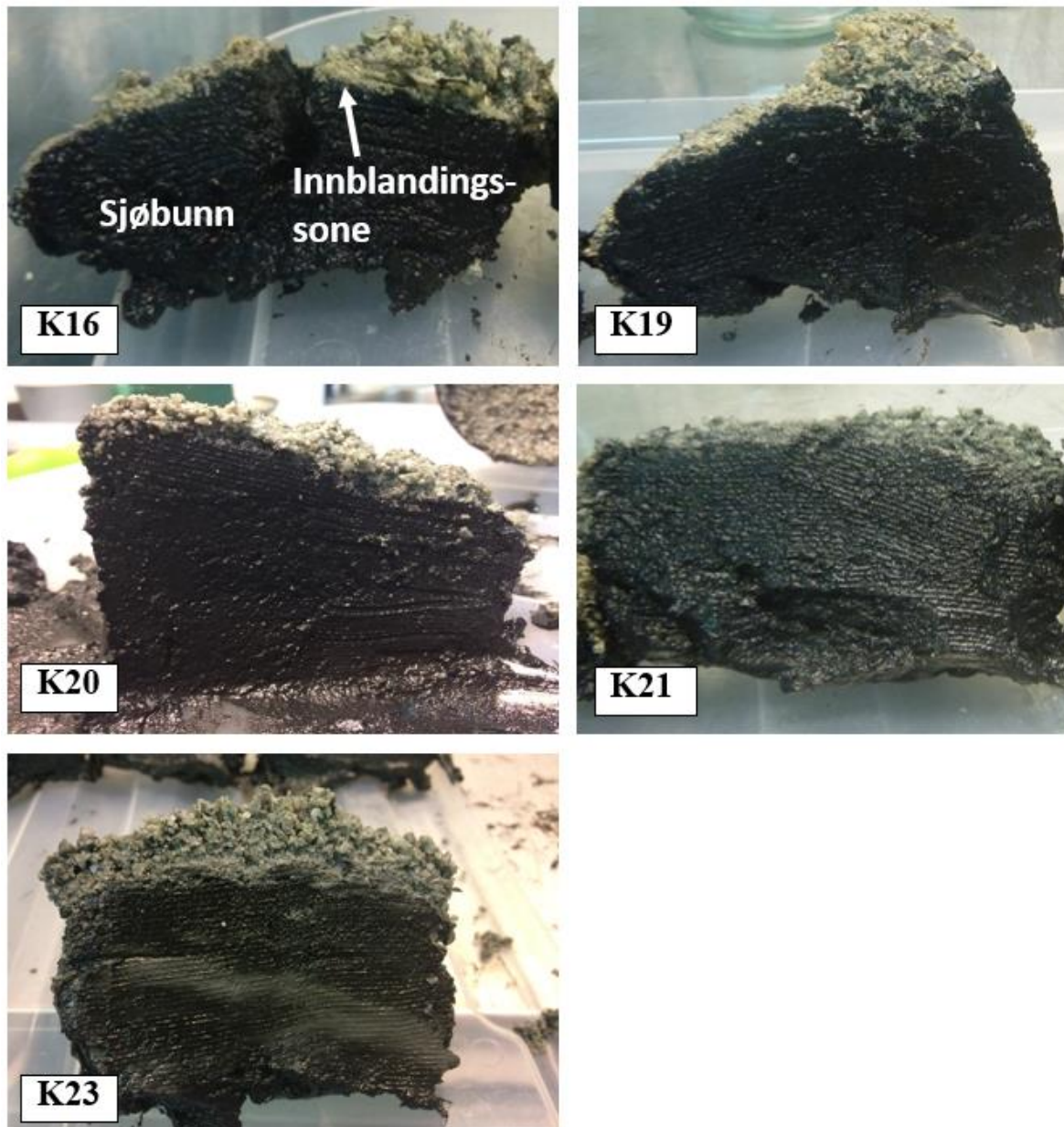


**K23: 11 cm**



**K19**

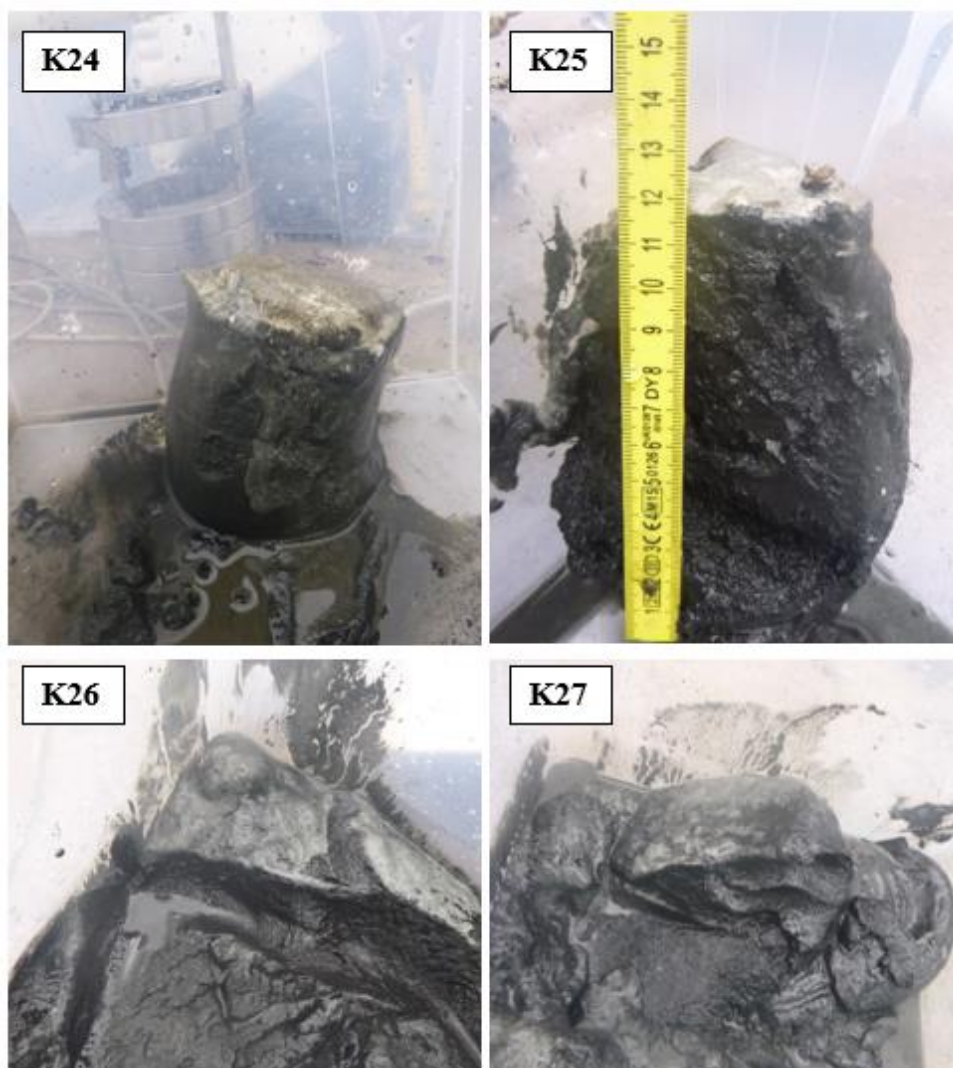
*Figur 22 Bilder av kjerneprøvene tatt ved kjerneprøvelokalitet 15-23 innenfor testfelt 1. Kjerne 19 er også avbildet etter åpning av kjernen og viser 3 lag med maskinsand med intern korngradering fra grovere til finere masser innen hvert lag. Det underste skjellsandlaget i kjerne 19 falt bort ved åpning av kjernen og er ikke avbildet her. Se Figur 21 for lokalitetskart.*



Figur 23 Bilder av innblandingssonen mellom sjøbunn og tildekkingslag i testfelt 1. Kjerne 15 ble sluppet ut igjen i felt og ikke tatt med til laboratorium, og kjerne 17, 18 og 22 ble scannet i CT-skanner og er derfor ikke avbildet her.

Figur 24 viser bilder av 4 av de 12 kjerneprøver som ble tatt fra området rundt testfelt 1 etter testtildekkningen. Kjerneprøvetakingen viser at det har lagt seg et tynt (1-2 mm) lag med det som tolkes å være finstoff fra tildekkingsmassene over sjøbunnen. Kjerne 24 og 25 ble tatt i et grunnere område nord-nordvest for testfeltet der sjøbunnen er noe fastere enn i de dypere liggende områdene. Her var det lettere å ta ut kjerneprøven fra plastrøret og ta bilde av topplaget (Figur 24). Sjøbunnen

ved kjerneprøvelokalitet 26 og 27 var bløtere og kollapset dermed raskt etter uttak fra plastrøret. Det var likevel også her et synlig topplag av lysere masser på noen få mm. Ingen av de 12 kjerneprøvene tatt utenfor testfeltet indikerte at tildekkingsmassene fra testfeltet hadde forårsaket ras eller forskyvninger av masser til områder utenfor testfelt 1.



Figur 24      Bilde av kjerneprøvene tatt i området rundt testfelt 1. Se Figur 21 for lokalitetskart.

#### 6.4.2      Bøtter og målestenger

Som et alternativ til kjerneprøvetaking, ble det i forkant av testtildekkingen satt ut målepinner og spesialtilpassede oppsamlingsbøtter med lodd i bunnen i testfeltet til bruk for å bestemme tykkelsen av tildekkingslaget. Bøttene er 40 cm høye fra bunnen og opp til kanten, mens målepinnene som ble satt ut i testfelt 1 er ca. 40 cm lange. Målepinnene og bøttene ble satt ut ved å senke dem ned til sjøbunnen fra båt, og de var merket med et ca. 1 m langt tau med en liten blåse.

Store Lungegårdsvann er utfordrende med tanke på at det er dårlig sikt, særlig i regnvær, samt at dannelse av  $H_2S$  gass kan gi utfordringer for dykkere. Det ble valgt å benytte ROV til å lese av målepinnene og filme bøttene (det ble valgt å ikke heve bøttene i testfelt 1), men det viste seg å

være utfordrende å gjenfinne disse. Det ble utført feltarbeid flere ganger hvor sikten var for dårlig til at det ble gjort funn. Først under en periode med kaldt og klart vær i januar 2018 var sikten god nok (ca. 5 m) til at bøttene og 1 målestang ble funnet. Sonaren på ROVen var nyttig for å finne blåsen som var festet til bøttene/målestang. I likhet med kamera, er det imidlertid vanskelig å bruke sonar når det er mye partikler i vannet.

Det ble satt ut 7 bøtter innenfor eller på grensen til testfelt 1 og en bøtte ca. 20 m vest for testfeltet (Figur 21). Bøtte 2, 4 og 6 ble plassert i skråningen i den nordlige delen av testfeltet, mens bøtte 1, 3, 5 og 9 ble utplassert i de flatere områdene. Bøttene i skråningen var alle veltet under etterkontrollen og kunne ikke benyttes til å vurdere tykkelsen på tildekkingslaget. Bøttene ble filmet med undervannskamera ved utsetting, men på grunn av dårlig sikt, er det vanskelig å si sikkert fra filmene om de stod beint etter at de var satt ut. Det er derfor usikkert om bøttene veltet ved utsetting/før testtildekkingen eller om dette skjedde under/som følge av tildekkingen.

Bilder av bøtte 1, 3, 5 og 9 som sto vertikalt i forhold til sjøbunnen, er vist i Figur 25. Bøtte 1 stod nær grensen mellom delfelt 1A og 1B, og bildene viser at tildekkingslaget går over kanten på den 40 cm høye bøtten og er trolig nærmere 50 cm tykt. Kanskje kommer denne tykkelsen av at det har skjedd noe overlapp mellom utleggingen av skjellsand i delfelt 1A og maskinsand i delfelt 1B. Bildet av bøtte 3 innenfor delfelt 1B indikerer en tildekking på rundt 35 cm ved denne lokaliteten. Bøtte 5 og 9 ble plassert helt i ytterkanten av testfeltet, og bildene viser at de kun har fanget opp noen få cm av tildekkingsmassene.

Det ble valgt å ikke bruke tid/ressurser på å gjenfinne bøtte 7 som var plassert et stykke vest for testfeltet da det ble tatt mange kjerneprøver i området rundt testfelt 1.



Figur 25 Bøtte 1, 3, 5 og 9 i testfelt 1. Bøtte 5 og 9 stod helt på grensen av testfeltet, mens bøtte 1 stod i delfelt 1A og bøtte 9 i delfelt 1B. Bøtte 2, 4 og 6 som stod i skrånningen i den nordlige delen av testfeltet var alle veltet og kunne ikke benyttes til å vurdere tykkelse på tildekkingslaget. Det ble valgt å ikke bruke tid/ressurser på å gjenfinne bøtte 7 som var plassert et stykke utenfor testfeltet.

Figur 26 viser utformingen av målepinnene, samt bilde av den eneste målepinnen som ble gjenfunnet etter testtildekkingen. Det er kun tauet og blåsen som er festet til målepinnen som er synlig etter tildekkingen, og det er derfor usikkert om selve målepinnen står oppreist eller har veltet. Sonaren på ROven klarte å finne denne blåsen, men signalet var utydelig. Det ble derfor valgt å avslutte søket etter de andre målepinnene da det ville kreve mye tid/ressurser å gjenfinne disse, hvis i det hele tatt mulig.



Figur 26 A) Bilde av målepinnene og de spesialtilpassede bøttene og målepinnene før utsetting i testfelt 1. Det ble i tillegg festet et tau på ca. 1 m og en liten blåse på bøttene/målepinnene. B) Bilde av den eneste målepinnen som ble gjenfunnet. Det er usikkert om målepinnen står oppreist eller har vellet siden det bare er tauet og blåsen som er synlig.

Følgende punkter er nyttig å ta med seg til fremtidige prosjekter fra arbeidet med oppsamlingsbøtter/målepinner i Store Lungegårdsvann:

- › Lage målepinnene 30-50 cm lengre enn maksimal tykkelse på tildekkingslaget for å sikre at de vil penetrere over sediment overflaten.
- › Markere målepinnene/bøttene med selvlysende/reflekterende tape eller maling.
- › Angi målepinnene/bøttene med et objekt som reflekterer sonar godt, dvs. et diamant/kvadratisk formet objekt som reflekterer signalene bedre enn runde objekter.
- › Blåser/flyteelementer som markerer posisjonen til målestenger/bøtter fungerer godt, men ID-merking av objektene bør utføres med sølvtape/reflekterende tape/kobber tape eller lignende. Begroing av objektene kan gjøre det vanskelig å identifisere disse under vann etter at de har stått der en periode.

### 6.4.3 CT-skanning av kjerneprøver fra sjøbunn etter tildekking

Kjerner fra lokalitet 17 (delfelt 1A), 18 (delfelt 1B) og 22 (delfelt 1C) (Figur 21) ble skannet med CT-skanner ved institutt for Geovitenskap ved Universitetet i Bergen (UiB).

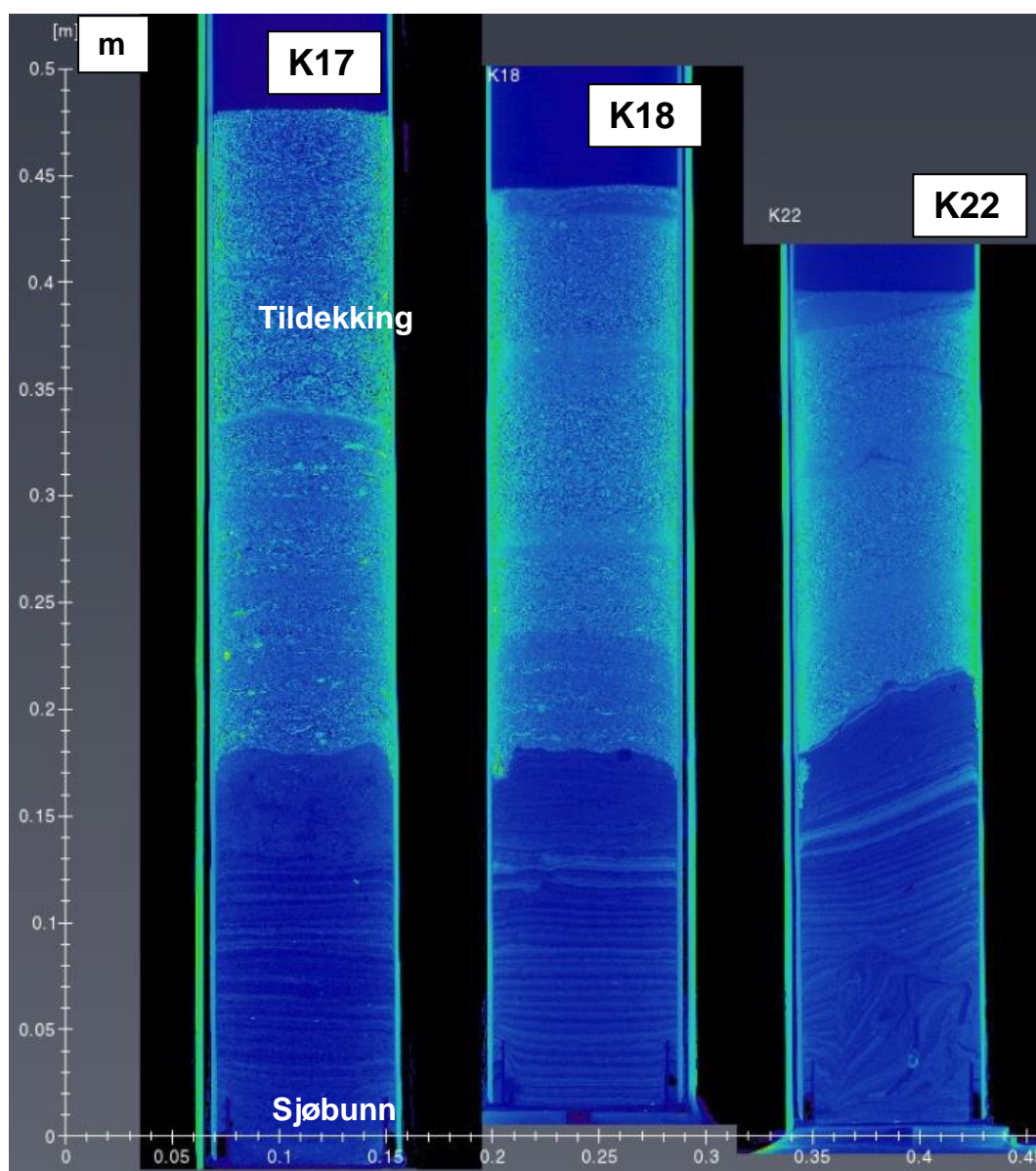
Figur 27 viser tykkelsen på tildekkingslaget i kjerne K17, K18 og K22 på henholdsvis 30 cm, 27 cm og 22 cm. De opprinnelige lagene i sjøbunnsedimentene vises tydelig i kjernene. Skråstillingen av lagene i kjerne K22 og omrøringen av lagene nederst i denne kjernen er sannsynligvis relatert til problemer ved innsetting av bunnproppen når kjernen ble hentet opp. Den skrå lagdelingen kan også



komme av at kjerneprøvetakeren ikke ble slått ned helt vertikalt. Tildeckingsmassene er dratt litt ned langs kantene av rørene under prøvetakingen.

CT-skanningen bekrefter resultatene fra den visuelle inspeksjonen av sedimentkjernene som viste at det er liten (<1 cm) innblanding mellom tildeckingsmassene og sjøbunnsedimentene. I K22 vises det tydelig et tynt, grått og mer mineralske laget i toppen av sjøsedimentene (Figur 27). Dette laget ble også funnet i toppen av kjernene som ble hentet opp før testtildekkingen ble utført (Figur 8). Det ser ikke ut til å være noe forskjell mellom innblandingssonen i kjernene der det ble lagt skjellsand rett på sjøbunnen (K17 og K18) og kjernen der det ble lagt maskinsand rett på sjøbunnen (K22). Bildet viser tydelig at det er lagt ut flere lag i tildekkingen med intern korngredning fra grovere til finere masse oppover i hvert lag.

Skanningen av kjernene innhentet etter testtildekkingen viser svært like resultater som testforsøket i laboratoriet (avsnitt 3.3).



Figur 27 CT-bildet viser 3 kjerner (K7, K18, K22) hentet opp fra sjøbunnen i Store Lungegårdsvann innenfor testfelt 1 etter at tildekkingstesten var utført.

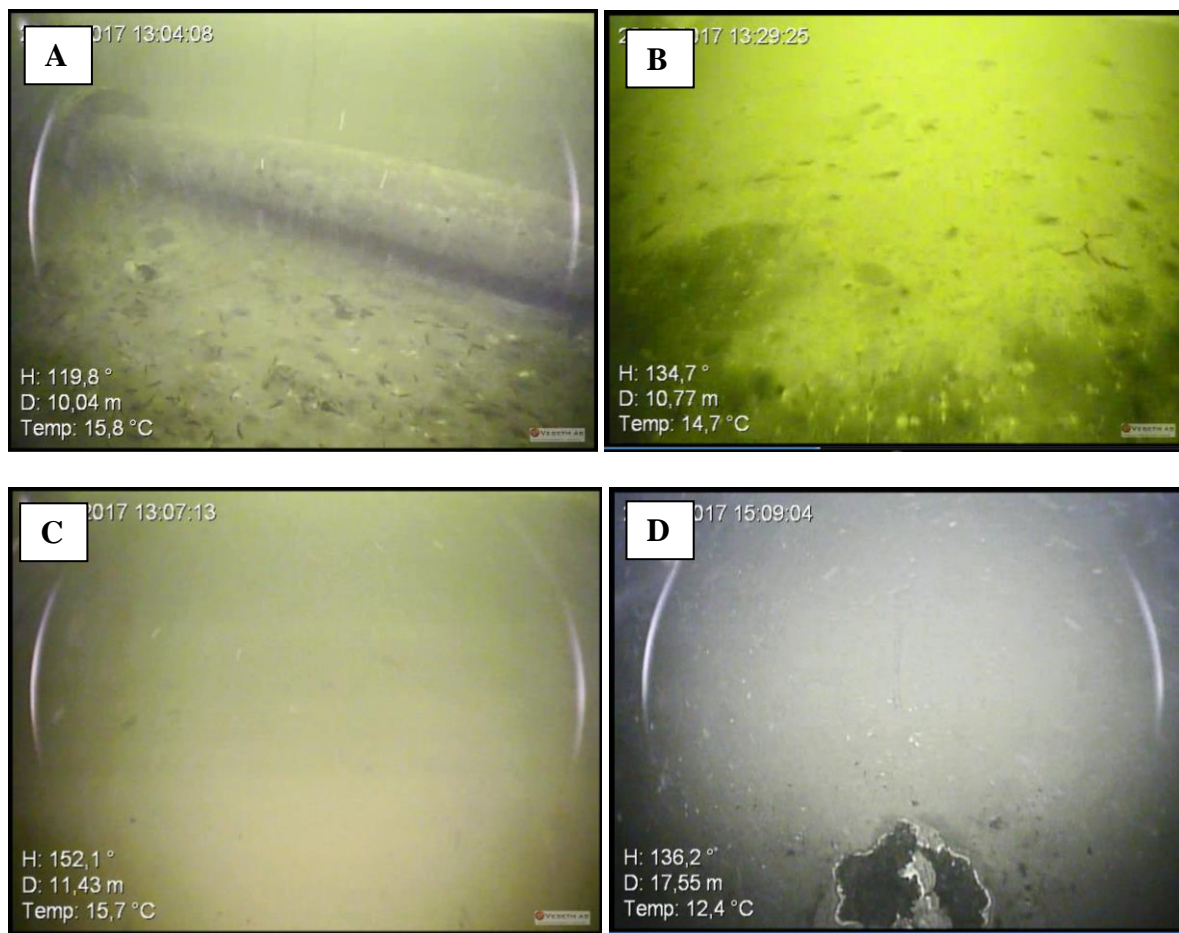
#### 6.4.4 ROV transekt

I etterkant av testtildekkingen ble det gjennomført en ROV undersøkelse langs tre transekt gjennom testfelt 1. Lokaliseringen av de tre transektene er vist i Figur 21. ROVen filmet langs transektene fra nord mot sør. Den registrerte ikke posisjonene sine langs transektene, men dybdeforholdene ble registrert kontinuerlig, og sammen med kjent lokalisering av ledningene på hver side av testfeltet ble dette brukt til å avgjøre omtrentlig ROV posisjon der opptakene ble gjort.

ROV transektene startet i området nord for testfeltet, og Figur 28 A viser sjøbunnen ved en av vannledningene i dette området (ca. 25 m nord for testfeltet). Bildet viser spor etter gravende organismer som også ble registrert under førkartlegging av området. Sjøbunnen ser ikke ut til å være særlig påvirket av tildekkingsmasser.

Det ble ikke registrert noen slags forhøyning eller tydelige høydeforskjeller etter hvert som ROVen beveget seg inn i testfeltet. Figur 28 B viser et område som ser ut til å representere overgangen fra utildekket til tildekket sjøbunn. Dette er imidlertid trolig litt utenfor selve testfeltet der det har lagt seg et tynt støvlag fra tildekkingsmassene over sjøbunnen.

Figur 28 C viser et område innenfor den øverste delen av testfelt 1B. Noen uregelmessigheter på overflaten innenfor testfeltet kunne sees enkelt steder, men det var ikke lett å få en god oversikt basert på ROV filmene. Det er ikke mulig å se noen klar overgangssone mellom tildekket og utildekket området når ROVen beveger seg ut av den sørlige delen av testfeltet. I disse dypereliggende områdene er det utfordringer med dårlig sikt i tillegg til at sjøbunnen ser lik ut der det er et tykt tildekkingslag og der det kun er et tynt støvlag i toppen. Enkelte steder har ROVen gravd litt ned i sedimentet med en "arm" festet på undersiden, og dette er nyttig for å kunne se hvor det kun har lagt seg et støvlag over sjøbunnen. Figur 28 D viser et bilde fra skråningen øst for delfelt 1C ved 17,5 m dybde der graving tydelig viser at det kun ligger et tynt, lysere lag fra tildekkingsmassene over den opprinnelige, svartfargede sjøbunnen.



Figur 28 ROV bilder fra områdene rundt og i testfelt 1 etter tildekking. A) Utildekket område ved vannledning nord for testfeltet B) Overgang mellom utildekket og tildekket sjøbunn i nordre del av testfeltet C) Tildekket sjøbunn innenfor testfelt 1 B D) Sjøbunn med støvlag over opprinnelig svartfarget sjøbunn sør for testfeltet.

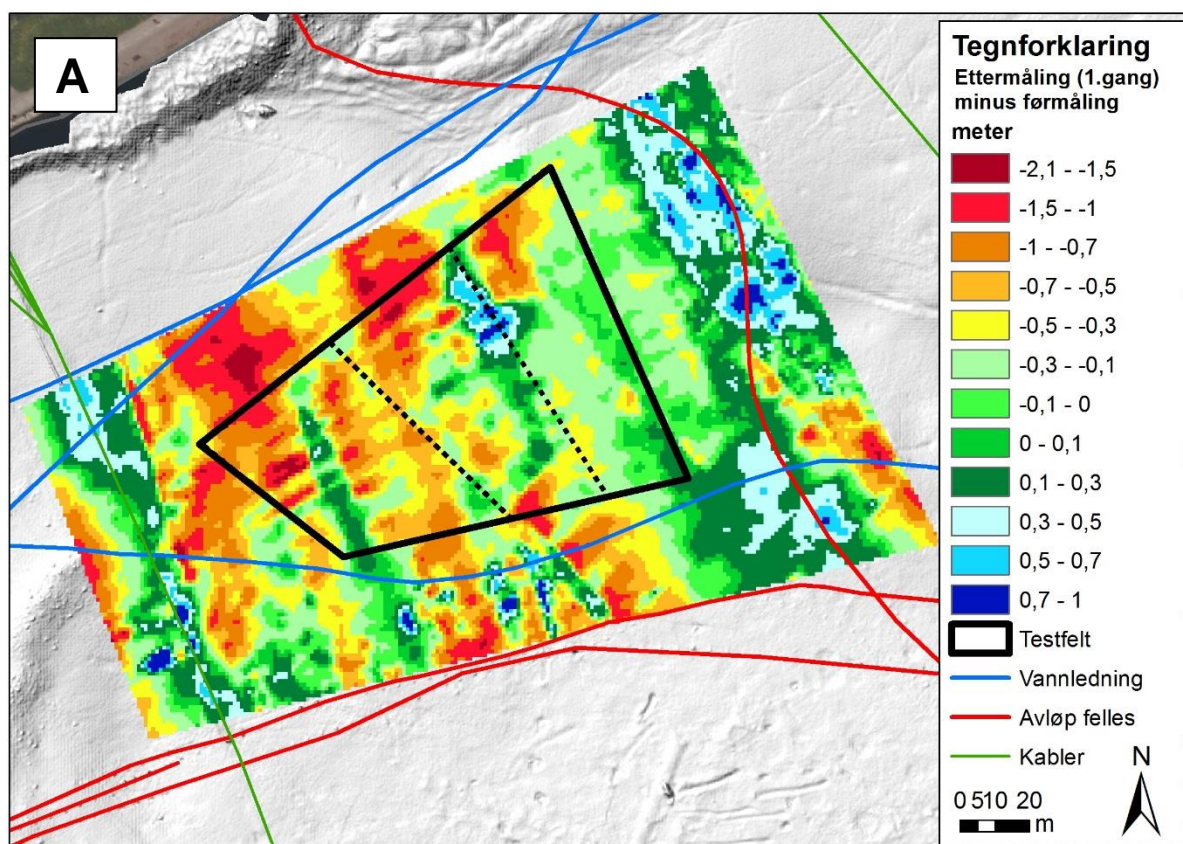
#### 6.4.5 Dybdekartlegging

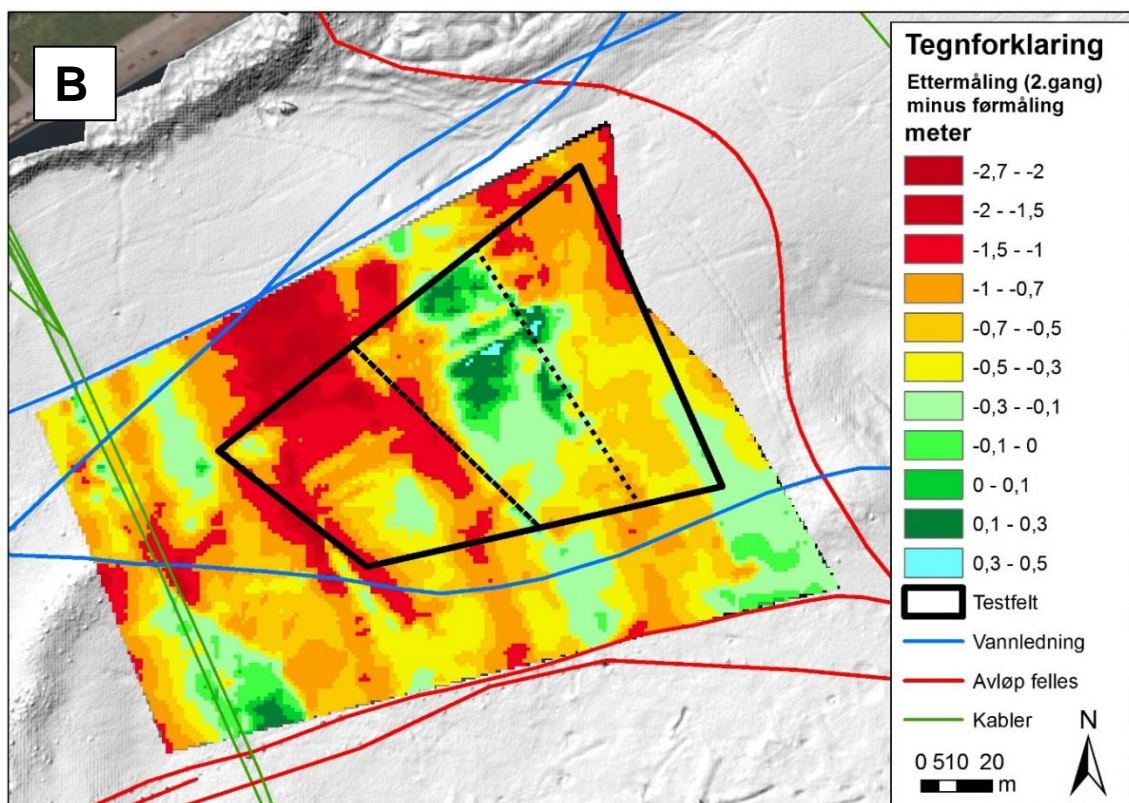
Det ble gjennomført dybdekartlegging med multistråle ekkolodd i forkant og etterkant av utleggingen av tildekkingsmassene. Målingene ble utført med et Kongsberg Geoswath 4R multibeam echosounder instrument. Siden tildekkingslaget i testfeltene var relativt tynt – kun 30 og 20 cm i henholdsvis testfelt 1 og 2 - så var det forventet at det kunne bli utfordrende å kartlegge endringene på sjøbunnen, spesielt i områdene med bløtest sjøbunn der den opprinnelige sjøbunnen er relativt "fluffy" i overflaten og tyngden av tildekkingsmassene trolig vil presse den opprinnelige sjøbunnsoverflaten noe ned. Utførende firma oppgav en forventet vertikal nøyaktighet for utstyret på 10-30 cm, avhengig av forholdene.

Figur 29 viser en sammenligning mellom dybdemålingene utført før og etter testtildekkingen i testfelt 1. Når man trekker fra dybdene målt før testtildekkingen fra dybdene målt etter tildekkingen fremkommer det soner der sjøbunnen ser ut til å ha senket seg med 1-2 m (negative verdier merket med rødlige farger Figur 29 A) og andre soner der sjøbunnen har hevet seg med opp til 1 m (positive verdier merket med blålige farger i Figur 29 A). Disse sonene ligger delvis utenfor testfeltet, og det generelle mønsteret som fremkommer i datasettet blir ikke vurdert til å være et resultat av reelle endringer på sjøbunnen. Det ble gjennomført en ny ettermåling som også ble sammenlignet med

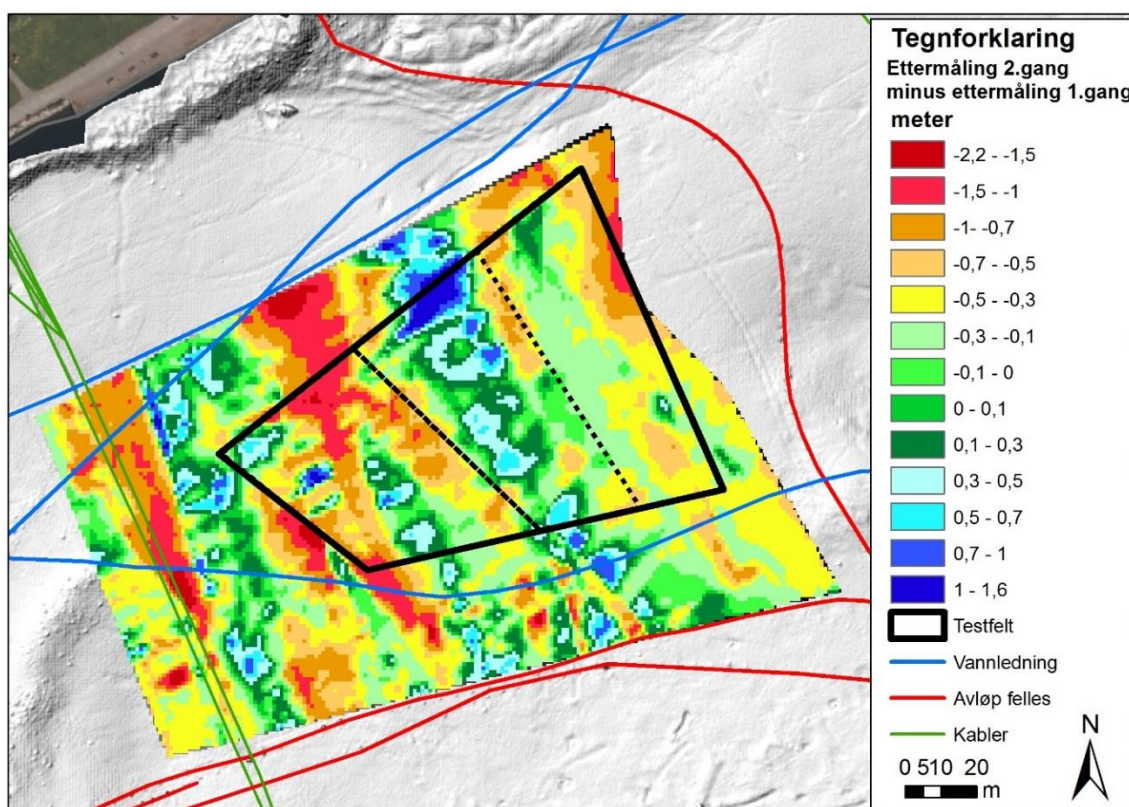
førmålingen (Figur 29 B). Heller ikke disse resultatene blir vurdert til å reflektere reelle endringer på sjøbunnen. En sammenligning mellom de to ettermålingene viser store avvik både i positiv (opptil 2,2 m) og negativ (opptil 1,6 m) retning (Figur 30) selv om det ikke ble gjennomført noen tiltak på sjøbunnen mellom tidspunktene for de to ettermålingene.

Dybdedatasettene som ble innhentet i dette prosjektet blir vurdert til å ikke være gode nok til å kunne benyttes i tolkningen av endringer på sjøbunnen. En rekke faktorer spiller inn på nøyaktigheten til multistråle ekkolodd data, som for eksempel høydereferansedata og målinger av lyd hastigheten i sjøen. Utførende firma fant ikke ut av hva som forårsaket unøyaktighetene i dybdedatasettene fra testtildekkingsområdene innenfor tidsrammen for dette prosjektet.





Figur 29 Forskjellen mellom dybdemåling utført før og etter tildekking. Det ble gjennomført to separate ettermålinger som hver er blitt sammenlignet med førmålingen. Det ble ikke utført noe tiltak på sjøbunnen mellom tidspunktet for de to ettermålingene.



Figur 30 Forskjellen mellom de to målingene som ble utført etter testtildekkingen. Det ble ikke gjennomført noen tiltak på sjøbunnen mellom tidspunktet for disse to målingene.

### 6.4.6 Kjemi

Innen fire uker etter ferdig utlegging ble det tatt prøver av de øverste 10 cm av tildekkingslaget for analyse av miljøgiftkonsentrasjoner. Prøve G1, G2 og G3 vist i Tabell 4 ble tatt ved henholdsvis kjerneprøvelokalitet 16 (delfelt 1A), 19 (delfelt 1B) og 21 (delfelt 1C) (Figur 21).

I henhold til tiltaksmålene for tiltaket mot forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann skal innholdet av PCB<sub>7</sub>, PAH<sub>16</sub> og metaller (As, Cd, Cu, Cr, Pb, Hg, Ni, Zn) i de øverste 10 cm av sjøbunnen være i tilstandsklasse II eller lavere i inntil fire uker etter at tiltaket er gjennomført. Resultatene fra tildekkingslaget i testfelt 1 viser lave konsentrasjoner tilsvarende tilstandsklasse I for alle disse miljøgiftene. I prøve G2 ble TBT påvist i en konsentrasjon tilsvarende den nedre del av tilstandsklasse II.

Tabell 4 *Konsentrasjoner av miljøgifter i prøver fra den øverste delen av tildekkingslaget i testfelt 1 klassifisert etter veileder M-608/2016 (Miljødirektoratet, 2016). Der rapporteringsgrensen er høyere enn tilstandsklasse I er ikke stoffet klassifisert (fargelagt). Se Tabell 2 for fargeskala.*

Stoff	Enhet	G1 TF 1A (skjellsand)	G2 TF 1B (min.sand)	G3 TF1C (min.sand)
As (Arsen)	mg/kg TS	<0.50	<0.50	<0.50
Pb (Bly)	mg/kg TS	<1.0	2	1,4
Cu (Kopper)	mg/kg TS	0,73	11,3	8,32
Cr (Krom)	mg/kg TS	2,14	6,49	5,41
Cd (Kadmium)	mg/kg TS	<0.10	<0.10	<0.10
Hg (Kvikksølv)	mg/kg TS	<0.20	<0.20	<0.20
Ni (Nikkel)	mg/kg TS	<5.0	5,2	5,1
Zn (Sink)	mg/kg TS	4,2	50,8	51,7
Naftalen	µg/kg TS	<10	<10	<10
Acenaftilen	µg/kg TS	<10	<10	<10
Acenaften	µg/kg TS	<10	<10	<10
Fluoren	µg/kg TS	<10	<10	<10
Fenantren	µg/kg TS	<10	<10	<10
Antracen	µg/kg TS	<10	<10	<10
Fluoranten	µg/kg TS	<10	<10	<10
Pyren	µg/kg TS	<10	<10	<10
Benso(a)antracen	µg/kg TS	<10	<10	<10
Krysen	µg/kg TS	<10	<10	<10
Benso(b)fluoranten	µg/kg TS	<10	<10	<10
Benso(k)fluoranten	µg/kg TS	<10	<10	<10
Benso(a)pyren	µg/kg TS	<10	<10	<10
Dibenso(ah)antracen	µg/kg TS	<10	<10	<10
Benso(ghi)perylene	µg/kg TS	<10	<10	<10
Indeno(123cd)pyren	µg/kg TS	<10	<10	<10
Sum PAH-16	µg/kg TS	ikke påvist	ikke påvist	ikke påvist
Sum PCB-7	µg/kg TS	ikke påvist	ikke påvist	ikke påvist
Tributyltinnkation (TBT)	µg/kg TS	<1	1,77	<1
Tørrstoff (E)	%	75,8	86,7	84,9
Vanninnhold	%	24,2	13,3	15,1
TOC	% TS	<1.41	<0.110	<0.110

## 6.5 Erfaringer testfelt 1

Kontrollmålingene viser at tildekkingsmassene ble plassert innenfor grensene for testfelt 1, og det er ikke gjort funn/observasjoner som tilsier at det har skjedd grunnbrudd i underliggende masser, eller noen andre større bevegelser på sjøbunnen som har medført forflytning av masser fra testfeltet til omkringliggende områder. Under utleggingen er noe av finstoffet i tildekkingsmassene blitt spredt, og dette gjenfinnes som et svært tynt lag over sjøbunnen i området rundt testfeltet. Observasjoner av blakket vann i farleden under Gamle Nygårdsbro ved fjærende sjø mens tildekkingen pågikk, indikerer at noe finstoff fra tildekkingsmassene også kan ha spredt seg ut av Store Lungegårdsvann.

Tykkelsen på tildekkingslaget ligger generelt innenfor  $30 \pm 5$  cm ved lokalitetene der det er tatt kjerneprøver/utplassert oppsamlingsbøtter, med unntak av området i nord og delfelt 1C der det er underskudd på maskinsand, samt sonen mellom delfelt 1A og 1B der det ved en lokalitet er registrert en del mer masse. Oppfølgingen av testfeltet bør fokusere spesielt på området ved bunnen av skråningene for å undersøke om tildekkingsmassene kan ha samlet seg i litt tykkere lag her. Områdene i skråningen i nord der det er registrert underskudd på maskinsand sammenfaller med områdene der entreprenør opplyste om at det ble lagt ut for lite masse, men det bør likevel undersøkes om noe av massene som ble lagt ut i skråningen kan ha samlet seg ved bunnen av skråningen. Det er viktig at slike eventuelle ansamlinger ikke blir så store at de medfører grunnbrudd i underliggende masser.

Kjerneprøvene og CT-skanningen viser tydelig innblandingssonen mellom sjøbunnen og tildekkingsmaterialet. Resultatene viser at både skjellsand og maskinsand har lagt seg over sjøbunnen med liten innblanding (<1 cm). Dette indikerer at utleggingen av tildekkingslaget har medført lite oppvirvling av forurenset sjøbunn. Kjemiprøvene tatt fra tildekkingslaget i etterkant av tildekkingen viser at kravet til miljøtilstand i topplaget (tiltaksmål 1, se avsnitt 2) er tilfredsstillt med god margin.

Det ble testet ut forskjellige metoder for kontroll av tildekkingslaget i Store Lungegårdsvann. Kjerneprøvetaking med relativt lett utstyr fungerte svært godt gjennom sandmasser, både i områder med skjellsand og maskinsand. Kjerneprøver gir verdifull informasjon om innblandingssonen mellom sjøbunn og tildekkingslag, i tillegg til tildekkingsstykkelse og lagdeling. Kjerneprøvetaking er uavhengig av sikten i vannmassene, noe som er fordel i Store Lungegårdsvann. Siden metoden er uavhengig av sikten, kan den også benyttes for kontroller mens utlegging av tildekkingsmasse pågår slik at tykkelsen av tildekkingslaget kan kontrolleres fortløpende.

Bruk av målepinner og oppsamlingsbøtter til kontrollmålinger kunne fungert bedre i testfelt 1 dersom de hadde blitt merket bedre. Viktige momenter å vurdere for god utforming av slikt utstyr er lengden på målepinner/bøtter, merking med selvlysende/reflekterende tape eller maling og markering av målepinner/bøtter med objekt som reflekterer sonar godt. Begroing av objektene kan gjøre det vanskelig å identifisere ID-merking etter at de har stått under vann en periode.

Dybdedatasettene som ble innhentet i dette prosjektet blir vurdert til å ikke være gode nok til å kunne benyttes i tolkningen av endringer på sjøbunnen. For hovedtiltaket i Store Lungegårdsvann, som vil bestå i tildekking av resten av sjøbunnen, er det viktig å stille større krav til nøyaktighet for dybdemålingene enn det som ble gjort i dette testforsøket. Generelt for alle tildekkingsprosjekter der det blir brukt multistråle ekkolodd som kontrollmåling, bør utførende firma dokumentere at de kan oppnå den oppgitte nøyaktigheten på dybdemålingene ved å foreta minst to oppmålinger i det

aktuelle området i forkant av en tildekking. Basert på en sammenligning av disse datasettene, kan man avgjøre i hvilken grad man kan bruke dybdemålingene til kontroll av tildekkingstykkelse.

## 7 Resultater testfelt 2

### 7.1 Skrotrydning

Arbeidet i testfelt 2 startet med skrotrydning som ble utført mellom 23.08.17 og 15.09.17. Det ble totalt fjernet 6,2 tonn skrot/søppel fra sjøbunnen i testfeltet. Det ble blant annet fjernet flere sykler/sykkeldeler, større og mindre tre-bjelker, handlevogn, bildekk, trafikk-kjegler, motor, aksling og propell fra båt, oljefat, jernbaneskinne, samt det som antas å være en dampkjele (Figur 31). Skrotkartleggingen i forkant av opprydningen viste at det også var mye plastsøppel i området, og plastflasker, plastposer, etc. ble også fjernet fra sjøbunnen.



Figur 31 Bilder fra skrotkartleggingen i forkant av testtildekkingen i testfelt 2

### 7.2 Tildekkingsløsning

I testfelt 2 ble det planlagt en tildekking på totalt 20 cm bestående av skjellsand utlagt i flere lag, samt et lag med aktivt karbon. I utgangspunktet ble testfeltet delt inn i to delfelter der det var planlagt utlegging av pulverisert aktivt karbon (PAC) i det ene feltet og produktet AquaGate+PAC 10% i det andre feltet (se nærmere beskrivelse av kull-produktene i avsnitt 7.3). Det var planlagt å pumpe



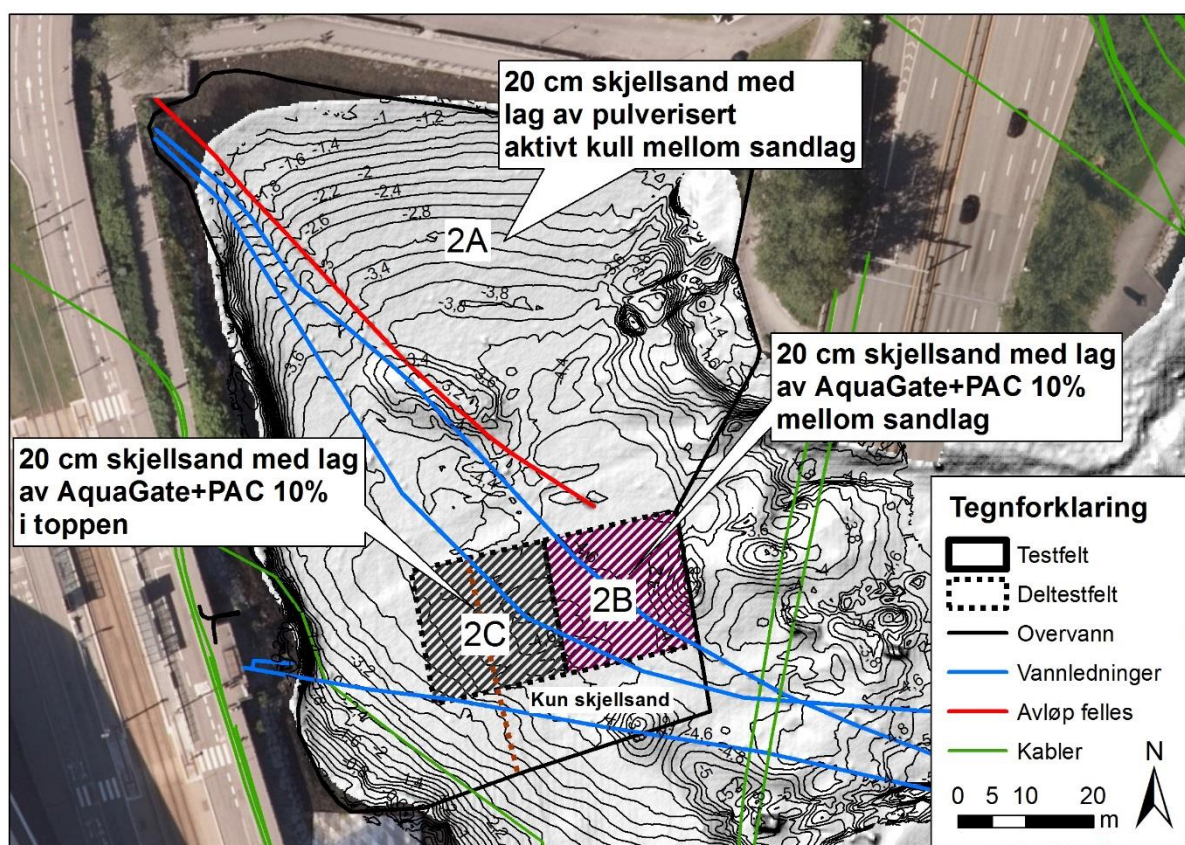
begge kull-produktene til testfeltet, men etter råd fra leverandøren og testforsøk på AquaGate+PAC 10% ble det besluttet å ikke pumpe dette materialet på grunn av fare for tap av aktivt karbon under pumpeprosessen. AquaGate+PAC 10% ble i stedet lagt ut manuelt fra dronen (se avsnitt 7.4), og dette medførte en endring i inndelingen av testfeltet undervegs i testforsøket. Testfelt 2 ble til slutt inndelt i tre delfelter kalt 2A, 2B og 2C.

Følgende tildekkingsløsninger ble valgt for de tre delfeltene (Figur 32):

**Testfelt 2A:** Totalt 20 cm tildekning bestående av et 5 cm lag med skjellsand underst, så et lag med en blanding av PAC og skjellsand og deretter flere lag med skjellsand over. Areal på 5765 m<sup>2</sup>.

**Testfelt 2B:** Totalt 20 cm tildekning bestående av et 5 cm lag med skjellsand underst, så et lag med AquaGate+PAC 10% og deretter flere lag med skjellsand over. Areal på 20x20 m.

**Testfelt 2C:** Samme tildekning som 2B, bortsett fra at AquaGate+PAC 10% ble lagt som topplag i stedet for mellom sandlag. For å forenkle utleggingen, ble testfelt 2C definert som et 20x20 m område vest for testfelt 2B. Dette medfører at det ble lagt ut AquaGate+PAC 10% som topplag i hele det svart skraverete området i Figur 32 som også inkluderer et område vest for brun stiplet linje i Figur 32 der det allerede var lagt ut PAC mellom sandlag. I et mindre område sør for felt 2B og 2C ble det som følge av dette kun tildekket med skjellsand.



Figur 32 Oversikt over tildekkingsløsning i testfelt 2.

## 7.3 Masser

### 7.3.1 AquaSorb CP1 pulverisert aktivt karbon (PAC)

I testfelt 2A ble det benyttet Jacobi AquaSorb CP 1 pulverisert aktivt karbon (PAC) som ble levert til prosjektet av Sparks AS. Dette produktet er fremstilt av skall av kokosnøtter som er et fornybart råstoff og mer miljøvennlig enn aktivt karbon fremstilt fra trekull.

Før utlegging ble PAC blandet med NaCl og saltvann av leverandøren. Suspensjonen ble vektet opp til 1.10. Slurryen ble blandet i en lukket 30 fots container og rundsirkulert i minst 5 timer før det ble pumpet over på to tankbiler og kjørt til kaien der utleggingsfartøylene til Boston AS lå rett utenfor Store Lungegårdsvann.

### 7.3.2 AquaGate+PAC 10%

I testfelt 2B og 2C ble produktet AquaGate+PAC 10% benyttet. AquaGate+PAC 10% ble levert av AquaBlok Norge AS og er et produkt basert på den patenterte Aquablok-teknologien. De mest effektive materialene for å behandle forurensede sedimenter kommer oftest i pulverform, eksempelvis pulverisert bentonittleire og PAC, og Aquablok-teknologien er utviklet for å kunne plassere disse materialene på sjøbunnen på en kontrollert måte. Materialene i pulverform blir festet til gruskjerner og danner kuler som utseendemessig ligner leca-kuler (Figur 33). Disse kan slippes fra vannoverflaten og synke kontrollert ned på sjøbunnen. Etter kort tid vil materialene løse seg opp og/eller svulle og danne et homogent tildekningslag. I Norge har produktene som benytter denne teknologien gått under navnet BioBlok.

Produktene produsert med AquaBlok-teknologien kan designes på forskjellige måter, og produktet AquaGate+PAC 10 % som er benyttet i dette prosjektet, består av gruskjerner (5-8 mm), 15 % bentonittleire i pulverform, 10 % pulverisert aktivt karbon og en biologisk nedbrytbar polymer (Figur 33).



Figur 33 Bilde av AquaGate+PAC 10% brukt i dette prosjektet

### 7.3.3 Skjellsand

Se avsnitt 6.2.

## 7.4 Utlegging av skjellsand og pulverisert aktivt karbon i delområde 2A

I delområde 2A (Figur 32) ble det lagt ut skjellsand i flere lag, samt et blandingslag med PAC og skjellsand mellom de rene sandlagene. Etter utlegging av det første laget med skjellsand rett på sjøbunnen, gjennomførte COWI kjerneprøvetaking for å kontrollere tykkelsen på laget. Kjerneprøvene viste gjennomgående et lag med 3,5 – 4 cm skjellsand over sjøbunnen. Dette resultatet ble brukt for å justere den videre mengden med skjellsand som ble lagt ut.

Utleggingen av laget med skjellsand og blandingen av PAC, NaCl og saltvann fra tankbilene ble gjennomført ved at blandingen fra tankbilene ble pumpet ned i lasterommet på lekteren Ren Havn og deretter pumpet fortløpende gjennom utleggingsledningen til testfeltet sammen med skjellsand (Figur 34). Det var planlagt en tykkelse på 5 cm på blandingslaget, og hastigheten på pumpingen av blandingen fra tankbilene til lasterommet ble tilpasset skjellsand-matingen så godt det lot seg gjøre i henhold til dette.

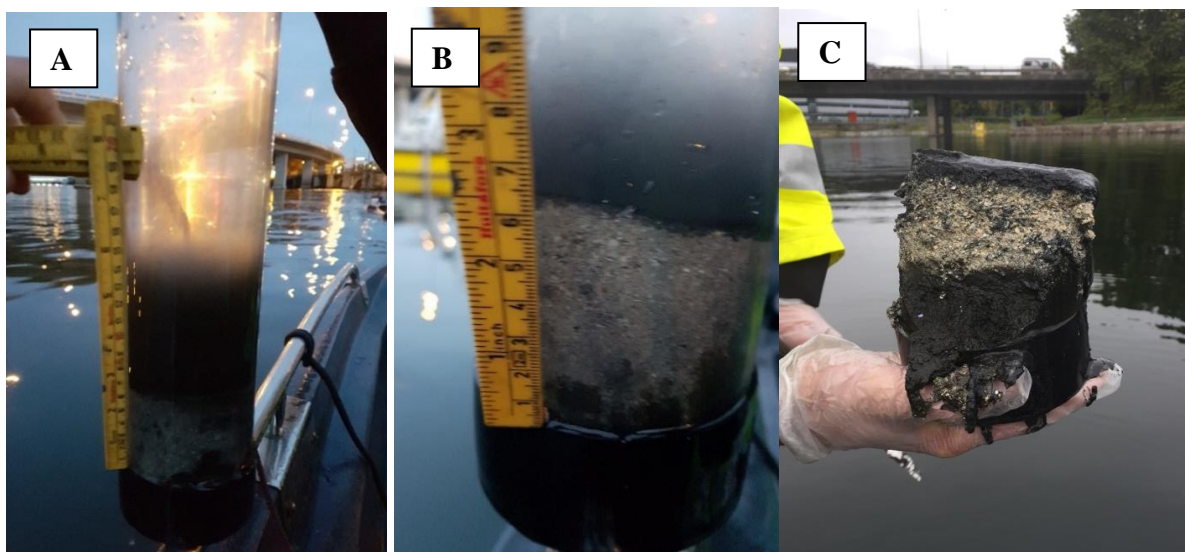
Utleggingen av blandingslaget bød på en rekke utfordringer, særlig med tanke på å få lagt ut skjellsanden og kull-blandingene i rett blandingsforhold. In line dosering som benyttet her viste seg å være krevende, og bedre kontroll på både pumperate og skjellsand-mating enn hva utstyret brukt i dette prosjektet tillot hadde vært ønskelig. Boston fikk også problem med tilstopping i utleggingsrøret i den første halvdel av utleggingen, noe som medførte at utleggingen ble noe uregelmessig i den innerste (nordlige) halvdel av testfeltet. Tilstoppingen i rørene medførte også at utleggingen ble forsinket, og dette var uheldig med tanke på at blandingen på tankbilene ikke burde stå for lenge på grunn av fare for at PAC la seg på bunnen av tankbilene og ikke lot seg pumpe ut. Tankbilsjåførene klarte imidlertid å håndtere dette, selv om det ikke kan utelukkes at en liten andel av kullet gikk tapt.

Etter utleggingen av blandingslaget, ble det lagt ut 4 lag med skjellsand for å oppnå en total tykkelse på tildekkingslaget på 20 cm.



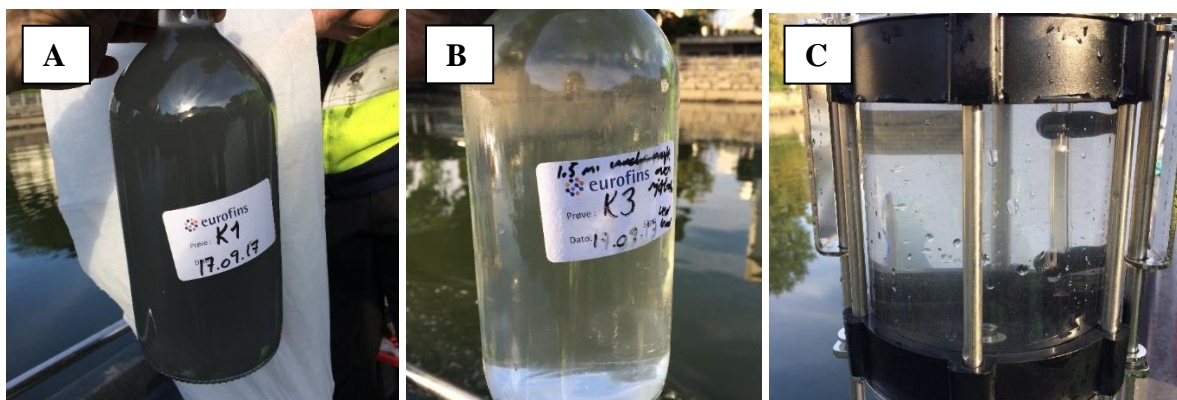
Figur 34 Bilder fra utlegging av blandingen av skjellsand og pulverisert kull. A) Tankbil med blanding av PAC, NaCl og saltvann. B) Lasterommet på fartøyet til Boston AS der kull-blanding ble blandet med skjellsand og pumpet ut gjennom ledning til testfeltet.

COWI gjennomførte kjerneprøvetaking rett etter utlegging av blandingslaget i den innerste halvdel av testfeltet. Bildene i Figur 35 viser hvordan kull-blanding synker ned mot sjøbunnen. Ved enkelte lokaliteter viser prøvene at det nesten kun ble pumpet ut kull-blanding, trolig på grunn av at tilstoppingen i utleggingsledningen periodevis hindret utpumping av skjellsand.



Figur 35 Bilder fra kontroll-prøvetaking undervegs i utleggingen. A) og B) Kjerneprøvetaking noen få timer etter utlegging av pulverisert kull. C) Kjerneprøvetaking dagen etter utlegging av pulverisert kull, før utlegging av de øverste lagene med skjellsand.

Det ble også tatt vannprøver under utleggingen av blandingslaget for å vurdere i hvor stor grad kullblandingen spredde seg i vannet. Vannprøvene ble ikke analysert i laboratorium, men vurdert visuelt med tanke på farge/klarhet. Figur 36 A) viser en vannprøve tatt rett bak dronen 1,5 m over sjøbunnen mens utleggingen pågikk i testfeltet, mens Figur 36 B) og C) viser vannprøver tatt 1,5 m over sjøbunnen ca. 25 m på hver side av dronen under utlegging. Vannprøvene tatt ca. 25 m på hver side av dronen ser helt klare ut og viser ikke tegn til å være påvirket av kullblandingen.

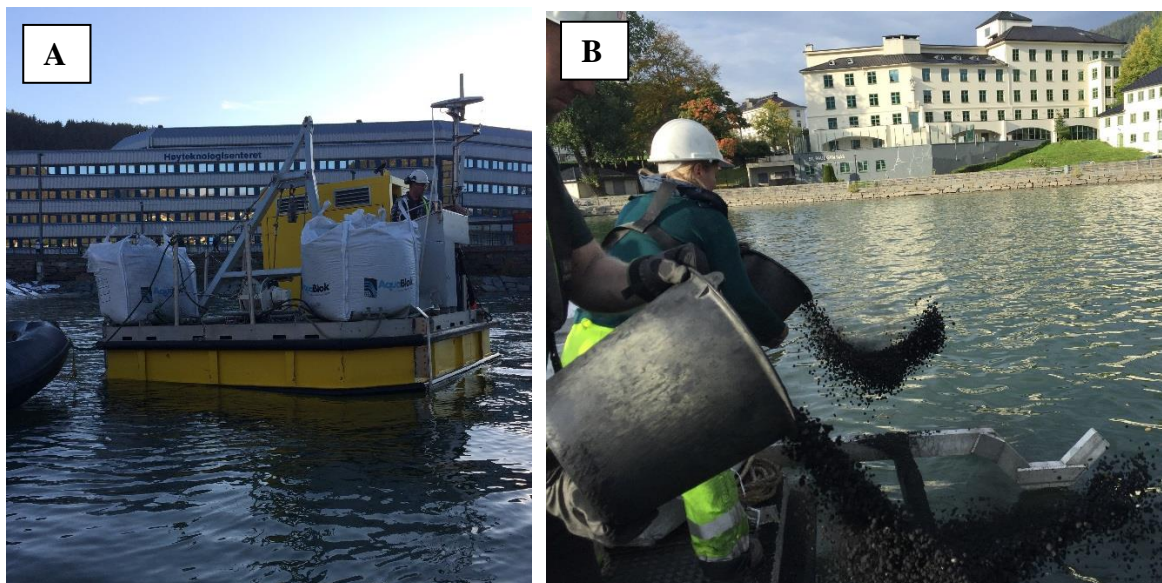


Figur 36 Vannprøver tatt under utlegging av pulverisert kull. A) Prøve tatt rett bak drone 1,5 m over sjøbunnen under utlegging B) Prøve tatt ca. 25 m nord for drone (mot land) under utlegging, C) Prøve tatt ca. 25 m sør for drone under utlegging.

## 7.5 Utlegging av skjellsand og AquaGate+PAC 10% i delområde 2B og 2C

I testfelt 2B og 2C ble det først lagt et lag med skjellsand rett på sjøbunnen. Dette laget ble lagt ut i samme runde som det første laget med skjellsand i testfelt 2A. I testfelt 2B ble det så lagt et lag med AquaGate+PAC 10% over det første skjellsand-laget. Etter utleggingen av AquaGate+PAC 10%, ble det lagt ut 4 lag med skjellsand for å oppnå en total tykkelse på tildekkingslaget på 20 cm. I testfelt 2C ble laget med AquaGate+PAC 10% lagt på toppen av alle skjellsand-lagene.

AquaGate+PAC 10% ble levert i bigbags som ble plassert på dronen under utlegging av materialet (Figur 37). Dronen ble programmert til å gå langs et gitt spor innenfor testfeltet, og ble så manuelt stoppet for hver meter. Dronen er 4 m bred, og for hvert stopp ble et areal på 4 m<sup>2</sup> dekket med AquaGate+PAC 10% tilsvarende 2 kg materiale per m<sup>2</sup>. Utleggingen foregikk manuelt ved bruk av bøtter (Figur 37). AquaGate+PAC 10% ble lagt ut i oppholdsvær, og materialet ble ikke utsatt for vann før det traff vannoverflaten i testfeltet.



Figur 37 Bilder fra utleggingen av AquaGate+PAC 10% materialet

Det ble gjennomført kjerneprøvetaking og filming av sjøbunnen rett etter utleggingen av AquaGate+PAC 10% materialet. Figur 38 viser laget med AquaGate+PAC 10% i delfelt 2B tatt med undervannskamera festet på en kjerneprøvetaker før utlegging av de øverste lagene med skjellsand. Filmingen og kjerneprøvene viste et heldekkende, relativt jevnt lag med AquaGate+PAC 10% på sjøbunnen.



Figur 38 Bilde av laget med AquaGate+PAC 10% i delfelt 2B tatt med undervannskamera festet på kjerneprøvetaker før utlegging av de øverste lagene med skjellsand.

## 7.6 Kontrollmålinger etter tiltak

### 7.6.1 Kjerneprøver og bøtter i delområde 2A

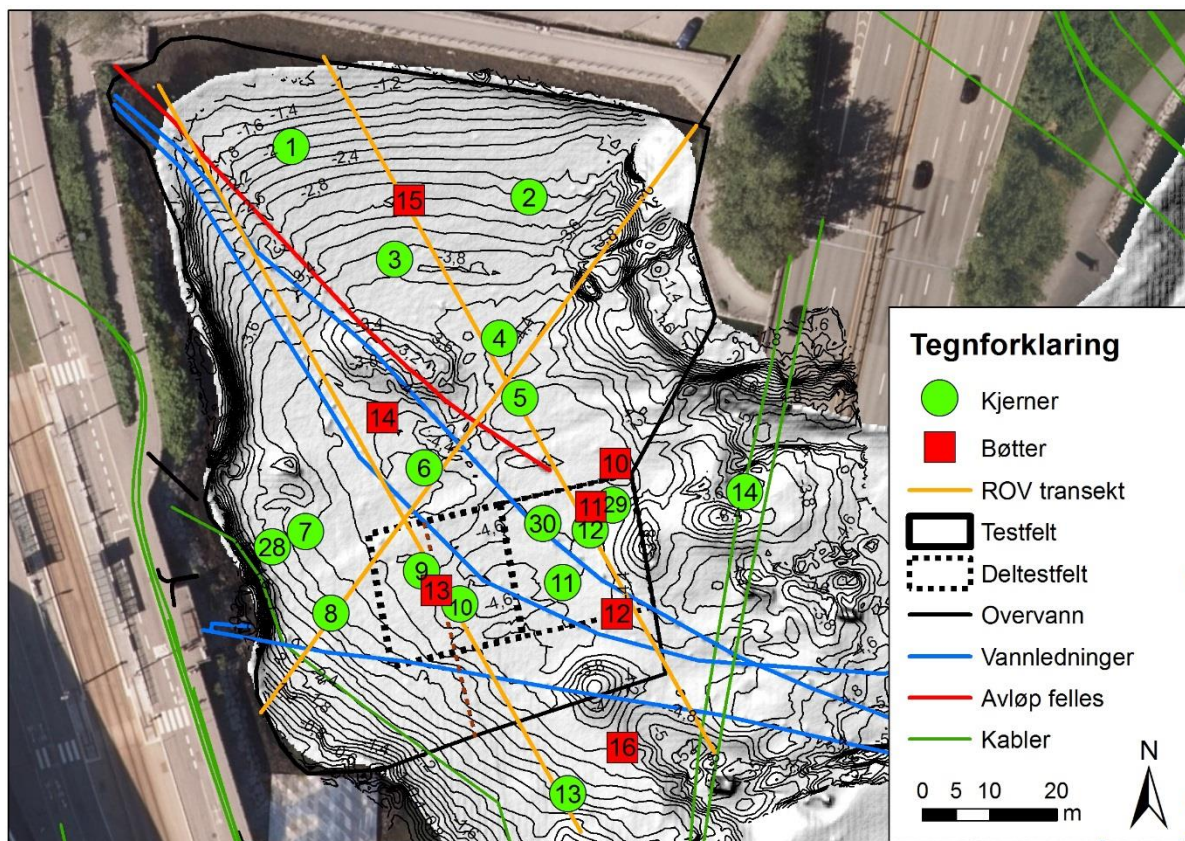
Det ble tatt kjerneprøver ved 10 lokaliteter innenfor området der blandingslaget med PAC/skjellsand ble lagt ut (Figur 39). I tillegg ble det utplassert og hentet opp 4 oppsamlingsbøtter innenfor dette området.

Bilder av blandingslaget med PAC/skjellsand i kjerneprøvene og bøttene er vist i Figur 40. Total tykkelse på hele tildekkingslaget og tykkelsen på blandingslaget med PAC/skjellsand er oppgitt for hver kjerne/bøtte i figuren (Tot=total tykkelse; kull=tykkelse blandingslag PAC/skjellsand).

Total tykkelse av hele tildekkingslaget varierte mellom 17 og 29 cm ved de undersøkte lokalitetene (Figur 40). Det tykkeste tildekkingslaget ble registrert ved kjerneprøvelokalitetene 2, 3 og 4 (25-29 cm), mens det tynneste tildekkingslaget ble registrert ved kjerneprøvelokalitet 1 og lokalitetene der bøtte 13 og 14 var utplassert (17 cm). Ved de andre lokalitetene lå tykkelsen på tildekkingslaget mellom 19 og 21 cm.

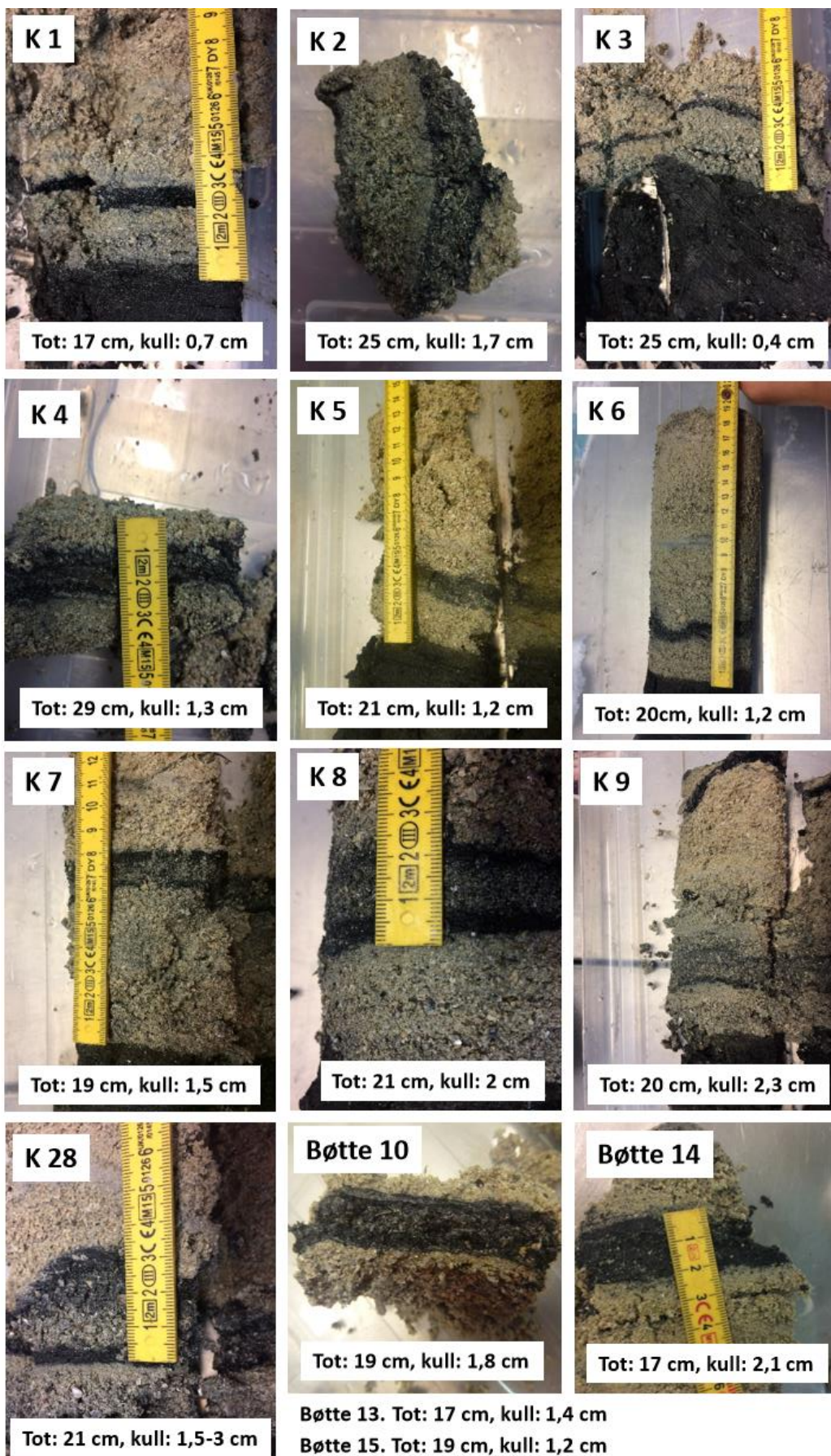
Tykkelsen av blandingslaget med PAC/skjellsand varierte mellom 0,4 og 3 cm, med en tykkelse i intervallet 1,2-2 cm for de fleste lokalitetene (Figur 40). Tykkelsen på laget vil imidlertid i stor grad reflektere mengde skjellsand som ble lagt ut og er ikke nødvendigvis proporsjonal med mengde utlagt PAC. Styrken på kull-fargen vil derfor også være en indikator på mengde PAC i laget. På grunn av tilstoppingen i rørene under første del av utleggingen i de indre, nordlige delene av området, ble det her lagt ut noe varierende mengde skjellsand i blandingslaget. Kullet kan også ha blitt lagt ut noe uregelmessig på grunn av tilstoppingen. Resultatene ser ut til å reflektere dette siden det er størst variasjon i tykkelse og kull-farge på blandingslaget i det nordlige området (Figur 40). I resten av testfeltet viser prøvene et noe jevnere resultat med et tydelig lag med PAC ved alle de undersøkte lokalitetene.

Kjerneprøvene ble tatt med til laboratorium og åpnet for å måle tykkelse på tildekkingslaget og studere innblandingssonen mellom sjøbunnen og tildekkingslaget. Figur 41 viser den typiske innblandingssonen mellom sjøbunn og skjellsand i kjerner fra testfelt 2. Sjøbunnen i testfelt 2 er noe fastere enn i testfelt 1, og bildene viser at skjellsanden lagt seg over sjøbunnen med liten (<1 cm) innblanding.

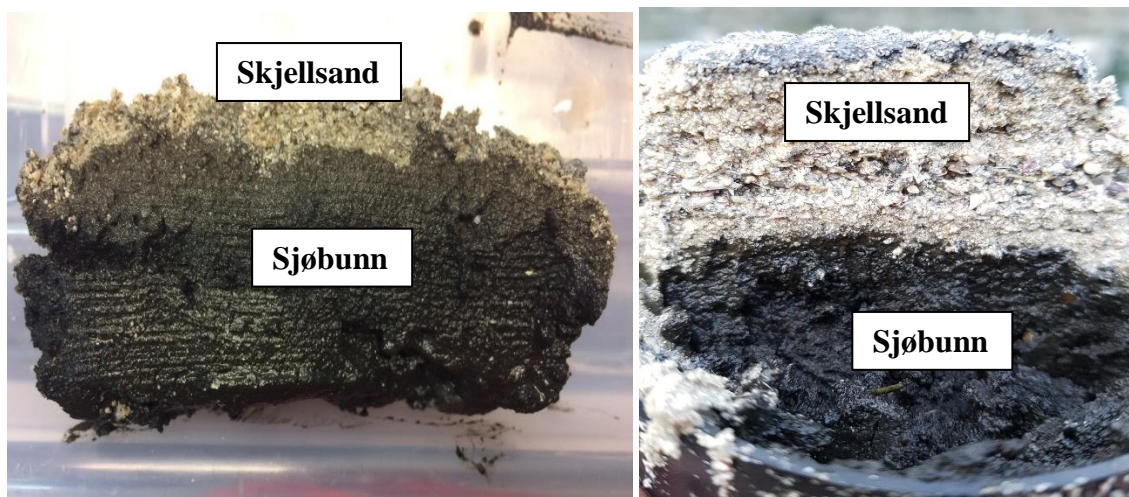


Figur 39 Oversikt over lokaliteter for kjerneprøver og bøtter i testfelt 2





Figur 40 Oversikt over lag med PAC i kjerneprøver og bøtter



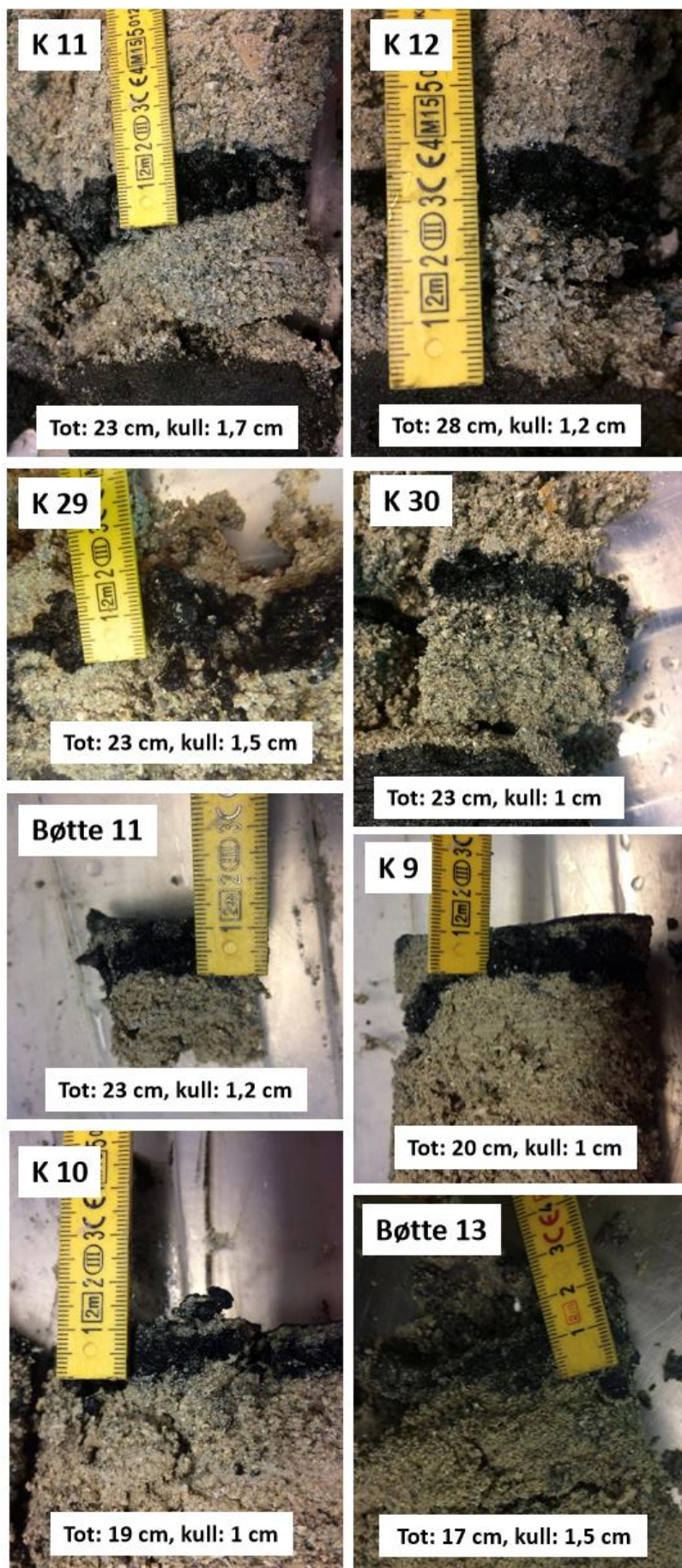
Figur 41 Typisk innblandingssoner i testfelt 2

### 7.6.2 Kjerneprøver og bøtter i delområde 2B og 2C

Det ble tatt kjerneprøver ved 6 lokaliteter innenfor området der AquaGate+PAC 10% ble lagt ut (Figur 39). I tillegg ble det hentet opp 2 bøtter innenfor dette området. Bøtte 12 som stod helt i ytterkanten av dette delfeltet ble ikke gjenfunnet under ROV undersøkelsen.

Bilder av laget med AquaGate+PAC 10% i kjerneprøvene og bøttene er vist i Figur 42. Total tykkelse på hele tildekkingslaget og tykkelsen på AquaGate+PAC 10% laget er oppgitt for hver kjerne/bøtte i figuren (Tot=total tykkelse; kull=tykkelse AquaGate+PAC 10%).

Total tykkelse av hele tildekkingslaget varierte mellom 17 og 28 cm ved de undersøkte lokalitetene, med flest målinger i intervallet 19-23 cm (Figur 42). I alle kjernene/bøttene ble det registrert en tydelig horisont med AquaGate+PAC 10%. Tykkelsen av AquaGate+PAC 10% laget varierte mellom 1 og 1,7 cm. Ved undersøkelse av AquaGate+PAC 10% horisonten i kjernene/bøttene, ble det ikke registrert soner uten AquaGate+PAC 10%, hverken i prøvene fra delfelt 2B der materialet ble lagt mellom sandlag eller i prøvene fra delfelt 2C der materialet ble lagt som topplag.

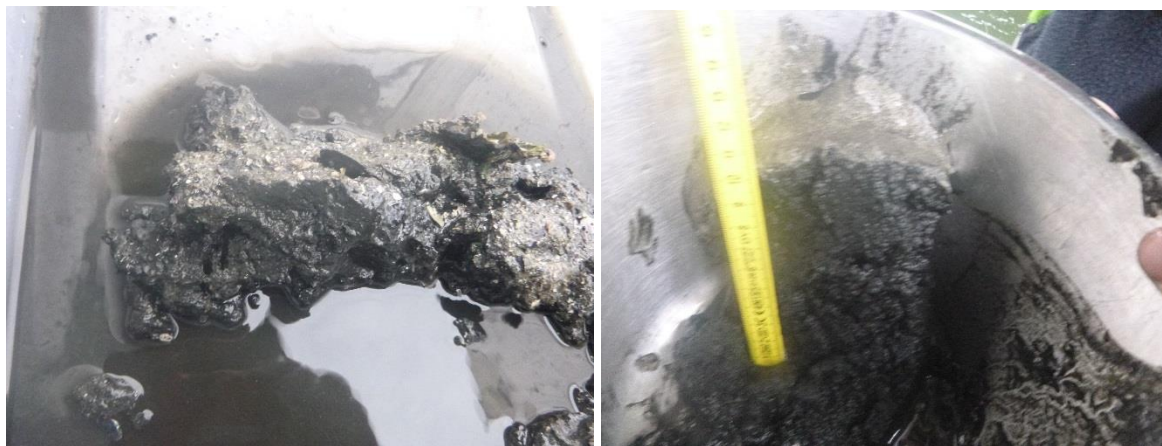


Figur 42 Oversikt over lag med AquaGate+PAC 10% i kjerneprøver og bøtter

### 7.6.3 Kjerneprøver/bøtter rundt testfelt 2

Figur 43 viser bilder av kjerne 13 og 14 som ble tatt henholdsvis 15 m sør og vest for testfelt 2 etter testtildekkingen. I likhet med kjerneprøvene som ble tatt i området rundt testfelt 1 etter testtildekkingen, viser kjerneprøve 13 og 14 at det har lagt seg et tynt (1-2 mm) lag med det som tolkes å være finstoff fra tildekkingsmassene over sjøbunnen.

Bøtte 16 som ble utplassert i området sør for testfelt 2, ble kun filmet uten å bli hentet opp. Fra filmopptaket ser det ikke ut som at det er fanget noe masse i bøtten selv om det trolig ligger et tynt lag med tildekkingsmasse tilsvarende laget som er registrert i kjerneprøvene.



Figur 43 Bilder av kjerne 13 og 14 tatt utenfor testfelt 2 (se Figur 39 for lokalisering av prøvelokaliteter).

### 7.6.4 Laboratorieanalyser

Basert på resultatene fra modellering av tildekkingsstykkelse for Store Lungegårdsvann (avsnitt 3.3) var målet å legge ut 2 kg aktivt karbon per m<sup>2</sup> i tildekkingslaget. For å få en indikasjon på mengde utlagt aktivt karbon i tildekkingslaget, ble det gjennomført analyse av 4 prøver fra kull-horisontene, samt en prøve av ren skjellsand. To prøver ble tatt fra laget med AquaGate+PAC 10% i henholdsvis kjerne 11 og bøtte 11, to prøver ble tatt fra blandingslaget med PAC/skjellsand i henholdsvis kjerne 6 og kjerne 8 og en skjellsandsprøve ble tatt fra øverste del av kjerne 3 (Tabell 5). Analysene ble utført av NGL.

Prøvene ble analysert i henhold til metode beskrevet i Gustafsson et al. (1997). Metoden gir verdier for prosentandel total organisk karbon (TOC), black carbon (BC=aktivt karbon) og amorf organisk karbon (AOC) i prøvene. For analyse av TOC ble prøvemateriale tørket i 16 timer på 105 °C og finknust ved hjelp av en morter før innveining. Ca. 200 mg av hver prøve ble veid ut og tilsatt 0,5 ml 3% HCL. Dette gjøres for å vaske bort karbonatene fra prøvematerialet (TIC). Prøvene ble deretter satt på varmeplate ved 125°C i minimum 4 timer. Analysen utføres med analysatoren Vario MAX C. Forbrenningskanalen/forbrenningssystemet i Vario MAX C består av to ovner som drives med forskjellig temperatur. Frigjøring av TOC vil finne sted ved 1050°C etterfulgt av kvantitativ oksidasjon med oksygen og WO<sub>3</sub> (wolfram(VI)oksid) som katalysator ved 950°C. CO<sub>2</sub> detekteres med en infrarød målcelle. Prøvemateriale ble så forbrent i 16 timer på 375 °C under oksygen for å fjerne alt organisk materiale (AOC) som ikke er black carbon (BC). Deretter ble prøvene analysert med samme metode som for TOC (syretitling pluss elementanalyse).

Selv om analysemetoden gir et tall på mengde BC (aktivt karbon), så oppgir laboratoriet at metoden ikke egner seg godt til å skille mellom BC og AOC siden BC blir målt ved forbrenning på 375°C, noe som er en konservativ metode siden det kun er det hardeste BC som overlever denne temperaturen. Det er altså trolig at mindre stabilt BC blir definert som AOC med analysemetoden brukt her. Det antas imidlertid at andre karbonkilder enn BC ikke vil være signifikante i AquaGate+PAC 10% materialet, og man kan dermed benytte summen av BC og AOC, dvs. TOC, som en indikasjon på hvor mye aktivt karbon som er blitt plassert i tildekkingslaget. Dette gjelder også for prøvene fra blandingslaget med PAC/skjellsand når resultatene for skjellsandsprøven ble fratrukket resultatene for blandingslaget.

Resultatene i Tabell 5 viser at TOC innholdet i AquaGate+PAC 10% prøvene var på 13 og 16 %, mens de tilsvarende tallene for blandingslaget med PAC/skjellsand var 9,2 og 9,1 %. For omregning av resultatene til vekt aktivt karbon per m<sup>2</sup>, ble tettheten for materialene og tykkelsen på kull-lagene oppgitt i Tabell 5 benyttet. Resultatene for AquaGate+PAC 10% prøvene på 2,83 og 2,46 kg per m<sup>2</sup> indikerer at man trolig oppnådde mengden aktivt karbon på 2 kg per m<sup>2</sup> som var planlagt i tildekkingslaget. Resultatene for blandingslaget med PAC/skjellsand på 0,95 og 1,44 kg per m<sup>2</sup> indikerer at man trolig oppnådde en del mindre aktivt karbon i tildekkingslaget enn planlagt. Basert på prøveresultatene og observasjonene av tildekkingslagtykkelse og farge varierer trolig også mengden aktivt karbon i tildekkingslaget innenfor delfelt 2A mer enn mengden aktivt karbon innenfor delfelt 2B og 2C der det ble utlagt AquaGate+PAC 10%.

Usikkerheten i måleresultatene er fra laboratoriet oppgitt til å være maksimalt 0,1% for TOC med mindre innholdet av karbon er svært lavt. Usikkerheten i estimatene for mengde aktivt karbon i tildekkingslaget er i tillegg relatert til bruken av TOC-verdien i beregningene og mulige variasjoner i tykkelsen på kull-lagene innen hver bølge/kjerne.

Tabell 5      *Analyseresultater. TOC=total organisk karbon, BC=black carbon, AOC=amorft organisk karbon. TOC er brukt i beregningene av aktivt karbon i andre delen av tabellen*

Prøve-ID	Materiale	Lokalitet	Enhet	AOC	BC	TOC
1	AquaGate+PAC 10%	Kjerne 11	% tørrstoff	11,7	1,3	13
2	AquaGate+PAC 10%	Bølge 11	% tørrstoff	12,6	3,4	16
3	PAC/skjellsand	Kjerne 6	% tørrstoff	6,9	2,3	9,2
4	PAC/skjellsand	Kjerne 8	% tørrstoff	7,4	1,7	9,1
5	Skjellsand	Kjerne 3	% tørrstoff	0,1	0,2	0,3

Prøve-ID	Materiale	Dry bulk density	Lagtykkelse kull i kjerne/bølge (cm)	Vekt av aktivt karbon (TOC) per cm per m <sup>2</sup> (kg)**	Vekt av aktivt karbon (TOC) i målt lagtykkelse per m <sup>2</sup> (kg)**
1	AquaGate+PAC 10%	1,28	1,7	1,67	2,83
2	AquaGate+PAC 10%	1,28	1,2	2,05	2,46
3	PAC/skjellsand	0,82	1,3	0,75	0,95*
4	PAC/skjellsand	0,82	2	0,74	1,44*
5	Skjellsand	0,85	-	0,03	-

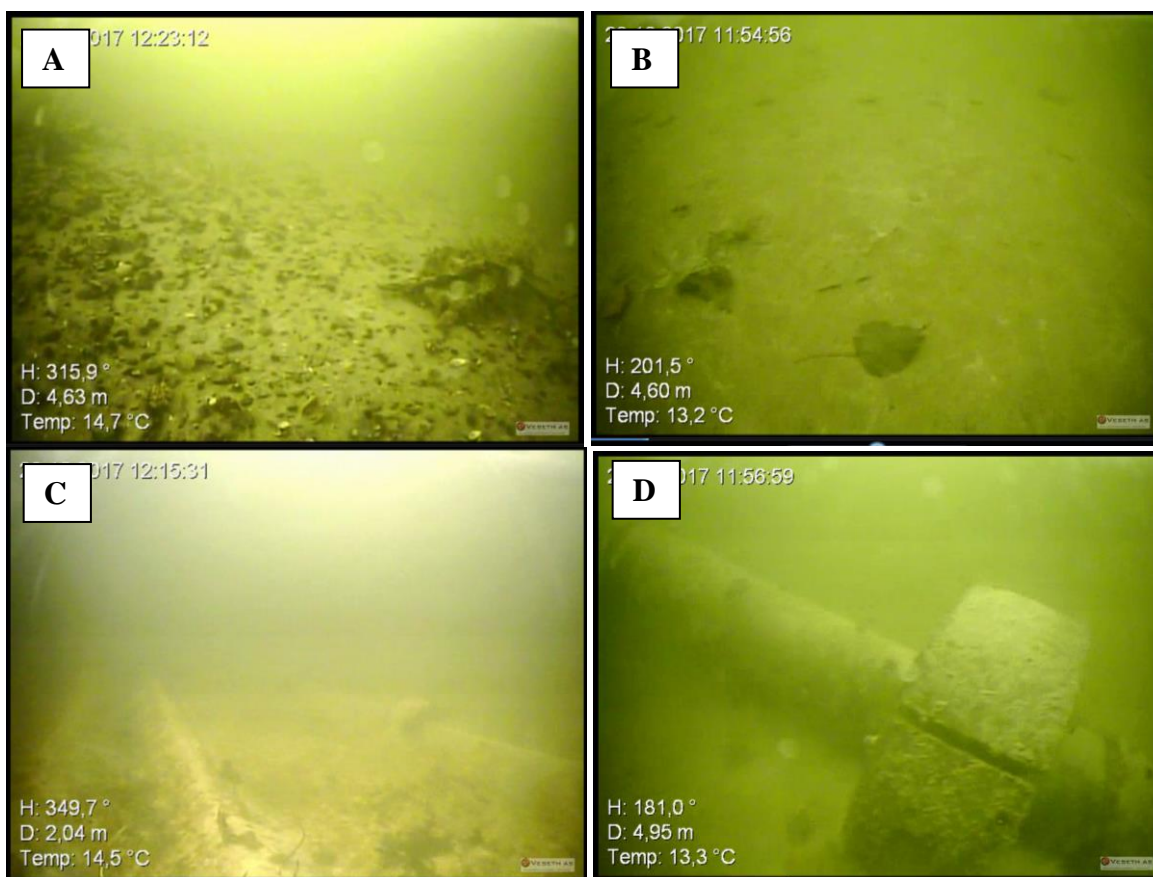
*\*fratrukket resultatet for ren skjellsand, \*\*TOC verdien i prøvene er benyttet i utregningen*

### 7.6.5 ROV

I etterkant av testtildekkingen ble det gjennomført en ROV undersøkelse langs tre transekt gjennom testfelt 2. Lokaliseringen av de tre transektene er vist i Figur 39.

Det ble ikke registrert noen slags forhøyning eller tydelige høydeforskjeller når ROVen beveget seg fra sør og innover i testfeltet. Figur 44 A viser sjøbunnen utenfor testfeltet, mens Figur 44 B viser typisk sjøbunn innenfor testfeltet. Det ble ikke observert steiner eller skrot/søppel som stakk opp gjennom tildekkingslaget på ROV filmene. Ledningene i området er delvis tildekket, men de kan fortsatt sees på sjøbunnen (Figur 44 C og D).

Det ble satt ut målepinner i testfelt 2 for å kontrollere tildekningstykkelsen, men kun en av disse ble gjenfunnet ved bruk av ROV høsten 2017. Under perioden med kaldt og klart vær i januar 2018 ble det valgt å fokusere på å gjenfinne utstyret i testfelt 1 siden testfelt 2 allerede var godt undersøkt med kjerneprøver.

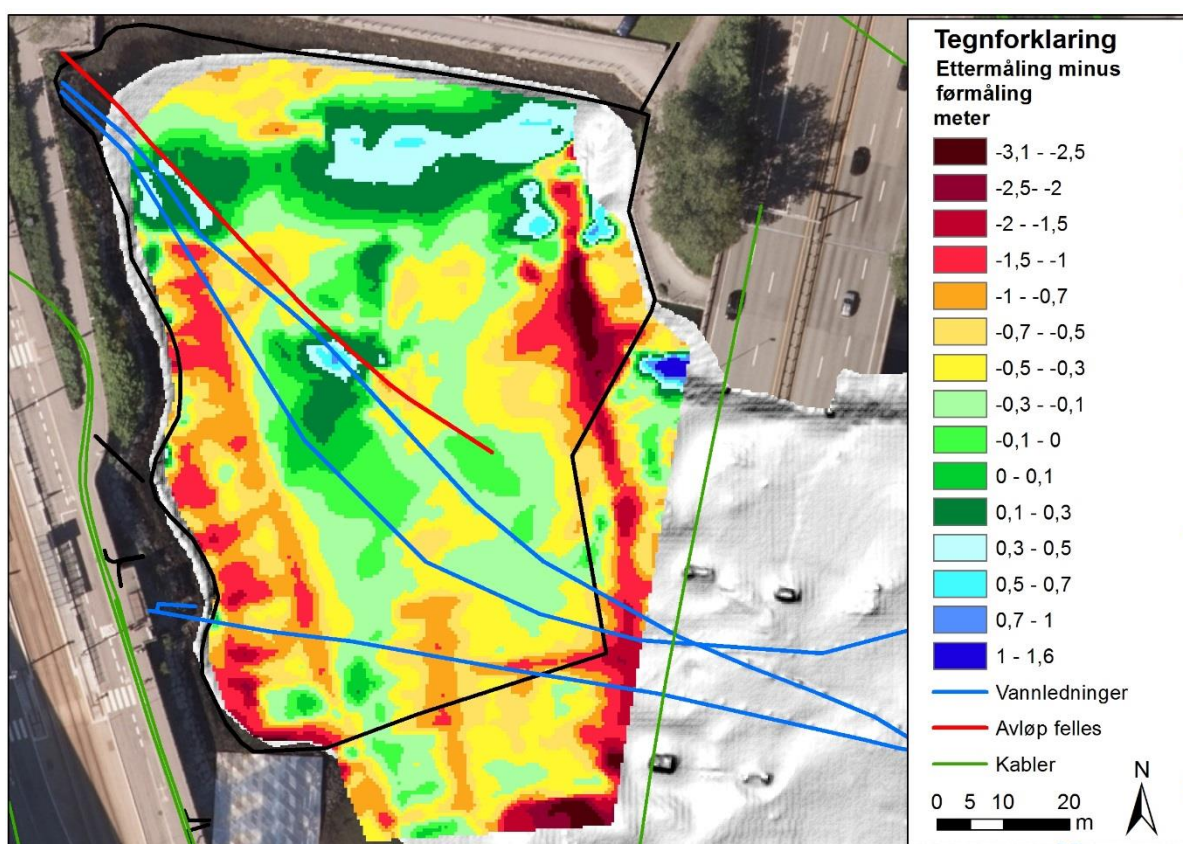


Figur 44 ROV bilder fra områdene rundt og i testfelt 2 etter tildekking. A) Utildekket sjøbunn utenfor testfelt 2, B) Tildekket sjøbunn innenfor testfelt 2A, C) og D) Tildekket sjøbunn i den indre delen av testfelt 2A som viser delvis tildekkede ledninger

### 7.6.6 Dybdekartlegging

Det ble utført en dybdemåling med multistråle ekkolodd før testtildekkingen og en måling etter testtildekkingen i testfelt 2. En sammenligning mellom resultatene er vist i Figur 45 der dybdeverdiene fra førmålingen er fratrukket verdiene fra ettermålingen.

Resultatene viser to fremtredende soner i nordvestlig-sørøstlig retning der sjøbunnen ser ut til å ha senket seg opptil 3 m etter testtildekkingen (negative verdier merket med rødlige farger i Figur 45), og sjøbunnen ligger generelt dypere etter testtildekkingen over det meste av testfeltet og omkringliggende område. Disse resultatene må være forårsaket av problemer med innmåling eller prosessering av datasettet, og resultatene er ikke blitt benyttet i tolkningen av endringer på sjøbunnen.



Figur 45 Resultatene fra dybdemålinger med multistråle ekkolodd i testfelt 2.

### 7.6.7 Kjemi

Innen fire uker etter ferdig utlegging ble det tatt prøver av de øverste 10 cm av tildekkingslaget for analyse av miljøgiftkonsentrasjoner. Prøve G4, G5 og G6 vist i Tabell 6 ble tatt ved henholdsvis kjerneprøvelokalitet 1, 3 og 5 (Figur 39).

Resultatene fra tildekkingslaget i testfelt 2 viser konsentrasjoner tilsvarende tilstandsklasse I for alle miljøgiftene med unntak av kobber og TBT i prøve G6 som er påvist i konsentrasjoner tilsvarende den nedre delen av tilstandsklasse II.

Tabell 6 Konsentrasjoner av miljøgifter i prøver fra den øverste delen av tildekkingslaget i testfelt 2 klassifisert etter veileder M-608/2016 (Miljødirektoratet, 2016). Der rapporteringsgrensen er høyere enn tilstandsklasse 1 er ikke stoffet klassifisert. Se Tabell 2 for fargeskala.

Stoff	Enhet	G4 TF2 (skjellsand)	G5 TF2 (skjellsand)	G6 TF2 (skjellsand)
As (Arsen)	mg/kg TS	<0.50	0,96	0,5
Pb (Bly)	mg/kg TS	<1.0	1	9,3
Cu (Kopper)	mg/kg TS	1,38	1,21	20,9
Cr (Krom)	mg/kg TS	2,68	2,87	5,2
Cd (Kadmium)	mg/kg TS	0,11	<0.10	<0.10
Hg (Kvikksølv)	mg/kg TS	<0.20	<0.20	<0.20
Ni (Nikkel)	mg/kg TS	<5.0	<5.0	<5.0
Zn (Sink)	mg/kg TS	3,6	4,1	46,5
Naftalen	µg/kg TS	<10	<10	<10
Acenaftalen	µg/kg TS	<10	<10	<10
Acenaften	µg/kg TS	<10	<10	<10
Fluoren	µg/kg TS	<10	<10	<10
Fenantren	µg/kg TS	<10	<10	<10
Antracen	µg/kg TS	<10	<10	<10
Fluoranten	µg/kg TS	<10	<10	<10
Pyren	µg/kg TS	<10	<10	<10
Benso(a)antracen	µg/kg TS	<10	<10	<10
Krysen	µg/kg TS	<10	<10	<10
Benso(b)fluoranten	µg/kg TS	<10	<10	<10
Benso(k)fluoranten	µg/kg TS	<10	<10	<10
Benso(a)pyren	µg/kg TS	<10	<10	<10
Dibenso(ah)antracen	µg/kg TS	<10	<10	<10
Benso(ghi)perylene	µg/kg TS	<10	<10	<10
Indeno(123cd)pyren	µg/kg TS	<10	<10	<10
Sum PAH-16	µg/kg TS	ikke påvist	ikke påvist	ikke påvist
Sum PCB-7	µg/kg TS	ikke påvist	ikke påvist	ikke påvist
Tributyltinnkation (TBT)	µg/kg TS	<1	<1	1,76
Tørrstoff (E)	%	69,6	65,8	86,8
Vanninnhold	%	30,4	34,2	13,2
TOC	% TS	<1.41	<1.41	<0.030

## 7.7 Erfaringer testfelt 2

Utlekking av AquaGate+PAC 10% manuelt fra dronen fungerte godt for et såpass lite område. Det nøyaktige GPS-posisjoneringsutstyret til dronen og muligheten til å stoppe den når ønskelig gav stor fleksibilitet. AquaGate+PAC 10% materialet fordelte seg utover i vannet ved utlegging, og observasjoner av materialet i kjernene/bøttene, samt filmingen av sjøbunnen, tyder på at det ble lagt ut et heldekkende, relativt jevnt lag med AquaGate+PAC 10% mellom lagene med skjellsand. Det ble ikke analysert mer enn to prøver fra AquaGate+PAC 10% i tildekkingen, men disse analyseresultatene indikerer at man trolig har oppnådd planlagt mengde aktivt karbon i tildekkingen i delfelt 2B og 2C. Dersom man ønsker å tildekke større områder av Store Lungegårdsvann med



AquaGate+PAC 10%, må man se på mer automatiserte løsninger for spredningen av materialet. Her kan man trekke på erfaringer fra utlegging av denne type materiale både i Norge og USA.

Utleggingen av blandingen av PAC/skjellsand i delfelt 2A var utfordrende både med tanke på å oppnå den planlagte blandingen og problemene som oppstod med tilstopping i utleggingsrørene i starten av utleggingen. Erfaringene fra dette testprosjektet tilsier at det er nødvendig med bedre kontroll på både pumperate og skjellsand-mating enn hva utstyret brukt i dette prosjektet tillot. Blandingen av PAC, NaCl og saltvann så imidlertid ut til å synke ned på sjøbunnen, og en jevnere kull-horisont mellom sandlagene burde være mulig å oppnå med forbedret kontroll på utleggingen. Det ville være interessant å teste utpumping av blandingen av PAC, NaCl og saltvann uten å blande den med skjellsand, og deretter legge ut et skjellsandlag på toppen. I dette prosjektet ble det ikke innkjøpt ekstra PAC for å kompensere for eventuelt svinn/tap av karbon ved utlegging, og resultatene fra laboratorieanalysene indikerer at dette vil være nødvendig for å oppnå planlagt mengde aktivt karbon i tildekkingslaget. Det totale tildekkingslaget med 20 cm skjellsand i tillegg til det aktive karbonet og en liten innblandingssone (<1 cm) vil sannsynligvis likevel tilfredsstillende målet for tildekkingen (se modelleringsresultater, avsnitt 3.3) selv med redusert mengde aktivt karbon, så fremt ikke tildekkingslaget blir erodert over tid.

Det er planlagt oppfølging av testfelt 2 blant annet med tanke på eventuell erosjon og rekontaminering av tildekkingslaget. På grunn av lokaliseringen av testfelt 2 i bukten ved Florida, er det trolig mindre sjanse for rekontaminering av dette testfeltet sammenlignet med de andre to testfeltene som er omringet av forurenset sjøbunn på alle kanter. Oppfølgende undersøkelser vil imidlertid avgjøre om det vil være nødvendig å legge på mer tildekkingsmasse innenfor testfelt 2 i forbindelse med hovedtiltaket i Store Lungegårdsvann når resten av sjøbunnen skal tildekkes.

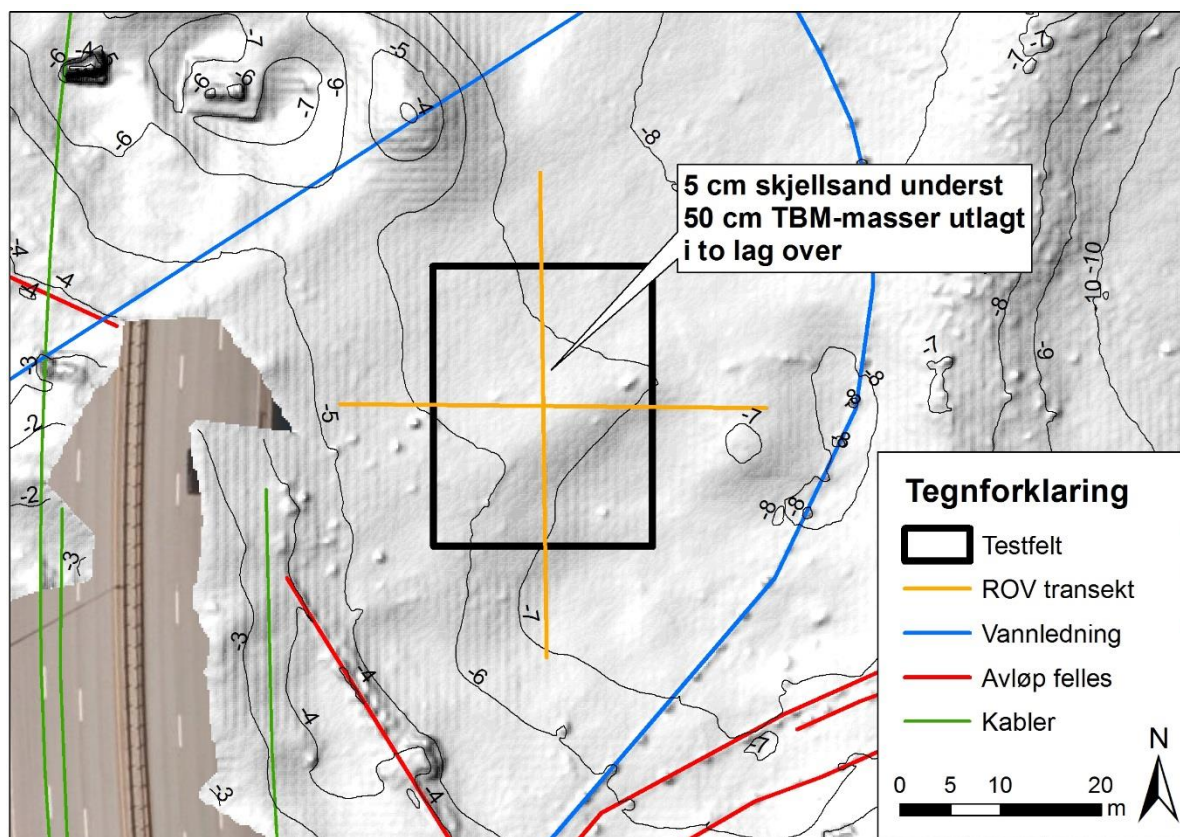
Det ble gjennomført en marinbiologisk undersøkelse av bunndyrssammensetningen i testfelt 2 i forkant av tildekkingen (Fishguard, 2017b), og det er planlagt en ny bunndyrsundersøkelse ca. 1 år etter testtildekkingen for å sammenligne bunndyrssammensetningen før og etter tildekkingen. Det ble valgt å legge AquaGate+PAC 10% materialet i delfelt 2C over alle skjellsand lagene for i ettertid å også kunne sammenligne rekoloniseringen av et område med aktivt kull som topplag med et område med sand som topplag.

## 8 Resultater testfelt 3

Arbeidet i testfelt 3 var et tillegg som ble lagt til den opprinnelige planen for testtildekkingen etter at testtildekkingen var igangsatt. Det pågår tildekking med TBM-masser i Puddefjorden, og siden disse massene var lett tilgjengelige, var det ønskelig å teste om det også var mulig å legge ut disse mer grovkornede massene med pumpeutstyret til Boston. Siden TBM-massene som ble benyttet i dette prosjektet var usortert og dermed inneholdt kornfraksjoner >50 mm, ble det valgt ut et testfelt innenfor terskelområdet nær Nygårdsbroene der sjøbunnen er fastere og mer stabil og faren for oppvirvling av forurenset sjøbunn er mindre enn i områdene med bløt sjøbunn i de sentrale delene av Store Lungegårdsvann. Arbeidet i testfelt 3 var således kun en test på om det er mulig å pumpe TBM-massene og ikke en test på hvordan TBM-masser oppfører seg på bløt sjøbunn. Prosjektet hadde ikke tillatelse til å dekke til ledninger/kabler med TBM-masser, og testfeltet ble derfor lagt i et område uten noen installasjoner på sjøbunnen.

## 8.1 Tildekkingsløsning

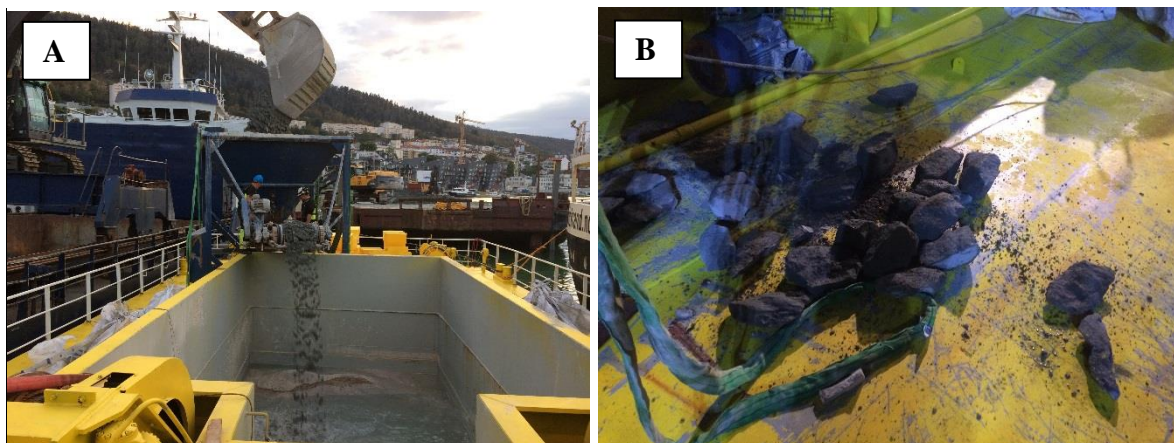
Testfelt 3 har et areal på 600 m<sup>2</sup>. I hele testfeltet ble det lagt ut et første 5 cm lag med skjellsand og deretter totalt 50 cm med TBM-masser utlagt i to lag (Figur 46).



Figur 46 Oversikt over tildekkingsløsning i testfelt 3. Transektene gjennom testfeltet viser hvor ROV undersøkelsen ble gjennomført.

## 8.2 Utlegging

TBM-massene ble levert til Bostons fartøy av entreprenøren PEAB AS som har ansvaret for tildekkningen av forurenset sjøbunn i Puddefjorden. Et potensielt problem med tanke på pumping av masser som inneholder større steiner er at de kan blokkere innsugingen og det er svært tidkrevende arbeid å åpne en slik plugg. I dette forsøket stod det derfor to personer ved transportbåndet for å plukke ut de største steinene før massene falt ned i lasterommet (Figur 47 A og B). Pumpingen av TBM-massene til testfelt 3 ble gjennomført uten nevneverdige problemer, og det ble lagt ut to TBM-lag der det andre laget ble lagt ut på kryss av det første for å oppnå en mest mulig jevn tildekkning.



Figur 47 Bilder fra utlegging av TBM-masser i testfelt 3. A) TBM-masser blir matet til matekammeret, B) Steiner som ble utplukket manuelt fra transportbåndet.

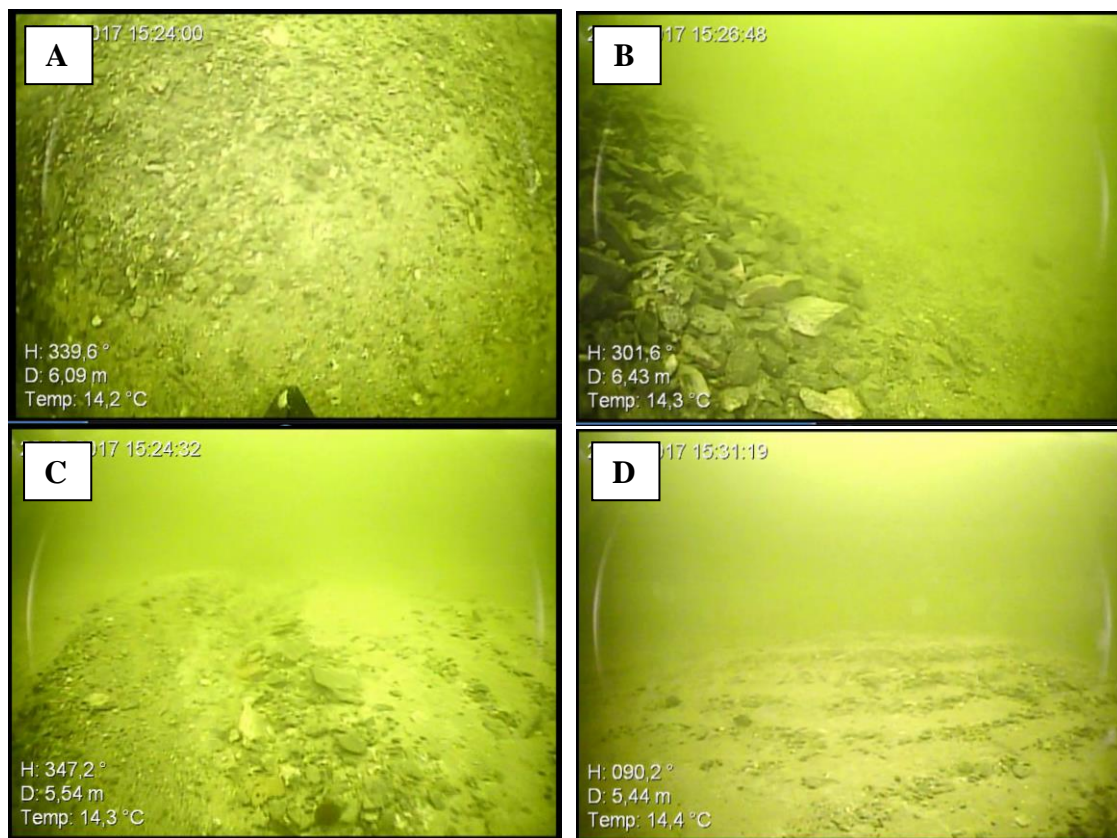
## 8.3 Kontrollmålinger etter tiltak

Siden arbeidet i testfelt 3 ikke var med i den opprinnelige planen for testtildekkingen, ble det ikke gjennomført førmålinger innenfor dette feltet. Det ble imidlertid gjennomført kontrollmålinger i etterkant av tiltaket i form av dybdemålinger med multistråle ekkolodd, ROV undersøkelse langs to transekt og prøvetaking av den øverste delen av tildekkingslaget for analyse av miljøgiftkonsentrasjoner.

### 8.3.1 ROV

Det ble gjennomført en ROV undersøkelse langs to transekt gjennom testfelt 3 (Figur 46). I motsetning til i de andre to testfeltene, ble det her observert en markert overgang mellom utildekket og tildekket sjøbunn. Figur 48 A og B viser bilder av tydelige skråninger i henholdsvis den sørlige og nordlige kanten av tildekkingslaget. Figur 48 C og D viser overflaten av tildekkingslaget. Overflaten er relativt flat, men med noen rygger/forhøyninger enkelte steder. Bildene viser at en del større stein ble pumpet gjennom systemet.

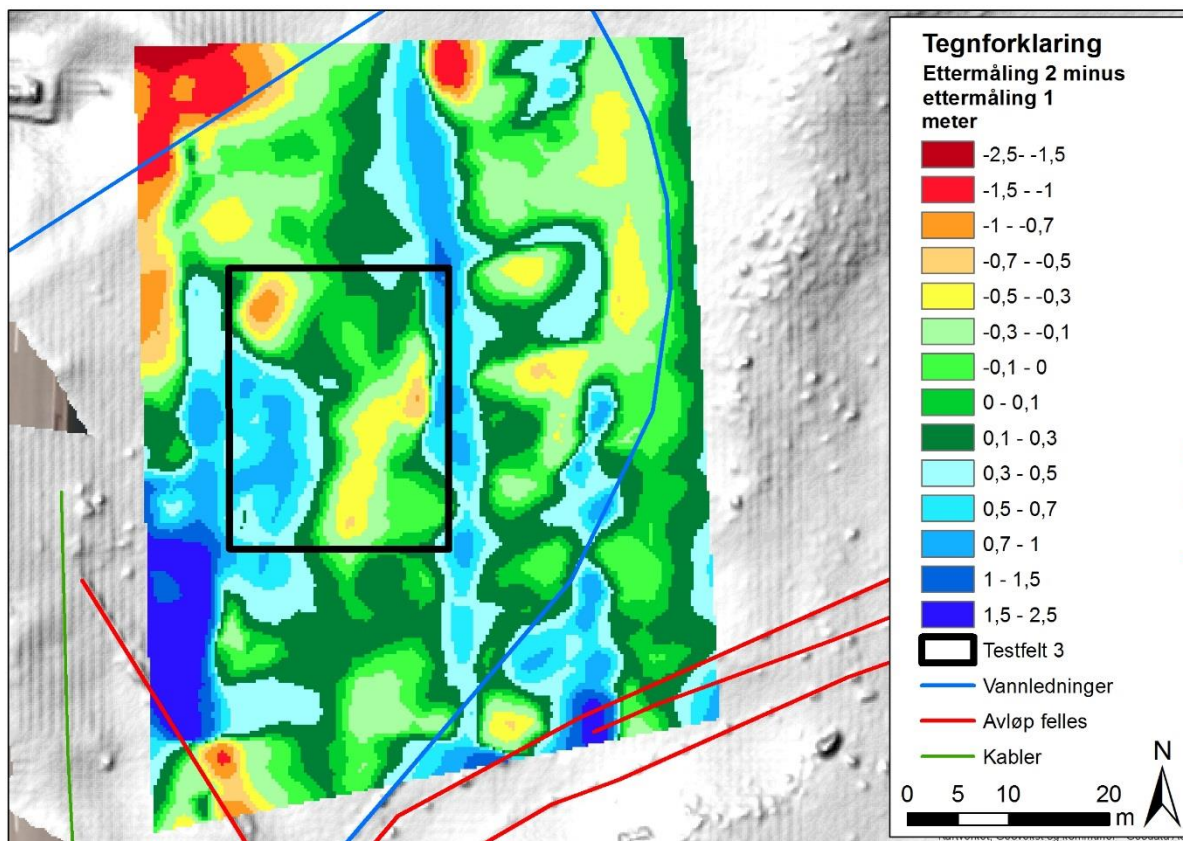
Dybden som ble registrert kontinuerlig av ROVen viser 6.09 m når den står nederst i skråningen og 5,54 m når den når toppen av tildekkingslaget. Dybdeforskjellen stemmer godt overens med at det ble lagt ut et tildekkingslag på totalt 55 cm i testfeltet.



Figur 48 Bilder fra sjøbunnen i testfelt 3 etter tildekking A) Den sørlige skråningen av tildekkingslaget, B) Den nordlige skråningen av tildekkingslaget, C) og D) Overflaten av tildekkingslaget.

### 8.3.2 Dybdekartlegging

Det ble ikke utført førmålinger i testfelt 3 siden arbeidet i testfelt 3 ikke var planlagt i forkant av testtildekkingen. Det ble imidlertid utført 2 runder med dybdemålinger med multistråle ekkolodd i etterkant av utleggingen av massene i dette testfeltet. En sammenligning av resultatene er vist i Figur 49. Siden det ikke ble utført noen tiltak på sjøbunnen mellom tidspunktene for de to ettermålingene, skulle dybdene fra de to målerundene i teorien være like. De store avvikene i både positiv og negativ retning viser imidlertid at det har oppstått problemer med innmåling eller prosessering av datasettet.



Figur 49 *Multistråle ekkolodd data fra testfelt 3. Figuren viser en sammenligning mellom de to dybde datasettet innhentet etter testtildekkingen. Det ble ikke utført noe tiltak på sjøbunnen mellom tidspunktet for de to ettermålingene.*

### 8.3.3 Kjemi

Innen fire uker etter ferdig utlegging ble det tatt en prøve av de øverste ca. 10 cm av tildekkingslaget for analyse av miljøgiftkonsentrasjoner. Det var vanskelig å få opp prøvemateriale med grabb fra TBM-massene, og det måtte 8 hogg til for å få opp nok prøvemateriale til en prøve. Resultatene viser at konsentrasjonen av alle miljøgiftene tilsvarer tilstandsklasse I i denne prøven (Tabell 7).

Tabell 7 Konsentrasjoner av miljøgifter i prøver fra den øverste delen av tildekkingslaget i testfelt 3 (TF3) klassifisert etter veileder M-608/2016 (Miljødirektoratet, 2016). Der rapporteringsgrensen er høyere enn tilstandsklasse I er ikke stoffet klassifisert. Se Tabell 2 for fargeskala.

Stoff	Enhet	G7 TF3 (TBM)
As (Arsen)	mg/kg TS	1,48
Pb (Bly)	mg/kg TS	<1.0
Cu (Kopper)	mg/kg TS	1,13
Cr (Krom)	mg/kg TS	4,02
Cd (Kadmium)	mg/kg TS	<0.10
Hg (Kvikksølv)	mg/kg TS	<0.20
Ni (Nikkel)	mg/kg TS	<5.0
Zn (Sink)	mg/kg TS	3,3
Naftalen	µg/kg TS	<10
Acenaftylen	µg/kg TS	<10
Acenaften	µg/kg TS	<10
Fluoren	µg/kg TS	<10
Fenantren	µg/kg TS	<10
Antracen	µg/kg TS	<10
Fluoranten	µg/kg TS	<10
Pyren	µg/kg TS	<10
Benso(a)antracen	µg/kg TS	<10
Krysen	µg/kg TS	<10
Benso(b)fluoranten	µg/kg TS	<10
Benso(k)fluoranten	µg/kg TS	<10
Benso(a)pyren	µg/kg TS	<10
Dibenso(ah)antracen	µg/kg TS	<10
Benso(ghi)perylen	µg/kg TS	<10
Indeno(123cd)pyren	µg/kg TS	<10
Sum PAH-16	µg/kg TS	ikke påvist
Sum PCB-7	µg/kg TS	ikke påvist
Tributyltinnkation (TBT)	µg/kg TS	<1
Tørrstoff (E)	%	65,3
Vanninnhold	%	34,7
TOC	% TS	<1.41

## 8.4 Erfaringer testfelt 3

Pumpingen av TBM-massene til testfelt 3 ble gjennomført uten nevneverdige problemer, og testen viser at det er mulig å legge ut grovkornede masser som TBM med Bostons sitt utleggingsutstyr. Det var ikke mulig å utføre kjerneprøvetaking gjennom tildekkingslaget uten å få inn et mye tyngre kjerneprøvetakingsutstyr enn brukt i de andre testfeltene, men ROV-filmene indikerer at massene er plassert innenfor testfeltet med planlagt tykkelse. Det er planlagt oppfølging av testfeltet spesielt med tanke på rekontaminering av topplaget for å vurdere om feltet må tildekkes ytterligere under tildekkingen av resten sjøbunnen i Store Lungegårdsvann.

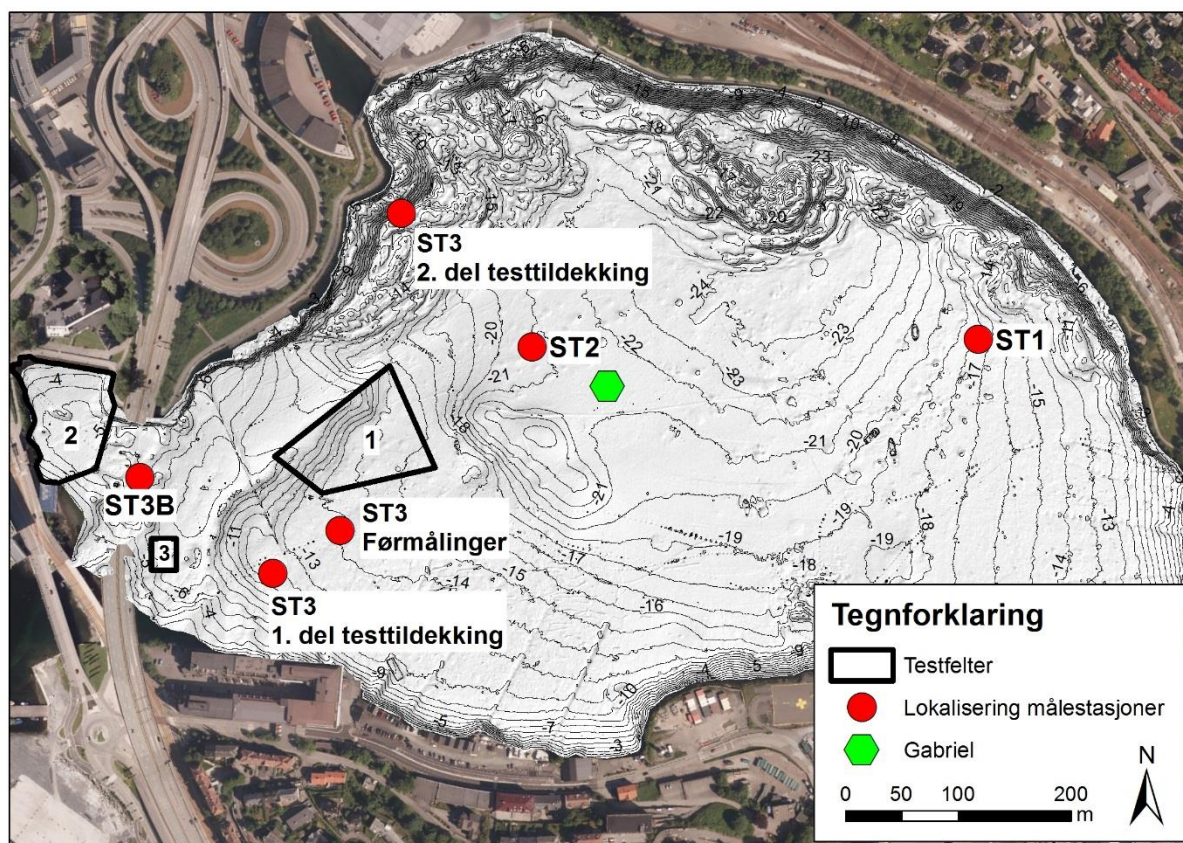
## 9 Overvåkning av spredning av forurensning

Under testtildekkingen (inkludert skrotrydningen) ble det utført overvåkning ved hjelp av to målestasjoner, ST3 og ST3B, med påmontert turbiditetslogger, sedimentfelle(r) og passiv prøvetaker (POM) (Figur 50). Det ble også tatt vannprøver ved disse målestasjonene både før og under testtildekkingen.

Målestasjon ST3 har stått ute siden våren 2016 som del av førmålingsprogrammet som ble gjennomført før oppstarten av tiltaket i Puddefjorden (COWI, 2017a). Resultatene fra målingene utført i forkant av testtildekkingen ved stasjon ST3 er inkludert i resultatene presentert her. Stasjon ST3 var lokalisert rett sør for testfelt 1 under førmålingene, og det ble valgt å flytte denne et stykke mot sørvest før oppstart av testtildekkingen fra lokaliteten merket ST3 (førmålinger) til ST3 (1. del testtildekking) i Figur 50. Stasjon ST3 lå imidlertid fortsatt i veien for entreprenørens rør/utstyr etter flyttingen, og stasjonen ble derfor flyttet nord for testfelt 1 til lokaliteten merket ST3 (2. del testtildekking) i Figur 50 under siste fase av testtildekkingen.

Målestasjon ST3B var utplassert nær utløpet av Store Lungegårdsvann i perioden 18.08.17 – 04.10.17 2017 (Figur 50). Måleperioden dekket både skrotrydningen og testtildekkingen.

Figur 50 viser også lokalitetene til målestasjon ST1 og ST2 som var del av førmålingsprogrammet i 2016. Disse stasjonene stod ikke ute under testtildekkingen, men resultater fra førmålingene ved disse stasjonene er inkludert i dette kapitlet for sammenligning. Lokaliseringen av målestasjonen Gabriel (<http://www.ektedata.no>), som blant annet har påmontert en turbiditetslogger, er også vist i Figur 50.



Figur 50 Oversikt over målestasjoner under testtildekkingen, samt tidligere målestasjoner i Store Lungegårdsvann. Målestasjon ST3B stod ved samme lokalitet under hele testtildekkingen. Målestasjon ST3 måtte flyttes i siste del av testtildekkingen fordi den kom i veien for entreprenørens rør.

## 9.1 Turbiditetsloggere

Det ble foretatt målinger med turbiditetslogger ved målestasjon ST3 og ST3B for å overvåke eventuell spredning av partikler under testtildekkingen (Figur 50). Overvåkingen er gjennomført etter anbefalinger i NS 9433 – Turbiditetsmålinger i sjø (Norsk Standard, 2017), og måleintervallet var satt til 5 minutter. Turbiditetssensorene var plassert ca. 1,5-2 m over sjøbunnen. Målestasjon ST3 og ST3B stod på henholdsvis 13 og 6 m dybde.

Fylkesmannen i Hordaland har satt krav til overvåking av turbiditet og en grenseverdi på 10 FTU over bakgrunn (ca. 2 FTU i Store Lungegårdsvann) i et gjennomsnitt på 20 minutt som styrende for aktivitetene når hovedtiltaket i Store Lungegårdsvann skal startes opp (Fylkesmannen i Hordaland, 2016). Ved overskridelse av grenseverdi på 12 FTU skal man da vurdere tiltak og stanse utleggingen til årsaken til overskridelsen er avklart. For testtildekkingen var det ikke satt noen grenseverdi, og det ble derfor ikke stilt krav til stans i utleggingen ved forhøyde turbiditetsverdier i dette prosjektet.

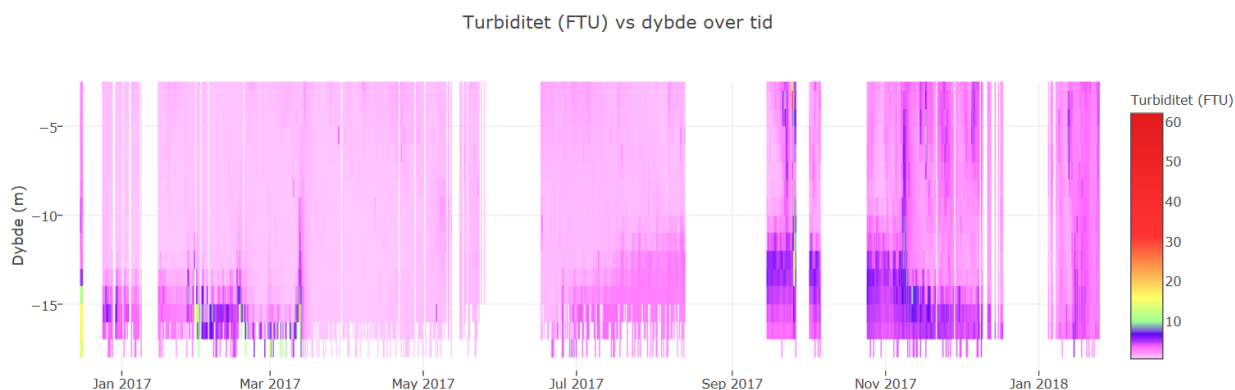
Turbiditetsloggerne ble utplassert i nærheten av testfeltene (Figur 50). I tillegg er målestasjonen [Gabriel](#) lokalisert sentralt i Store Lungegårdsvann som en del av et samarbeid mellom Amalie Skram VGS, Universitetet i Bergen og Bergen Marine Forskningsklynge. Ved denne målestasjonen blir det registrert turbiditet, temperatur og salinitet mellom 0 og 15 m dybde (Figur 50).



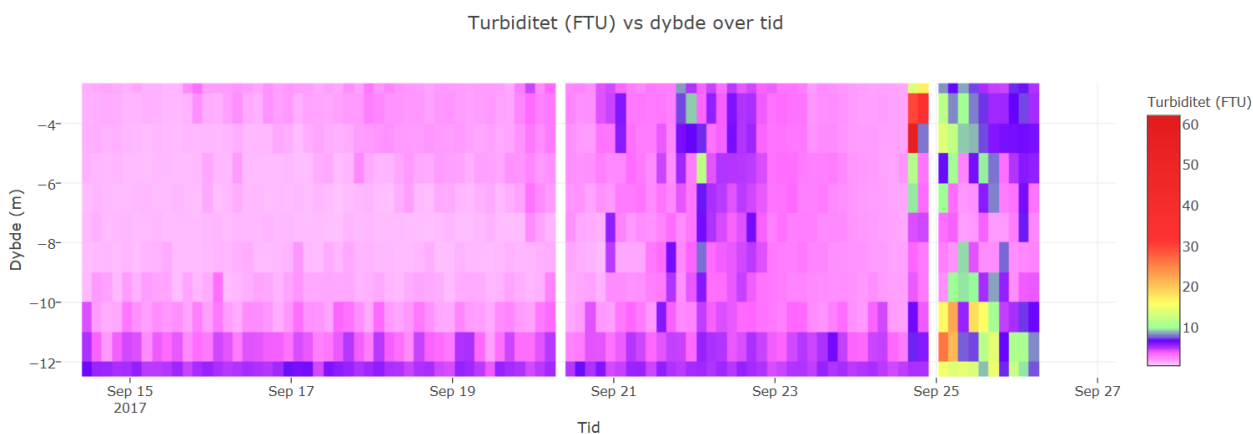
Skrotrydning i testfelt 2 ble gjennomført i perioden 23.08.17-15.09.17 og tildekking i testfelt 2 ble gjennomført i perioden 15.09.17-22.09.17. Tildekking i testfelt 1 ble utført i perioden 24.09.17-25.09.17, mens tildekking i testfelt 3 ble utført den 27.09.17. Det ble i tillegg lagt ut AquaGate+PAC 10% som topplag i deler av testfelt 2 den 26.09.17 og skjellsand i strandsonen i testfelt 2 den 27.09.17.

Figur 51 viser turbiditeten målt ved målestasjonen Gabriel i hele 2017, mens Figur 52 viser turbiditeten ved Gabriel i testtildekkingsperioden. Målingene viser at turbiditeten generelt er lav i Store Lungegårdsvann, men at den varierer noe over tid. Det har foregått en del anleggsaktivitet i og rundt Store Lungegårdsvann de siste årene, og dette kan ha bidratt til å økt turbiditet i enkelte perioder.

I første del av testtildekkingsperioden, mens det pågikk arbeid i testfelt 2, lå turbiditeten ved Gabriel under 12 FTU i alle dybder, men med en liten økning i den øverste delen av vannsøylen i perioden 21.09.17-22.09.17. Turbiditeten økte til opp mot 50 FTU i den øverste delen av vannsøylen på ettermiddagen den 24.09.17, dvs. samme dag som tildekkingen startet opp i testfelt 1. Forhøyde verdier ble registrert den 25.09.17 i hele vannsøylen, mens verdiene sank tilbake under 12 FTU den 26.09.17. Turbiditeten sank først i de øvre delene av vannsøylen, og deretter i de dypere lagene. Det mangler data for den videre perioden ved denne målestasjonen. Den registrerte økningen i turbiditet ved Gabriel samsvarer i tid med tildekkingen i testfelt 1 og er trolig forårsaket av denne.



Figur 51 Plot som viser turbiditet i vannsøylen for 2017 ved målestasjon Gabriel.



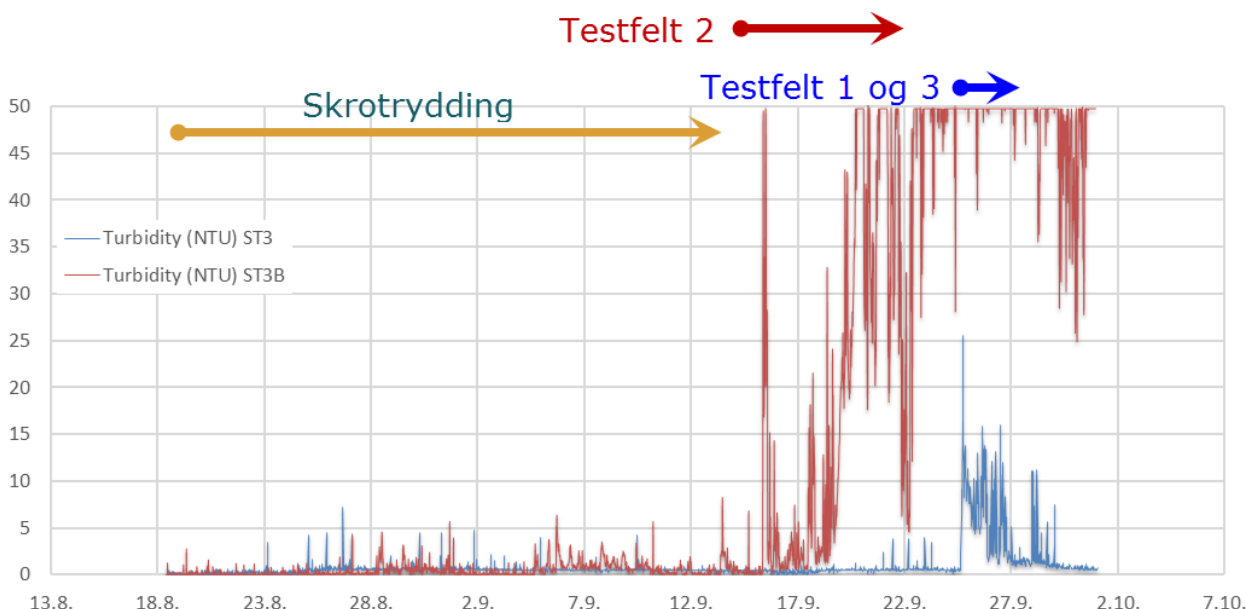
Figur 52 Plot som viser turbiditet i vannsøylen i testtildekkingsperioden ved målestasjon Gabriel.

Figur 53 oppsummerer målingene av turbiditet ved stasjon ST3 og ST3B i perioden 18.08.17–30.10.17. Måleresultatene er vist som gjennomsnittlige verdier over 20 minutt.

Turbiditeten ved ST3B lå under 12 FTU i perioden med skrotrydding i testfelt 2, mens verdiene økte opp mot 50 FTU i en kort periode rett etter oppstart av tildekking i testfelt 2 (Figur 53). Turbiditetsverdiene varierte en del over de neste to dagene, men fra 19.09.17 lå verdiene konstant høyt med unntak av en kort periode den 22.09.17. ST3B var plassert kun 40 m fra testfelt 2 nær utøpet av Store Lungegårdsvann, og det ble observert tydelig blakket vann i området under tildekkingen i testfelt 2. Ved fjærende sjø har trolig turbiditeten ved denne stasjonen også blitt påvirket av utleggingen i testfelt 1 og 3. Observasjoner ved denne målestasjonen etter fullført tildekking i alle testfeltene tyder imidlertid ikke på at det var mye suspendert stoff i vannet, mens måleresultatene viste rundt 40-50 FTU helt til denne målestasjonen ble tatt opp i begynnelsen av oktober. Det er mistanke om at de høye turbiditetsverdiene ved målestasjon ST3B kan vært forårsaket av andre faktorer enn suspendert stoff i vannet, eksempelvis at noe har festet seg til sensoren eller at den berørte ankerfester eller lignende.

Turbiditeten ved ST3 nær testfelt 1 var generelt lav, stabil og under 12 NTU i perioden tildekkingen pågikk i testfelt 2, mens verdiene økte opp til 25 NTU om ettermiddagen den 24.09.2017 etter oppstart av tildekking i testfelt 1 (Figur 53). Også den 25.09.17 ble det registrert turbiditetsverdier over 12 FTU i et gjennomsnitt på 20 minutter. De forhøyde turbiditetsverdiene sammenfaller i tid med utleggingsaktiviteten og samsvarer også med resultatene fra målestasjonen Gabriel.

Turbiditetsmålingene ved stasjon ST3, ST3B og Gabriel indikerer at utleggingen av tildekkingsmassene har medført noe spredning av partikler i vannmassene utenfor testfeltene som har forårsaket midlertidig forhøyet turbiditet ved målestasjonene.



Figur 53 Målt turbiditet ved ST3 nær testfelt 1 og ved ST3B nær testfelt 2 vist med 20 minutters gjennomsnittsverdier.

## 9.2 Sedimentfeller

Sedimentfeller fanger partikler som transporteres med vannmassene, og metoden benyttes for å måle mengde og type partikkelbundet forurensning som spres i et område over tid. Sedimentet fra fellene samles inn etter endt eksponeringstid og analyseres for total mengde tørrstoff og innhold av aktuelle miljøgifter. Analyseresultatene for materialet som ble samlet i sedimentfellene ved ST3 og ST3B under testtildekkingen ble sammenlignet med resultater fra målinger utført i området før testtildekkingsperioden for å vurdere om testtildekkingen kan ha forårsaket oppvirvling av forurenset sjøbunn og dermed økt spredning av partikkelbåret forurensning i forhold til situasjonen før testtildekkingen.

Målestasjon ST3 har vært utplassert i Store Lungegårdsvann siden våren 2016 som del av førmålingsprogrammet som ble gjennomført før oppstarten av tiltaket i Puddefjorden (COWI, 2017a). Målestasjonen har stått på ca. 13 m vanddyb hvor det har vært påmontert 2-3 sedimentfeller for å skaffe informasjon om spredning av partikler i ulike vanddyb; nivå 1 med røråpning ca. 1,5 m over sjøbunn (ST3-1), nivå 2 med røråpning ca. 8 m over sjøbunnen (ST3-2) og nivå 3 med røråpning ca. 2 m under vannoverflaten (ST3-3). I august 2017 ble den midterste sedimentfellen (ST3-2) fjernet siden den ble stående svært nær den øverste sedimentfellen ved lavvann. Totalt er det samlet inn sedimentfelledata fra 5 måleperioder i forkant av testtildekkingen ved denne stasjonen i tillegg til fra testtildekkingsperioden (18.08.17-04.10.17 – dekker også perioden hvor det pågikk skrottrydning) (Tabell 8).

Målestasjon ST3B, som ble utplassert i august 2017, stod på 6 m vanddyb og hadde påmontert en sedimentfelle med røråpning ca. 1,5 m over sjøbunnen. Denne målestasjonen stod kun ute under testtildekkingsperioden, og det er ikke samlet inn sedimentfelledata fra tidligere perioder ved denne lokaliteten. I alle sedimentfellene ble det brukt 4 rør a Ø72 mm (innvendig diameter) og totalareal 162,7 cm<sup>2</sup>.

Prøvene fra sedimentfellene ble analysert ved det akkrediterte laboratoriet Eurofins AS. Laboratoriet tørket prøvene i romtemperatur. Deretter ble de veid for å bestemme total mengde prøvemateriale (g TS) før uttak av tilstrekkelig materiale til ulike kjemiske analyser. Denne metoden gav mye informasjon til tross for at prøvemengdene var små. Prøvene ble analysert for innhold av PCB<sub>7</sub> og metallene arsen, bly, kadmium, kobber, krom, kvikksølv, nikkel og sink. Enkelte prøver ble også analysert for innhold av PAH<sub>16</sub> og TBT dersom prøvemengden tillot dette.

Tabell 8 oppsummerer analyseresultatene for materialet i sedimentfellene. Resultatene er klassifisert etter Miljødirektoratets tilstandsklasser for sediment gitt i veileder M-608/2016 (Tabell 2) (Miljødirektoratet, 2016).

Tabell 8 Analyseresultater klassifisert etter klassifiseringssystemet gitt i veileder M-608/2016 (Miljødirektoratet, 2016). Stasjon ST3 hadde påmontert to sedimentfeller i periodene "Vår 2016" og "Testtildekking". I perioden "Sommer 2017" hadde målestasjonen tre sedimentfeller, men rørene i den øverste sedimentfellen var så begrodd med blåskjell at de hadde vellet. Se Tabell 2 for fargeskala.

Stasjon 3		Vår 2016		Sommer 2016			Høst 2016		
		10.03.16 - 01.06.16		01.06.16-04.08.16			04.08.16-03.11.16		
Prøvereferanse	Enhet	ST3-1	ST3-2	ST3-1	ST3-2	ST3-3	ST3-1	ST3-2	ST3-3
Eksponeeringstid	uker	11,7	11,7	9	9	9	13	13	13
Prøvemengde	g TS	ikke målt	ikke målt	6,0	9,0	9,0	7,9	7,1	8,7
Sedimentasjon	gTS/m <sup>2</sup> uke	ikke målt	ikke målt	41,0	61,4	61,4	37,2	33,6	41,3
Arsen (As)	mg/kg	9,6	2,6	6,1	5,6	7,1	12,0	15,0	16,0
Bly (Pb)	mg/kg	48	17	36	39	44	110	130	72
Kadmium (Cd)	mg/kg	0,26	0,07	0,26	0,46	0,23	0,87	0,85	0,39
Kobber (Cu)	mg/kg	48	14	50	60	67	170	170	110
Krom (Cr)	mg/kg	19	4,8	13	13	15	66	52	34
Kvikksølv (Hg)	mg/kg	0,342	0,111	0,458	0,338	0,264	1,03	0,82	0,523
Nikkel (Ni)	mg/kg	6,8	4,6	6,9	7,3	10	44	25	22
Sink (Zn)	mg/kg	130	45	120	200	240	320	350	270
Sum PCB <sub>7</sub>	µg/kg TS	9,6	ikke påvist	16,3	22,7	17,6	44,8	58,8	28,4
Sum PAH <sub>16</sub> *	µg/kg TS								
TBT*	µg/kg TS						230		170
Stasjon 3		Vinter 2016/17			Sommer 2017		Testtildekking		
		03.11.16 - 14.02.17			03.05.17-18.08.17		18.08.17-04.10.17		
Prøvereferanse	Enhet	ST3-1	ST3-2	ST3-3	ST3-1	ST3-2	ST3-1	ST3-3	ST3B
Eksponeeringstid	Uker	14,7	14,7	14,7	15,3	15,3	6,7	6,7	6,7
Prøvemengde	g TS	5	3,6	2,2	7,9	11,2	16,3	8,1	21,7
Sedimentasjon	gTS/m <sup>2</sup> uke	21,0	15,0	12,0	32,0	45,0	150,0	74,0	199,0
Arsen (As)	mg/kg	19	17	14	14	7,6	5,6	5,1	5,2
Bly (Pb)	mg/kg	130	100	72	69	49	25	24	33
Kadmium (Cd)	mg/kg	0,94	0,50	0,20	0,55	0,38	0,29	0,19	0,31
Kobber (Cu)	mg/kg	180	140	100	94	65	45	36	44
Krom (Cr)	mg/kg	62	41	35	28	20	16	12	14
Kvikksølv (Hg)	mg/kg	1,38	0,504	0,313	0,492	0,255	0,223	0,134	0,205
Nikkel (Ni)	mg/kg	31	31	26	17	15	10	9,6	9,2
Sink (Zn)	mg/kg	600	750	260	250	330	130	170	100
Sum PCB <sub>7</sub>	µg/kg TS	97,0			29,8	19,0	12,6	8,83	10,3
Sum PAH <sub>16</sub> *	µg/kg TS				2040	1120	948	585	1300
TBT*	µg/kg TS				340	180			

\* Klassifisert etter veileder TA-2229/2007 siden det ikke er gitt grenseverdier for disse parameterne i gjeldende veileder M-608/2016.

Resultatene viser noe variasjon i forurensningsgrad av sedimentert materiale både mellom forskjellige måleperioder og mellom ulike nivåer i vannmassene (Tabell 8). Det er generelt påvist høyest forurensningsgrad for parameterne kobber, kvikksølv, PCB og TBT i sedimentfelle materialet tilsvarende tilstandsklasse 4 (dårlig) og 5 (svært dårlig) for sedimenter. Forurensningsgraden er lavest i testtildekkingsperioden og de to første måleperiodene, mens de høyeste verdiene ble målt høsten 2016.

Det er hovedsakelig tre mulige kilder til materialet i sedimentfellene; i) avrenning fra land, ii) oppvirvling av forurenset sjøbunn som følge av naturlig strøm, båttrafikk eller anleggsarbeid (utfyllings- og tildekkingsaktivitet, arbeid med sjøledninger, etc.) og iii) rene masser fra tildekkings/utfyllingsaktivitet.

Fra land kan partikkelbundet forurensning spres med overflateavrenning, overvann og overløp fra avløp nett. Avrenning fra veier, fasader og tette flater vasker med seg forurensning. Noe av dette

sedimenterer i sandfangskummer, og noe fraktes videre med overvann mot sjø. Bergen kommune har kartlagt miljøgifter i sandfangsmateriale i overvannssystemet langs Puddefjorden og funnet at dette inneholder mange av de samme miljøgiftene som sjøbunnen i Puddefjorden og Store Lungegårdsvann (COWI, 2017b). Sandfangsmaterialet har blant annet høyt innhold av PCB<sub>7</sub>, og overvann ansees som en aktiv kilde til spredning av PCB til sjøområdene.

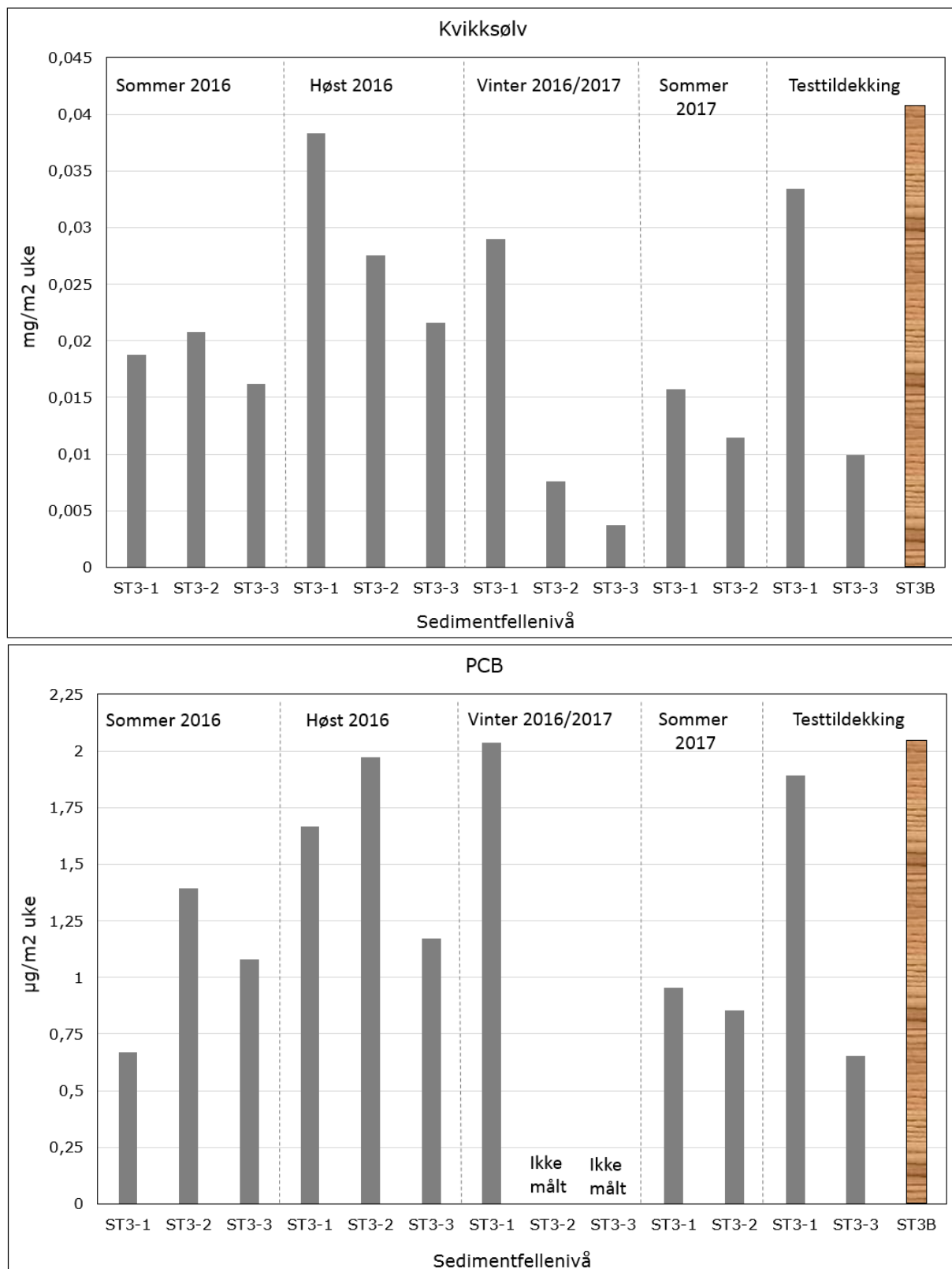
Det har foregått en del anleggsaktivitet i og rundt Store Lungegårdsvann siden sedimentfellemålingene ble startet våren 2016. Statens vegvesen gjennomførte en utfylling ved Nygårdstangen på nordsiden av Store Lungegårdsvann i perioden vår/sommer 2016 - vinter 2016. BKK Varme la en ny vannledning gjennom Store Lungegårdsvann vår/sommer 2017. Bybanekontoret startet sitt utfyllingsarbeid langs den nord-nordøstlige delen av Store Lungegårdsvann i juni 2017, og dette arbeidet skal pågå i flere år fremover. Renere Puddefjord startet tildekking av forurenset sjøbunn i området rett utenfor Nygårdsbroene i august 2017. Dette arbeidet skal fortsette ut 2018, men arbeidet vil flyttes lenger utover i Puddefjorden mot slutten av perioden. Skrotrydning og testtildekking i Store Lungegårdsvann ble gjennomført i regi av Renere Havn Bergen i august og september 2017.

I motsetning til sjøbunnen i Store Lungegårdsvann og Puddefjorden, som er sterkt forurenset av kvikksølv, har kartlegging av sandfangsmateriale på land vist lavt innhold av dette metallet. Kvikksølv kan dermed benyttes som en indikator på oppvirling av sediment fra sjøbunnen. Resultatene i Tabell 8 viser en økning i kvikksølvkonsentrasjonen i alle tre nivåene i vannsøylen høsten 2016, samt høye kvikksølv-verdier i det nederste sedimentfelle-nivået vinteren 2016/2017. Dette indikerer at oppvirling forurenset sjøbunn i disse periodene utgjør en større andel av sedimentfelle materialet enn i de andre periodene da kvikksølv-konsentrasjonene var relativt lave. Dette kan enten komme av en økning i oppvirling av forurenset sjøbunn eller en reduksjon i tilførsel av materiale med lavere kvikksølv-konsentrasjoner enn påvist i sjøbunnen i forhold til de andre periodene.

Tabell 8 oppgir også mengde sedimentert materiale per sedimentfelle i hver måleperiode gitt i gram tørrstoff (TS) per m<sup>2</sup> per uke. Resultatene viser sesongvariasjoner med generelt mindre sedimentasjon i fellene om vinteren enn om sommeren. Testtildekkingen medførte en spesielt høy sedimentasjon da sedimentfellene sannsynligvis har fanget opp rene tildekkingsmasser i denne perioden.

For å undersøke variasjonen i mengde av hver miljøgift som blir fanget i sedimentfellene og som dermed potensielt kan spres fra området, er det viktig å sammenstille totalmengde materiale i hver felle med konsentrasjonen av miljøgiftene i materialet. Figur 54 viser denne sammenhengen for kvikksølv og PCB. For målestasjon ST3, der man har førmålinger, viser figuren at størst mengde av kvikksølv og PCB er påvist i den nederste sedimentfellen henholdsvis høsten 2016 og vinteren 2016/2017. Det er imidlertid viktig å merke seg at i perioder med mye sedimentasjon, kan mengden av hver miljøgift bli relativt høy selv om konsentrasjonen av miljøgiften i materialet er relativt lav. Et eksempel på dette er resultatene fra testtildekkingsperioden der både kvikksølv- og PCB-konsentrasjonen er blant de laveste som er registrert, men den høye sedimentasjonsraten betyr at mengden av kvikksølv og PCB er blant de høyeste (Figur 54). Mengden kvikksølv og PCB i sedimentfellene ved stasjon ST3 under testtildekkingen overstiger imidlertid ikke nivåene som er registrert i enkelte tidligere måleperioder, og dette tyder på at testtildekkingen ikke har forårsaket økt spredning av partikkelbåret forurensning i forhold til situasjonen før testtildekkingen.

Det er ikke gjennomført førmålinger ved stasjon ST3B, og resultatene fra denne målestasjonen kan ikke nødvendigvis sammenlignes direkte med førmålingene utført ved ST3. Men Figur 54 viser at mengden kvikksølv og PCB registrert ved stasjon ST3B under testtildekkingen (brun stolpe) ligger omtrent på samme nivå som verdiene registrert ved stasjon ST3.



Figur 54 Mengde kvikksølv i mg (over) og PCB i  $\mu\text{g}$  (under) i sedimentfellene per  $\text{m}^2$  per uke. ST3-1 = nederste nivå; ST3-2 = midterste nivå; ST3-3 = øverste nivå. Det er ikke utført førmålinger ved stasjon ST3B (står på nederste nivå). Se Figur 50 for lokalitetsoversikt.

### 9.3 Passive prøvetakere (POM)

POM (PolyOxyMetylen) er en passiv prøvetaker som består av et plastmateriale som over tid oppnår likevekt med organiske miljøgifter i vannet den eksponeres for. Ved å måle innholdet i POM, og benytte etablerte fordelingskoeffisienter mellom POM og sjøvann, kan man beregne konsentrasjonene av organiske miljøgifter i vannet prøvetakeren har vært eksponert for. POM er en robust prøvetaker, og metoden gjør det mulig å kvantifisere svært lave konsentrasjoner av blant annet PAH og PCB. Innholdet av miljøgifter i prøvetakeren representerer vannkvaliteten som prøvetakeren var eksponert for de siste 4 ukene.

Under testtildekkingen ble POM-55 plassert 1,5 m over sjøbunnen ved målestasjon ST3 og ST3B og eksponert i perioden 18.08.17-04.10.17. De innsamlede prøvetakere ble oppbevart mørkt og kjølig i egnet emballasje fram til levering på laboratorium. Prøvetakerene ble analysert for PCB<sub>7</sub> og PAH<sub>16</sub>. Analysene ble utført hos NGI.

Resultatene for PCB<sub>7</sub> og PAH<sub>16</sub> målt med POM under testtildekkingen er vist i Tabell 9 sammen med resultater fra målinger utført med POM ved stasjon ST1, ST2 og ST3 i 2016 (COWI, 2017a). Resultatene fra målingene ved ST1 og ST2 i 2016 er tatt med for å gi et mer utfyllende bilde av nivåene av organiske miljøgifter i Store Lungegårdsvann selv om det ikke ble utført målinger ved disse lokalitetene under testtildekkingen. Alle målingene ble utført med plassering av POM 1,5 m over sjøbunnen.

Resultatene gitt i Tabell 9 er sammenliknet med Miljødirektoratets tilstandsklasser og miljøkvalitetsstandarder for kystvann gitt i veileder M-608/2016 (Tabell 2) (Miljødirektoratet, 2016). Resultatene viser at konsentrasjonen av enkeltforbindelser av PAH er i tilstandsklasse II (god) eller tilstandsklasse I (bakgrunn) for alle lokalitetene og måleperiodene. For PCB i kystvann er det ikke angitt tilstandsklasser i Miljødirektoratets veileder. PCB<sub>7</sub>-konsentrasjonene registrert i Store Lungegårdsvann varierer mellom 0,0084 – 0,0318 ng/l. Laboratoriet oppgir måleusikkerheten i analyseresultatene til å være 10-20 %.

For stasjon ST3, der det er gjennomført målinger både i 2016 og under testtildekkingen, viser resultatene noe høyere verdier for enkelte av PAH-forbindelsene for testtildekkingsperioden sammenlignet med førmålingene, mens andre PAH-forbindelser viser noe lavere verdier for testtildekkingsperioden. Resultatene for PCB kongene viser samme mønster med høyere verdier for enkelte PCB kongener og lavere verdier for andre PCB kongener for testtildekkingsperioden sammenlignet med førmålingene. PCB<sub>7</sub>-verdien for stasjon ST3 i testtildekkingsperioden er den laveste som er registrert av alle målingene i Store Lungegårdsvann.

Resultatene indikerer at testtildekkingen ikke medførte noen økning i konsentrasjonen av sum PAH<sub>16</sub> og sum PCB<sub>7</sub> sammenlignet med førmålingene, og konsentrasjonene av enkeltforbindelser målt under testtildekkingen ligger innenfor akseptable nivåer med tanke på vannkvalitet.

Tabell 9 Resultater fra målinger med POM ved stasjon ST3 og ST3B under testtildekkingen, samt resultater fra førmålinger ved stasjon ST1, ST2 og ST3. Det er ikke utført førmålinger ved stasjon ST3B. Se Figur 50 for lokalitetsoversikt. Se Tabell 2 for fargeskala.

ng/l		Målinger før testtildekking (2016)						Testtildekking (2017)	
		ST-1		ST-2		ST-3		ST-3	ST-3B
		juli-aug	aug-sept	juli-aug	aug-sept	juli-aug	aug-sept	aug-sept	aug-sept
PAH	Naftalen	17,38	1277,18	8,95	79,18	6,15	42,38	16,3	9,87
	Acenaftalen	0,1203	0,4905	0,1063	0,3493	0,1525	0,3339	0,818	0,340
	Acenaften	1,1217	3,2048	1,0439	3,6216	0,9869	3,1492	1,26	0,384
	Fluoren	1,1592	2,0295	1,1005	3,3197	1,0417	2,6313	2,05	0,754
	Fenantren	1,3225	2,5616	2,3382	2,7558	1,5293	2,6252	5,06	2,00
	Antracen	0,0537	0,0502	0,0553	0,0817	0,0411	0,0762	0,808	0,190
	Fluoranten	0,2629	0,2853	0,4670	0,3261	0,2397	0,5428	1,97	1,07
	Pyren	0,2419	0,3351	0,4411	0,3103	0,2718	0,5568	3,75	1,54
	Benzo(a)antracen	0,0043	0,0030	0,0054	0,0044	0,0038	0,0061	0,216	0,123
	Krysen	0,0107	0,0364	0,0125	0,0098	0,0092	0,0157	0,3680	0,2490
	Benzo(b)fluoranten*							0,0746	0,0778
	Benzo(k)fluoranten*							0,1140	0,0883
	Benzo(a)pyren	0,0004	0,0000	0,0005	0,0004	0,0006	0,0012	0,0487	0,0528
	Indeno(1,2,3cd)perylene	0,0004	0,0000	0,0004	0,0002	0,0005	0,0007	0,0178	0,0204
	Dibenso(ah)antracen	0,0001	0,0000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	0,0000	0,0075
	Benzo(g,h,i)perylene	0,0005	0,0000	0,0005	0,0004	0,0006	0,0009	0,0143	0,0113
Sum PAH16	<b>21,68</b>	<b>1286,18</b>	<b>14,52</b>	<b>89,96</b>	<b>10,42</b>	<b>52,32</b>	<b>32,80</b>	<b>16,80</b>	
PCB	PCB-028	0,0006	0,0015	0,0014	0,0015	0,0009	0,0018	0,0027	0,0040
	PCB-052	0,0247	0,0144	0,0262	0,0182	0,0301	0,0231	0,0047	0,0127
	PCB-101	0,0003	0,0004	0,0005	0,0004	0,0005	0,0009	0,0000	0,0000
	PCB-118	0,0001	0,0000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	0,0000	0,0000
	PCB-138	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001	0,0001	0,0000	0,0002
	PCB-153	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	PCB-180	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0008	0,0003
	Sum PCB7	<b>0,0257</b>	<b>0,0163</b>	<b>0,0284</b>	<b>0,0202</b>	<b>0,0318</b>	<b>0,0262</b>	<b>0,0084</b>	<b>0,0174</b>

\* ikke oppgitt i analysebevis fra 2016

## 9.4 Vannprøver

Vannprøver gir et øyeblikksbilde av vannkvaliteten og fanger opp både løst og partikkelbundet forurensning. Partikler kan tilføres vannsøylen gjennom oppvirvling av sjøbunnen, tilførsel fra land og gjennom utlegging av tildekkingsmateriale. Det ble samlet inn vannprøver både som del av førmålingsprogrammet i 2016 og rett før og under testtildekkingen. Under testtildekkingen ble det tatt vannprøver ved målestasjon ST3 og ST3B, samt innenfor testfeltene rett bak dronen mens utleggingen pågikk. Alle vannprøver ble hentet fra 1,5 meter over sjøbunnen ved hjelp av en Ruttner vannprøvetaker. Prøvene ble oppbevart mørkt og kjølig fram til levering på laboratorium.

Vannprøvene innhentet under testtildekkingen ble analysert for metaller (arsen, bly, kadmium, krom, kobber, kvikksølv, nikkel, sink) og turbiditet. Analysene ble utført av det akkrediterte laboratoriet Eurofins AS. Resultatene fra testtildekkingsperioden og førmålingene er oppsummert i Tabell 10. Resultatene er sammenliknet med Miljødirektoratets tilstandsklasser og miljøkvalitetsstandarder for kystvann i M-608/2016 (Tabell 2) (Miljødirektoratet, 2016).



Målingene gjennomført før testtildekkingen viste kvikksølv og sink i tilstandsklasse V (svært dårlig) og kobber i tilstandsklasse IV (dårlig) for minst en av målestasjonene (Tabell 10). Arsen og bly ble målt i konsentrasjoner tilsvarende tilstandsklasse III (moderat) for en eller flere prøver fra alle stasjonene. Det ble kun målt verdier i tilstandsklasse II (god) eller lavere for kadmium, krom og nikkel. For flere av parameterne var det ikke lav nok rapporteringsgrense for analyseresultatene til at det var mulig å klassifisere lavere enn klasse III, og disse er ikke klassifisert/fargelagt i Tabell 10. Vannkvaliteten var relativt lik for prøver som var tatt i samme prøvetakingsrunde, men særlig innhold av kobber, kvikksølv og sink varierte over tid. Turbiditeten i vannprøvene tatt før testtildekkingen var generelt lav med verdier <3 FTU (Tabell 10).

Vannprøvene tatt innenfor testfeltene rett bak dronen under testtildekkingen hadde turbiditetsverdier på 85 FTU og høyere (Tabell 10). Disse prøvene var også synlig blakket. Vannprøvene innhentet ved stasjon ST3 og ST3B under testtildekkingen ble tatt ved oppstarten av utleggingen og viste relativt lave turbiditetsverdier. Turbiditetsverdiene ville trolig vært noe høyere i vannprøver fra disse lokalitetene etter at utleggingen hadde pågått en stund (jfr. resultatene fra turbiditetsloggerne).

Analysene viste at prøvene med høy turbiditet tatt rett bak dronen under testtildekkingen gjennomgående hadde noe høyere konsentrasjoner av bly og kobber enn prøvene tatt utenfor testfeltene (Tabell 10). Konsentrasjonene for disse stoffene var likevel lavere enn de høyeste verdiene målt før testtildekkingen. Når man vurderer analyseresultatene for sink for perioden både før og under testtildekkingen, er det ingen klar korrelasjon mellom turbiditet og sink-konsentrasjon, og den høyeste sink-verdien målt i Store Lungegårdsvann var ved stasjon 1 i juni 2016. Sjøbunnen i Store Lungegårdsvann er sterkt forurenset av kvikksølv, men det ble ikke målt kvikksølv-verdier over rapporteringsgrensen under testtildekkingen, selv ikke i vannprøver tatt 1,5 m over sjøbunnen noen få meter bak dronen under utlegging. Resultatene indikerer at utleggingen av sand over sjøbunnen ikke har medført noen oppvirvling av forurenset sjøbunn av betydning og at økningen i konsentrasjonen av bly og kobber i vannprøvene tatt rett bak dronen kan være relatert til partiklene fra tildekkingsmassene.

Samlet sett tyder resultatene på at vannkvaliteten under testtildekkingen ikke ble forverret sett i forhold til vannkvaliteten registrert under førmålingsprogrammet.

Tabell 10 Resultater av vannprøver tatt i Store Lungegårdsvann før og under testtildekkingen. Resultatene er klassifisert etter Miljødirektoratets tilstandsklasser for kystvann i M-608/2016 (Miljødirektoratet, 2016). Se Tabell 2 for fargeskala. Der konsentrasjonen er under rapporteringsgrensen og grensen er høyere enn tilstandsklasse 2 er tilstandsklassen ikke bestemt/fargelagt. Se Figur 50 for lokalitetsoversikt.

ID	Prøvelokalitet	Arsen µg/l	Bly µg/l	Kadmium µg/l	Krom µg/l	Kobber µg/l	Kvikksølv µg/l	Nikkel µg/l	Sink µg/l	Turbiditet ftu
<b>Før testtildekking</b>										
ST-1	Ved st. 1 (juni 2016)*	1	1,4	< 0,2	< 1	< 3	< 0,05	< 2	98	
ST-1	Ved st. 1 (juni 2016)	1,9	2,6	< 0,05	0,8	< 1	< 0,05	< 1	110	0,99
ST-2	Ved st. 2 (juni 2016)*	2	2,6	< 0,2	< 1	< 3	< 0,05	< 2	3	
ST-2	Ved st. 2 (juni 2016)	2	5,4	< 0,05	1	< 1	< 0,05	< 1	< 5	0,34
ST-3	Ved st. 3 (juni 2016)*	1	1,3	< 0,2	< 1	3	< 0,05	< 2	< 2	
ST-3	Ved st. 3 (juni 2016)	1,6	3,5	< 0,05	0,8	< 1	< 0,05	< 1	< 5	0,49
ST-1	Ved st. 1 (aug. 2016)	2,3	1,9	< 0,05	1,1	< 1	0,28	4,3	< 5	2,4
ST-2	Ved st. 2 (aug. 2016)	2,3	1,4	< 0,05	1	1,9	0,19	< 1	< 5	1,8
ST-3	Ved st. 3 (aug. 2016)	1,9	1,1	< 0,05	1,2	1,9	0,17	< 1	< 5	1,3
ST-1	Ved st. 1 (nov. 2016)	3,4	< 0,2	< 0,2	1,2	3,3	< 0,05	< 2	4	1,8
ST-2	Ved st. 2 (nov. 2016)	3,5	< 0,2	< 0,2	1,2	3,6	< 0,05	< 2	< 2	2,2
ST-3	Ved st. 3 (nov. 2016)	2,7	0,3	< 0,2	1,5	5,2	< 0,05	< 2	5,6	2,9
SL-3	Ved st. 3 (aug. 2017)	1,7	< 0,2	< 0,2	< 1	< 0,5	< 0,05	< 2	< 2	2,8
SL-3B	Ved st. 3B (aug. 2017)	1,3	0,37	< 0,2	< 1	< 0,5	< 0,05	< 2	3,4	0,37
<b>Prøver tatt under utlegging av første tildekkingslag i testfelt 2 (skjellsand), 15. sept. 2017</b>										
TD1	Ved st. 3B	1,4	0,66	< 0,2	< 1	2,3	< 0,05	< 2	14	0,62
TD2	Rett bak drone	1,9	1,5	< 0,2	< 1	3,2	< 0,05	< 2	15	120
TD3	Rett bak drone	1,7	1,4	< 0,2	< 1	3,6	< 0,05	< 2	17	85
TD4	I testfeltet ca. 3 t etter utlegg.	1,3	0,96	< 0,2	< 1	1,1	< 0,05	< 2	25	28
<b>Prøver tatt under utlegging av første tildekkingslag i testfelt 1A (skjellsand), 24. sept. 2017</b>										
TD5	Rett bak drone	2,1	1,9	< 0,2	1	1,9	< 0,05	3	21	> 100
TD6	Rett bak drone	1,6	1,9	< 0,2	1,2	3	< 0,05	4,7	39	> 100
TD7	Ved St. 3	1,3	0,75	< 0,2	< 1	1,2	< 0,05	< 2	11	0,97
TD8	Ved St. 3B	1,3	0,72	< 0,2	< 1	1,2	< 0,05	< 2	13	0,88
<b>Prøver tatt under utlegging av første tildekkingslag i testfelt 1B og 1C (min. sand), 24. sept. 2017</b>										
TD9	Under Nygårdsbro	1,3	0,4	< 0,2	< 1	1	< 0,05	< 2	9,2	7,3
TD10	Rett bak drone	2,1	2,4	< 0,2	1,9	1,9	< 0,05	4,9	26	> 100
TD11	Ved St. 3	2,8	0,42	< 0,2	< 1	< 0,5	< 0,05	< 2	11	10
TD12	Rett bak drone	2,3	1,9	< 0,2	3,5	2,8	< 0,05	4	27	> 100

\* Filtrert prøve

## 9.5 Erfaringer overvåking

Førmålingsprogrammet som ble gjennomført før oppstarten av tiltaket i Puddefjorden (COWI, 2017a) har gitt et godt datagrunnlag som beskriver forholdene i Store Lungegårdsvann før testtildekkingen. I tillegg til kontinuerlige turbiditetsmålinger, er analyser av sedimentfellemateriale, vannprøver og passive prøvetakere (POM) gjennomført mellom 3-5 ganger til forskjellige årstider før testtildekkingen. Hovedformålet med overvåkningsprogrammet gjennomført under testtildekkingen var å avgjøre om testtildekkingen har medført en økning i partikkelbåret forurensning eller forverring av vannkvaliteten i området, og i så fall foreslå avbøtende tiltak som bør iverksettes under

tildekkingen av resten av sjøbunnen i Store Lungegårdsvann. I den sammenheng er det svært nyttig å ha slike serier av førmålingsdata og ikke kun data fra et måletidspunkt som ikke kan si noe om for eksempel årstidsvariasjoner.

Samlet sett tyder resultatene fra overvåkingen på at testtildekkingen ikke har forårsaket økt spredning av partikkelbåret forurensning eller forverret vannkvalitet med tanke på miljøgifter i Store Lungegårdsvann sett i forhold til situasjonen i Store Lungegårdsvann før testtildekkingen. Noe spredning av partikler fra tildekkingsmassene har testtildekkingen forårsaket, men det finnes ingen vanninntak eller verneverdige marine naturtyper som ikke tåler nedslamming i Store Lungegårdsvann eller omkringliggende område. Det vurderes derfor ikke som nødvendig å benytte siltgardin for hovedtildekkingen av resten av sjøbunnen i Store Lungegårdsvann dersom sandmasser (0/2 mm) og tilsvarende utleggingsmetodikk som brukt i dette prosjektet blir valgt for hovedtiltaket. Basert på overvåkningsdataene bør man også kunne tillate en høyere turbiditetsgrense enn grensen på 10 FTU over bakgrunnsverdi ved et slikt tiltak.

## 10 Konklusjon testtildekking

Store Lungegårdsvann skiller seg fra de andre delområdene i Bergen Havn ved at sjøbunnen i størstedelen av området er svært bløt og at det finnes brattere skråninger enn i de andre delfeltene, samt at tilkomsten til Store Lungegårdsvann er begrenset av Gamle Nygårdsbro. I dette prosjektet ble det testet ut forskjellige tildekkingsmasser, mektigheter og utleggingsmetodikk med fokus på anvendelse på bløte sjøbunnsområder.

Etterkontrollen gjennomført så langt tilsier at det vil være gjennomførbart å etablere en tildekking over den bløte sjøbunnen i Store Lungegårdsvann som tilfredsstiller målet om at forurensningen fra sjøbunnen ikke skal forårsake at miljøgiftkonsentrasjonene i de øverste 10 cm av tildekkingslaget overstiger tilstandsklasse II. Resultatene fra testtildekkingen tyder på at en slik tildekking kan bestå av både ren sand (0/2 mm) (maskinsand eller skjellsand) med tykkelse på ca. 30 cm eller en tynnere variant på ca. 20 cm med aktivt karbon mellom sandlag (0/2 mm). En tildekking bestående av flere sandlag med total tykkelse på ca. 30 cm vil kunne gjennomføres i stor skala på samme måte som under testtildekkingen, med pumping av massene gjennom rør fra fartøy lokalisert utenfor Nygårdsbroene. Dette bør gjennomføres ved utlegging i flere tynne lag fra de dypereliggende delene av sjøbunnen mot de grunnere områdene. En storskala tildekking bestående av sand med et lag av et produkt basert på Aquablok-teknologien, vil kreve etablering av en mer automatisert løsning for utlegging av karbon-materialet enn benyttet i dette prosjektet, mens de rene sandlagene kan legges ut som i testfeltene. Med enkelte forbedringer av metoden benyttet i dette prosjektet, kan også en blanding av pulverisert aktivt karbon, NaCl og saltvann fungere for å etablere et lag av aktivt karbon mellom sandlag i en større skala tildekking.

Med tanke på den begrensede tilkomsten til Store Lungegårdsvann, er pumping av tildekkingsmasser til Store Lungegårdsvann gjennom rør fra fartøy lokalisert utenfor Nygårdsbroene som uttestet i dette prosjektet en godt egnet løsning. Bostons utstyr med forskjellige størrelser på rør/utleggingshode og dronen med nøyaktig GPS-posisjoneringsutstyr gir stor fleksibilitet for utlegging i forskjellig type områder, og det største utleggingsrøret/utleggingshodet har også stor kapasitet. Muligheten til å legge utleggingsrøret gjennom en av åpningene under Gamle Nygårdsbro som ikke er benyttet av båter reduserer også forstyrrelsen for brukerne av området under arbeidet. Kjerneprøvene indikerer at sanden som ble lagt ut med denne metoden har lagt seg over sjøbunnen

med liten (<1 cm) innblanding, noe som tyder på at man har lyktes i å plassere tildekkingsmassene på den bløte sjøbunnen på en skånsom måte.

Samlet sett tyder resultatene fra overvåkingen på at testtildekkingen ikke har forårsaket økt spredning av partikkelbåret forurensning eller forverret vannkvalitet med tanke på miljøgifter i Store Lungegårdsvann sett i forhold til situasjonen i Store Lungegårdsvann før testtildekkingen. Noe spredning av partikler fra de rene tildekkingsmassene har testtildekkingen forårsaket, men det finnes ingen vanninntak eller verneverdige marine naturtyper som ikke tåler nedslamming i Store Lungegårdsvann eller omkringliggende område. Det vurderes derfor ikke som nødvendig å benytte siltgardin når hovedtildekkingen av resten av sjøbunnen i Store Lungegårdsvann skal gjennomføres dersom sandmasser (0/2 mm) og tilsvarende utleggingsmetodikk som brukt i dette prosjektet blir valgt for hovedtiltaket. Basert på overvåkningsdataene bør man også kunne tillate en høyere turbiditetsgrense enn grensen på 10 FTU over bakgrunnsverdi ved et slikt tiltak.

Sentrale spørsmål når det gjelder videre oppfølging av testfeltene er blant annet om tildekkingslagene blir utsatt for erosjon og/eller om det kan oppstå stabilitetsproblemer på grunn av den bløte sjøbunnen og skråningene. I testfelt 2 er det gjennomført bunndyrsundersøkelse i forkant av tildekkingen, og det er planlagt å gjennomføre undersøkelsen på nytt ca. 1 år etter testtildekkingen for å undersøke rekoloniseringen av området. En slik undersøkelse bør også gjentas 5 år etter testtildekkingen. Det er også planlagt å undersøke testfeltene for å avgjøre om det har skjedd rekontaminering av tildekkingslaget slik at testfeltene må tildekkes ytterligere som del av hovedtiltaket.

## 11 Referanser

Bergen Sjøfartsmuseum, 2014. Marinarkeologiske registreringer Store Lungegårdsvann. 2014.

COWI, 2016. Tiltaksplan for forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann, Bergen. Fagrapport, A040950-2016-03.

COWI, 2017a. Forundersøkelse. Spredning av miljøgifter i Puddefjorden og Store Lungegårdsvann. Fagrapport A079577-2017-02.

COWI, 2017b. Forurensning i sandfangsedimenter, overvann og overløp, Damsgård til Verftet. Fagrapport A040950-2016-04.

Fylkesmannen i Hordaland, 2017. Tillatelse til tildekking av forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann i Bergen kommune.

Fishguard, 2017a. Strømmålinger i Store Lungegårdsvann, 29.3.2017 – 8.5.2017. Fagrapport.

Fishguard, 2017b. Marinbiologisk undersøkelse ved Florida i Store Lungegårdsvann 2017. Fagrapport.

Miljødirektoratet, 2015. M-350/2015. Håndtering av sedimenter. Veileder.

Miljødirektoratet, 2016. M-608/2016. Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota. Veileder.

NGI, 2017. Modellering og vurdering av transport i tildekking. Modellering av tykkelse av adveksjonslag og kjemisk isolasjonslag i tildekking av sedimenter i Store Lungegårdsvann. Rapport, 20170362-01-R.

Norconsult, 2014. Store Lungegårdsvann Geoteknisk datarapport, Arna – Bergen, UUT21. 2014.

Norconsult, 2016. Store Lungegårdsvann. Geotekniske forhold i forbindelse med tildekking. 2016.

Parker, 2013. Dybdekartlegging i Store Lungegårdsvann – Bergen. 2013.

Sintef, 2017. Propellstrøm og –erosjon i Store Lungegårdsvann. Notat, 302002396.