

APRIL 2021

# Sluttrapport for prosjektet Ren Indre Horten havn



APRIL 2021

# Sluttrapport for prosjektet Ren Indre Horten havn



VERSJON	UTGIVELSESDATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET	KONTROLLERT	GODKJENT
1.0	11.03.2021	Sluttrapport sendt til bygghette for kommentar	Kirsti Fordal(PEAB) Stine Hagen og Gaute Rørvik Salomonsen (COWI)	Anders Diesen (PEAB) Aud Helland (COWI)	Anders Diesen (PEAB) Håkon Dalen (COWI)
2.0	19.04.2021	Revidert etter kommentarer fra byggherre	Kirsti Fordal (PEAB) Stine Hagen (COWI)	Anders Diesen (PEAB) Gaute Rørvik Salomonsen (COWI)	Anders Diesen (PEAB) Håkon Dalen (COWI)
3.0	26.04.2021	Revidert etter kommentarer fra byggherre. Kapittel 4.1 og 4.4	Kirsti Fordal (PEAB) Stine Hagen (COWI)	Anders Diesen (PEAB) Gaute Rørvik Salomonsen (COWI)	Anders Diesen (PEAB) Håkon Dalen (COWI)

## Sammendrag

Miljømålet for prosjektet med opprydding i forurenset sjøbunn i Horten Indre havn var at den nye sjøbunnen skulle tilfredsstillende tilstandsklasse 2 eller bedre for bly, kvikksølv, PAH<sub>16</sub> og sum PCB<sub>7</sub> etter tiltaket er gjennomført. På lang sikt skal sedimentene minimum tilfredsstillende tilstandsklasse 3 for de overnevnte parameterne.

Tiltakene for å sikre miljømålene i Indre havn Horten har vært mudring og tildekking, samt noe forberedende arbeider. Det er totalt mudret ca. 34 400 m<sup>2</sup> og tildekket ca. 455 000 m<sup>2</sup>. Alle tildekkingsområder er tildekket med to lag rene masser: filterlag og erosjonslag. Det er benyttet forskjellig utstyr og metoder ut ifra situasjonsbetingede forhold på de ulike delområdene. Entreprenør har god erfaring med utstyret som er brukt.

For å tilfredsstillende kravene gitt i vilkår til tillatelsen fra Statsforvalteren (tidligere Fylkesmannen) i Vestfold og Telemark har det blitt gjennomført overvåking av tiltaket i henhold til et prosjektspesifikt kontroll- og overvåkingsprogram. Det har vært gjennomført kontinuerlig overvåking av turbiditet ved bruk av turbiditetsmålere for vurdering av eventuell spredning av partikler under arbeidene. Ved forhøyet turbiditet under anleggsarbeidene har det blitt tatt vannprøver for å dokumentere eventuell spredning av forurensning. I tillegg har det blitt tatt regelmessige vannprøver, og gjennomført overvåking ved bruk av passive prøvetakere og sedimentfeller for å dokumentere henholdsvis biotilgjengelig og partikkelbundet forurensning. Det er gjennomført prøvetaking og kjemiske analyser av mudringsmassene som er deponert i sjødeponiet for dokumentasjon av massenes miljøkvalitet, samt utført prøvetakingen og kjemiske analyser av ny sjøbunnen for å bekrefte at den nye sjøbunnen oppfyller Statsforvalterens krav til kjemisk konsentrasjon.

Det er totalt rapportert 49 avvik i prosjektet. De fleste av disse er knyttet til miljøovervåkingen hvor gjengangerne er utfordringer med oppfølging av turbiditetsmåling, samt annet overvåkingsutstyr.

Det er gjennomført beregning av håndtert mengde forurensede masser ved mudring og tildekking i prosjektet Ren Indre havn Horten i henhold til Miljødirektoratets veileder M-831|2017. Beregningene viser at det totalt er håndtert ca. 18,8 tonn bly, 55 kg kadmium, 205 kg kvikksølv, 1 tonn PAH, 15 kg PCB og 67 kg TBT.

Det ble gjennomført en sluttovervåking ved bruk av sedimentfeller, vannprøver og passive prøvetakere etter at anleggsarbeidene var avsluttet. Sediment fra sedimentfellene viste konsentrasjoner av PAH over tilstandsklasse 3, samt flere metallforbindelser i TKL 3. To av målingene er utført rett utenfor tiltaksområdet. Det er derfor viktig å følge opp sedimentasjon innenfor tiltaksområdene under langtidsovervåkingen.

Sluttrapporten er utarbeidet av PEAB med innspill fra COWI.

## INNHALDSFORTEGNELSE

Sammendrag	3
1 Innledning	5
2 Gjennomførte tiltak og erfaringer med utstyr og metode	6
2.1 Organisering av prosjektet	6
2.2 Rivningsarbeid og bygging av ny Sykehuskai	6
2.3 Mudring	7
2.4 Tildekking	11
2.5 UXO	15
2.6 Miljøovervåking	16
2.7 Dokumentasjon av lagtykkelser	19
2.8 Dokumentasjon av kjemisk tilstand på ny sjøbunn	24
3 Overvåking av tiltaket	25
3.1 Plassering av stasjoner	25
3.2 Turbiditet	26
3.3 Analyseresultater	31
3.4 Kjemisk kontroll av masser til deponi	36
3.5 Kontroll av ålegrassområder	36
3.6 Oppsummering av gjennomført overvåking	37
4 Sluttkontroll	38
4.1 Kontroll av mektighet til filterlag og erosjonslag	38
4.2 Kontroll av kjemisk tilstand i filterlag	41
4.3 Oppsummering av gjennomført sluttkontroll	45
4.4 Måloppnåelse	45
5 Avvik, uønskede hendelser og avbøtende tiltak	46
6 Beregnet mengde utvalgte helse- og miljøfarlige stoffer som er håndtert	52
6.1 Metode	52
6.2 Beregningsverktøy i veielder M-831	52
6.3 Inngangsdata	53
6.4 Usikkerheter i beregningene	53
6.5 Total mengde forurensing håndtert	53
7 Referanser	55
8 Vedlegg	56

# 1 Innledning

Gjennom lengre tid har sedimentene i Horten havn blitt forurenset med organiske miljøgifter og metaller som følge av aktivitet i havna. Horten kommune har vedtatt at det skal gjøres tiltak for å forbedre tilstanden i havneområdet. Rehabilitering av forurenset sjøbunn har blitt utført gjennom prosjektet Ren Indre havn Horten og innebærer mudring, deponering av mudringsmasser og tildekking av forurenset sjøbunn i Indre havn i Horten. Oppdragsgiver i prosjektet er Horten Kommune med sterk involvering av Forsvarsbygg i den praktiske gjennomføringen.

Miljømålet for prosjektet med opprydding i forurenset sjøbunn i Horten Indre havn var at den nye sjøbunnen skulle tilfredsstillende tilstandsklasse 2 eller bedre for bly (Pb), kvikksølv (Hg), polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH<sub>16</sub>) og polyklorerte bifenyler (sum PCB<sub>7</sub>) iht. veileder 02:2018<sup>1</sup> etter tiltaket er gjennomført. På lang sikt skal sedimentene minimum tilfredsstillende tilstandsklasse 3 for de overnevnte parameterne (Fylkesmannen i Vestfold og Telemark, 2019).

Prosjekteringen av tiltaket er utført av NGI. Under prosjekteringen ble Horten Indre havn delt opp i delområder etter forurenningstilstand og skipstrafikk (NGI, 2016). Inndelingen og navnettingen på de ulike delområdene er benyttet videre i prosjektet og er listet opp nedenfor. Delområdene 1S, 1M, 2S og 3S omtales videre som HIP.

- > 1S – Horten Verft
- > 1M – Horten Verft
- > 2S – Hovedbassenget
- > 3S – Bromsjordet sør
- > 11 – Stjertebukta
- > 3MN – Bromsjordet
- > 8 – Østøya
- > 6Y – Mellomøya

Prosjektet med rehabilitering av forurenset sjøbunn i Horten Indre havn har pågått i perioden oktober 2019 til desember 2020, samt noe avsluttende overvåkning i januar 2021. Hovedentreprenør har vært PEAB Anlegg. COWI har vært entreprenørs rådgiver på miljø, og har utført arbeid knyttet til miljøovervåkning og -dokumentasjon. Sluttrapporten har som hensikt å oppsummere anleggsarbeidene og det tilhørende miljøarbeidet som er utført. Rapporten er utarbeidet av PEAB med bistand fra COWI.

---

<sup>1</sup> I veileder 02:2018 (Direktoratsgruppen vanddirektivet, 2018) er det tilstandsklasser for prioriterte stoffer og vannregionspesifikke stoffer etter EQS-systemet (environmental quality standard, eller miljøkvalitetsstandard), hvor tilstanden oppgis i "god" eller "ikke god tilstand" i henhold til vannforskriften. Tabeller med 5-delte tilstandsklasser er per oktober 2020 tatt ut av veileder 02:2018, og finnes i veilder M-608 (Miljødirektoratet, 2016).

## 2 Gjennomførte tiltak og erfaringer med utstyr og metode

### 2.1 Organisering av prosjektet

Prosjektet ble gjennomført som en utførelsesentreprise etter NS8405 hvor PEAB var entreprenør. PEAB fungerte som prosjektledelse og styringsenhet, mens kontraherte underentreprenører med spesialkompetanse på sine fagfelt utførte arbeidet. Noe arbeider bl.a. betongarbeider ble utført i egen regi hos PEAB. Det har vært underentreprise på følgende fag:

- > Tildekking av sjøbunn
- > Mudring og noe rivingsarbeid
- > Dykking
- > Kartlegging og dokumentasjon
- > Miljøoppfølging
- > Grunnarbeid
- > Massetransport med båt

Miljøoppfølgingen var et samarbeid mellom PEAB og COWI. COWI utførte det miljøfaglige arbeidet i form av utsetting og inntaking av prøver, planer, rapporter, analyser, vurderinger etc., mens PEAB bisto med praktiske arbeidsoppgaver og daglig oppfølging og rutiner på anlegget.

### 2.2 Rivningsarbeid og bygging av ny Sykehuskai

Det ble revet flere konstruksjoner i løpet av prosjektet:

- > Trebrygge og bryggehus ved Horten båtsenter
- > Dykdalb Stjertebukt
- > Trekai ved FFI
- > Trebrygge ved Sykehusbryggen
- > Taubåtbrygger

I tillegg til disse rivningsarbeidene ble det utført masseutskifting og støp av ny betongmur ved Sykehusbryggen. Massene bak betongmuren ble i første omgang gravd vekk. Videre ble det gjort en vurdering på at betongkaien var i svært dårlig stand. Den ble forsterket med påstøp før det ble fylt igjen bak med Leca lettklinker og bygget ny trebrygge lik den gamle som ble revet. Forut for riving måtte det innhentes tillatelse fra kulturminnemyndigheten (Vestfold Fylkeskommune).

Det meste av rivningsarbeidet ble utført av flytende fartøy med gravemaskin med klype ombord. Dette var en effektiv metode for å rive konstruksjoner i sjø. Sykehusbryggen ble revet med gravemaskin fra land. Der det var behov, blant annet ved taubåtbryggene, ble dykkere brukt til å få opp siste rest av peler fra sjøbunnen.

Avfallet ble tatt på land hvor det videre ble sortert og levert til godkjent mottak, Ragn-Sells gjenvinningsstasjon. Prosjektets sorteringsgrad endte på 97,68 %.

Tillatelse til riving ble gitt av Horten kommune etter Plan- og bygningsloven.

## 2.3 Mudring

### 2.3.1 Utført mudring og deponering

I prosjekt Ren indre havn Horten er det mudret 34 400 m<sup>2</sup> med en gjennomsnittlig mudringsdybde på ca. 0,5 m. Hensikten med mudringen var å unngå redusert seilingsdypet etter tildekking, slik at båttrafikk og virksomheter i området ikke blir negativt påvirket av miljøtiltaket.

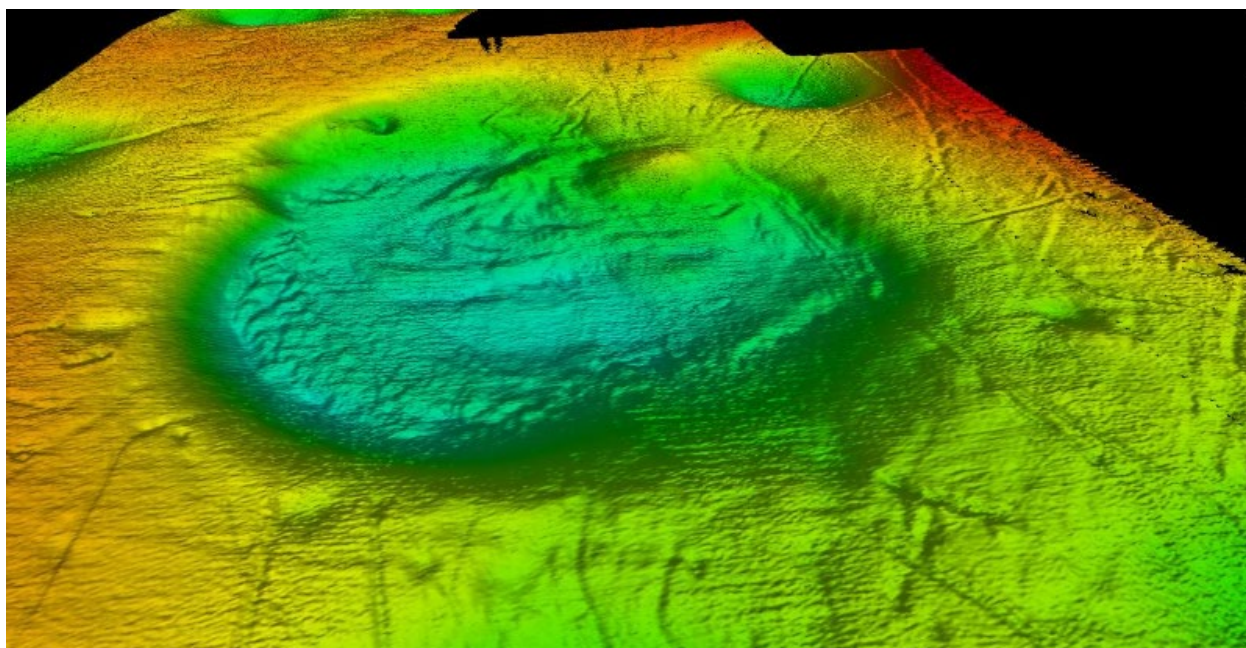
Mudring er utført i følgende områder, se **Figur 1**:

- > Stjertebukt: ca. 32 000 m<sup>2</sup>
- > Sykehusbryggen: ca. 1400 m<sup>2</sup>
- > Ved kaien til Kongsberg Maritime: ca. 300 m<sup>2</sup>
- > Foran utløpsrør ved Svendsenbryggen: ca. 700 m<sup>2</sup>



Figur 1: Rød farge viser områdene som er mudret i prosjektet med rehabilitering av forurenset sjøbunn i Horten havn 2019-2020.

Samtlige masser som er gravd opp er deponert ved dypvannsdeponi i Indre havn. Deponiet er en naturlig grop i sjøbunnen hvor dypeste punkt i utgangspunktet var -27 m. Etter at alle massene var deponert var overflaten i gropen på kote -18 m til -22 m. **Figur 2** viser deponiet etter deponering av muddermasser.



Figur 2: Deponi etter alle mudringsmasser er ferdig deponert i sjødeponiet i Horten Indre havn i prosjektet med rehabilitering av forurenset sjøbunn i Horten havn 2019-2020.



### 2.3.2 Utstyr og metode – mudring og deponering

Til å utføre mudringsarbeidet ble det brukt en gravemaskin montert på et fartøy. Se **Figur 3** for bilde av utstyret som ble brukt. Fartøyet hadde eget lasterom og motorkraft til å forflytte seg for egen maskin. Arbeidsgrunnlaget, i form av arealbegrensning og gravedybder, ble lagt inn i maskinstyringen til gravemaskinen. Ut ifra dette kunne maskinfører grave seg ned til riktig dybde på de stedene det skulle mudres. Massene ble gravd opp i lasterommet på fartøyet, omtrent 150 m<sup>3</sup> pr lass, og transportert ut til dypvannsdeponiet for deponering.

I forbindelse med en sikker jobb analyse før oppstart ble det ytret ønske fra maskinfører om å bruke bakgraver uten lokk på grunn av risikoen for å treffe på UXO. Ved å bruke åpen skuffe er det større sannsynlighet for å oppdage et ukjent objekt i skuffen under graving. Sikkerheten ble vurdert viktigere enn spredning av forurensede masser, og gravingen foregikk med åpen skuff. Andre tiltak for å redusere spredning var forsiktig graving og ikke fylle skuffen helt full.



Figur 3: Mudringsfartøy Rødnes i Stjertebukt. Til venstre på fartøyet er gravemaskinen som ble brukt til gravingen.

På deponiet ble massene ført skånsomt ned på sjøbunnen gjennom et nedføringsrør. Installasjonen for nedføring besto av to lektere, hver på 7x3 m, som er koblet sammen med nedføringsrøret i midten. Selve røret var et ø800 mm PE-rør med en lengde på ca. 24 m og en trakt på toppen. Trakten var 3x3 m og tilpasset skuffen på gravemaskinen om bord. **Figur 4** viser denne trakten. Massene ble gravd fra lasterommet på fartøyet og ned i nedføringsrøret med gravemaskinen om bord. På toppen av trakten var det montert en rist. Hensikten med denne var å fange opp gjenstander som kom opp fra sjøbunnen sammen med mudringsmassene. Disse gjenstandene ble transportert til land, rengjort og sendt til godkjent mottak.



Figur 4: Installasjon for deponering av mudringsmasser.

Posisjonen til nedføringsrøret ble flyttet to ganger i løpet av mudringsperioden for å sikre at massene ble fordelt jevnt utover deponigropen. Deponiet ble også kartlagt underveis for å kontrollere hvordan massene la seg i gropen. Denne kartleggingen viste en jevn sjøbunn på kote -22 m til -23 m underveis. Likevel ble det en liten haug der hvor røret var plassert i siste del av mudringen, se **Figur 2**. Optimalt skulle røret vært flyttet ytterligere en gang for å unngå denne haugen og sikre en mer jevn sjøbunn etter mudring. Ellers fungerte nedføringssystemet veldig bra. For å måle eventuell spredning av forurensede masser var det plassert ut to turbiditetsmålere på hver side av deponiet. I løpet av mudringen var det ingen utslag på disse målerne, så det ser ut som nedføringen i rør har vært skånsom.

Graveutstyret har også fungert godt til sitt formål. Det var en fordel av fartøyet var lite dyptgående og derfor fint kunne gå inn på de grunne områdene <-2,9 m. Siden all mudring var på grunne områder var det heller ikke nødvendig med ekstra lengde på bommen til gravemaskinen. Det var effektivt å bruke samme fartøy til graving og transport av masser. Det var trolig også en fordel når det kommer til mulig spredning av forurensede masser. Etter hvert lass som var gravd opp ble det en pause i graveområdet mens massene ble deponert.

Etter mudringen var avsluttet ble det også utført såkalt «slodding» i deler av Stjertebukt. Tiltaket ble iverksatt i samråd med oppdragsgiver fordi sjøbunnen var noe ujevn etter graving. Sloddingen foregikk ved at mudringsfartøyet kjørte rundt i bukten med en stålbjelke på slep. Denne drar massene utover slik at de groveste toppene ble jevnet ut. Dette tiltaket fungerte bra, men er likevel ikke optimalt fordi det medfører oppvirvling av masser og mulig spredning av forurensede partikler utenfor tiltaksområdet.

## 2.4 Tildekking

### 2.4.1 Tiltak utført

Hoveddelen av prosjekt Ren Indre havn Horten var tildekking av forurenset sjøbunn med rene masser for å isolere miljøgifter og ta de ut av sirkulasjon. Det er totalt tildekket ca. 455 000 m<sup>2</sup> fordelt på seks ulike områder i Indre havn. Se **Figur 5** for oversikt over tiltaksområdene. Alle områder er tildekket med to lag rene masser: filterlag og erosjonslag.



Figur 5: Tiltaksområder markert med grønt hvor forurenset sjøbunn i Indre havn Horten er tildekket med nye og rene masser i prosjektet Ren Indre havn Horten, 2019-2020.

## 2.4.2 Tildekkingsmasser

Massene som er brukt til filterlaget er Svelviksand og er tildekket i lag på 20-25 cm +/- 5 cm. Svelviksand er natursand som er hentet fra sandtaket ved Svelvik på Hurum. Massene til erosjonslaget kommer fra to forskjellige pukkverk i Vestfold. Brorparten er hentet ved Freste pukkverk i Tønsberg og resten kommer fra Skoppum pukkverk. Enkelte steder består også erosjonslaget av natursand fra Svelvik.

Fraksjonene som har vært benyttet som erosjonssikring er som følger:

- > 0-22 mm
- > 0-63 mm
- > 0-63 mm MIX (En mix av 0-63 mm og 22-63 mm)
- > 22-240 mm
- > 20-120 mm

PEABs erfaring er at det er fordelaktig å bruke så få fraksjoner som mulig i prosjektet. Mange ulike fraksjoner øker risikoen for innblanding fra annen fraksjon eller feil bruk av fraksjon samt redusert produktivitet fordi overskuddsmasse må håndteres. PEAB erfarte også at det var krevende å oppnå toleranser på +12/-5 cm for den groveste fraksjonen 22-240 mm. Når det benyttes så stor stein må det legges tykkere lag med større toleranser. Årsaken til dette er at enkeltsteiner alene kan gjøre at toleranser overskrides.

## 2.4.3 Logistikk, massetransport

Logistikk og massetransport er en stor del av et slik tildekkingsprosjekt. Å levere riktig type masse i riktig mengde til rett tid var en utfordring gjennom hele prosjektet. Det var gitt i konkurransegrunnlaget at det ikke skulle foregå transport av masser på lastebil i Horten. Derfor ble Tønsberg havn bruk som lokasjon for omlasting av erosjonsmasser fra lastebil til lastebåt. Filterlagsmasser ble lastet direkte på båt fra sandtaket i Svelvik.

Erfaringer viser at det er fordelaktig for prosjektets produktivitet og kvalitet å redusere tiden det tar å føre massene til prosjektet. Kortere transporttid gir mer fleksibilitet ved bruk av ulike fraksjoner og sikrer tilstrekkelig mengde masse til å opprettholde kontinuerlig produksjon. Økonomisk og miljømessig er det også ønskelig å få det meste av transporten på båt i stedet for bil.

## 2.4.4 Utstyr og metode - tildekking

I prosjektet er det brukt tre forskjellige fartøy til tildekking. De ulike fartøyene har forskjellige egenskaper som gjør at det har vært nødvendig å bruke alle for å få et godt resultat på alle områder.

### **Recto:**

Recto er en lekter med et påmontert utleggingssystem som styres automatisk fra et styrehus på lekteren. Ved denne metoden føres massene skånsomt ned på sjøbunnen og plasseres på riktig sted.

Utlegging med Recto er nøyaktig og veldig effektivt, men på grunn av installasjoner som stikker under lekteren er det begrenset hvor grunt den kan gå. Recto har derfor utført tildekking av brorparten av

arealene med dypt vann, dypere enn 5-6m. Utstyret har fungert bra og nøyaktigheten på resultatet har vært god. Figur 6 er et dronebilde av tildekkingsfartøy Recto i drift.



Figur 6: Tildekkingslekter Recto. Dette fartøyet ble brukt på brorparten av tildekkingsarealene ved tildekking av forurenset sjøbunn i Indre havn Horten.

#### Kingstown:

Kingstown er en lekter som er utstyrt med to gravemaskiner og et nedføringsrør med trakt. Den ene gravemaskinen holder nedføringsrøret, mens den andre gravemaskinen fyller masser i trakten. Når en skuff med masser er fylt i trakten flyttes nedføringsrøret en gitt lengde bortover slik at massene fordeles på sjøbunnen. Ved hjelp av GPS og maskinstyring flyttes lekteren systematisk rundt i tiltaksområdet.

**Figur 7** viser lekteren med gravemaskin og nedføringsrør.

Kingstown kan gå på relativt grunne områder, og har i hovedsak tildekket områder grunnere enn ca. -6 m. Sammenliknet med Recto er utstyret på Kingstown noe mer personavhengig når det kommer til nøyaktighet. PEAB har likevel erfart, ved hjelp av måling og prøvetaking, at resultatet blir veldig bra.



Figur 7: Lekter Kingstown. Dette fartøyet ble brukt på grunnere områder ved tildekking av forurenset sjøbunn i Indre havn Horten.

#### **Waterking:**

Waterking er en gravemaskin med pontonger som gjør at den flyter på vannet. Utlegging med denne har foregått ved at den graver masser fra en lekter. Gravemaskinfører posisjonerer seg og logger ferdige områder ved hjelp av GPS og maskinstyring i maskinen. Waterking kan jobbe helt til kote 0 m og belte på tørt land om nødvendig. Den har derfor tildekket de områdene hvor det er langgrunt og vanskelig tilkomst for annet utstyr. Sammenliknet med Recto er utstyret mindre nøyaktig, og på samme måte som Kingstown er resultatet avhengig av maskinfører sin utførelse av arbeidet. Et godt resultat krever at maskinfører tar seg tid til å fordele massene utover, og ikke bare slippe det i hauger.



Figur 8: Tildeckingsutstyr Waterking. Dette fartøyet ble brukt på de aller grunneste områdene ved tildekking av forurenset sjøbunn i Indre havn, Horten.

### Mobilkran fra land

Ved Østøya ble et område tildekket med en mobilkran som ble rigget på land. Massene ble kjørt inn med lastebil og grabbet ut med mobilkran. Denne metoden har en lavere nøyaktighetsgrad og er lite produktiv, men fungerer på mindre områder hvor tilkomst med annet utstyr er vanskelig.

### Liten leker med minigraver

Et lite område ved Marinemuseet ble tildekket med en minigraver på en liten leker. Massene ble tilkjørt på en annen liten leker. Årsaken til bruken av dette utstyret var at området var så trangt at det var vanskelig å komme til med annet utstyr. Sammenliknet med hovedmetodene er denne metoden både lite nøyaktig og lite produktiv, men ga et tilfredsstillende resultat på det lille området det gjaldt.

## 2.5 UXO

UXO – unexploded ordnance, altså eksplosiver som ikke har gått av har vært et viktig tema gjennom hele prosjektet. Horten ble kraftig bombet under andre verdenskrig, og det var risiko for at eksplosiver som ikke var gått av kunne utløses i forbindelse med arbeidene. For å sikre trygge arbeidsforhold for dykkere og annet mannskap var det viktig å få kontroll på risikoen for UXO før arbeidet startet opp.

### 2.5.1 Søk etter UXO

Før PEAB ble involvert i prosjektet var det allerede lagt mye ressurser i å kartlegge og søke etter potensielle UXO-er i tiltaksområdet. I forbindelse med dette arbeidet ble det avdekket fem UXO som ble håndtert i henhold til prosedyrer.

Ut ifra det tidligere utførte arbeidet fikk PEAB en liste med 71 mulige UXO-punkter. PEAB engasjerte dykkere for å kontrollere disse punktene. Det ble først gjort søk på overflaten før de videre brukte metalldetektor og sugeutstyr til å fjerne masser og søke ned til 1,5 m under sjøbunns-overflaten. Resultatene fra søket var stort sett diverse metallgjenstander. Ved noen punkter ble det også konkludert med ingen funn. Ingen UXO ble avdekket i søket i regi av PEAB.

### 2.5.2 Sikkerhetstiltak under arbeider

Etter alle punktene var kontrollert var risikoen redusert, men fortsatt til stede. PEAB iverksatte derfor flere tiltak for å sikre et trygt arbeidsmiljø.

Ved tildekking var risikoen først og fremst forbundet med fartøyene som satte ned støtteben på sjøbunn for å holde posisjonen. Denne sannsynligheten ble redusert ved at fartøyene hadde UXO-punktene inne i maskinstyringssystemet. På denne måten kunne man unngå å sette ned støtteben på steder hvor det var økt risiko for UXO.

Ved mudring var det også knyttet risiko til gravingen. Før oppstart ble det avtalt at det *ikke* skulle brukes lukket miljøskuff ved mudringen. Årsaken til dette var at maskinføreren enklere ville oppdage et objekt i skuffen hvis den var åpen. Av miljøhensyn ville det muligens vært bedre med lukket skuff, men risikoen for å grave opp udetonerte eksplosiver ble vurdert viktigere enn mulig spredning av forurensede partikler. Dette viste seg å være riktig vurdering da det ble funnet et objekt ved mudring i Stjertebukt i februar 2020. Objektet ble oppdaget i skuffen av maskinfører. Arbeidet ble stoppet, kyndig personell ble tilkalt og objektet håndtert. Det viste seg å være en rusten, sprukket mine som ikke inneholdt eksplosiver.

## 2.6 Miljøovervåking

Miljøovervåkingen er beskrevet i overvåkingsprogrammet for prosjektet (NGI, 2019), samt i kontroll- og miljøovervåkingsplanen (COWI, 2020a), og har bestått av online turbiditetsmåling, utsetting av sedimentfeller og passive prøvetakere, regelmessige uttak av vannprøver, samt uttak av vannprøver ved overskridelse av grenseverdi for turbiditet. Resultatene fra overvåkingen er oppsummert i kap. 3 Overvåking av tiltaket.

### 2.6.1 Turbiditetsmålere

For mudringsarbeidene var grenseverdien for turbiditet i selve tiltaksområdet satt til 15 NTU over referansenivå med varighet av overskridelsen i opptil 1 time. Utenfor tiltaksområdet kunne grenseverdien overskrides i opptil 30 minutter. Arbeider knyttet til deponering av forurensede masser i sjødeponiet hadde en grenseverdi på 15 NTU over referansenivå i 30 minutter. For tildekkingsarbeider var grenseverdien 20 NTU over referansenivå i 4 timer.

Det er gjennomført turbiditetsmålinger i Horten Indre havn i forkant av tiltaket. I 2014 ble turbiditeten undersøkt i et punkt av NGI (NGI, 2014) og i fire punkter av DNV GL i 2018 (DNV GL, 2018). I rapporten utarbeidet av NGI er det konkludert med at naturlig turbiditet er på rundt 0,5-1,5 NTU. Resultatene fra DNV viste at naturlig variasjon i turbiditet i Horten Indre havn tidvis er større en grenseverdien som er satt for stoppgrenser. Det ble i 2018 målt turbiditet 10-40 NTU og topper på 120 NTU. For hver stasjon er det sykliske topper for målt turbiditet med perioder på omtrent 10-20 dager før turbiditeten brått sankt ned mot omtrent 5 NTU.

Til turbiditetsovervåkingen ble det benyttet ANALITE NEP 500 turbiditetssensor koblet til en OMC-043 GPRS/2 Data logger. Turbiditetsmåleren har en visker foran sensoren for å redusere begroing som kunne påvirke målingene. Sensoren til turbiditetsmåleren ble plassert omtrent 2 meter over sjøbunnen. Overvåking av målingene, strøm på batteriet og siste utvikling i turbiditet ble gjort via nettsiden Eagle. Turbiditetsmålerne målte turbiditeten hvert 5 minutt som så ble sendt over til nettløsningen hver tredje time. Ved overskridelse av grenseverdiene ble data sendt over hvert 10 minutt i tillegg til at det ble sendt ut varsel på mail og sms til PEAB og COWI. PEAB fulgte med målingene og beordret stopp i arbeidene hvis det var nødvendig.

Nettløsningen for overvåking av turbiditetsdataen har fungert bra gjennom prosjektet. Det har også vært mulig å endre grenseverdien for turbiditet ved ulike aktiviteter med ulike grenseverdier.

Turbiditetsovervåkingen har vært et samarbeid mellom COWI og PEAB hvor COWI har levert utstyr og teknologi, og PEAB har hatt ansvar for den daglige oppfølgingen. Prosedyre for daglig oppfølging av turbiditetsmålere er beskrevet i Kontroll- og miljøovervåkingsplanen for prosjektet (COWI, 2020a). I Kontroll- og miljøovervåkingsplanen er det beskrevet rutiner for daglig oppfølging av utstyret som står ute, sjekk av målte turbiditetsverdier og prosedyre ved overskridelse av alarm for en turbiditetsmåler. Det har vært flere utfordringer knyttet til oppfølgingen av målere. Et gjentakende problem har vært at målerne viser svært høye turbiditetsverdier som ikke samsvarer prosjektets aktivitet. Disse verdiene på over 500-1000 NTU er så høye at det er usannsynlig at det skyldes turbiditet fra mudring eller tildekking og flere av disse hendelsene kan knyttes til at sensoren var begrodd eller hang feil i vannsøylen. Slike målinger kunne også forekomme i helger, før oppstart eller andre tidspunkt hvor det ikke var aktivitet som samsvarer med at måleren er begrodd eller henger feil i vannsøylen. Ved flere av disse tilfellene har turbiditeten gått ned når sensoren har blitt rengjort og kontrollert at den er plassert riktig i vannsøylen, men der er også eksempler hvor slike tiltak ikke hadde en effekt. Denne problemstillingen har ført til en del avvik på turbiditet som mest sannsynlig ikke skyldes prosjektets aktivitet.



PEAB har nok tidvis undervurdert ressursene som kreves for å holde 2-3 turbiditetsmålere i drift. Det har vært episoder der anleggsledelsen ikke har hatt tilstrekkelig bemanning til å håndtere målerne raskt nok. Det har også vært tilfeller hvor personell ikke har oppdaget høye verdier fordi den digitale løsningen ikke har blitt fulgt opp godt nok. Dette kan f.eks. skje hvis det kommer alarm og denne blir glemt eller oversett på grunn av andre arbeidsoppgaver. Så lenge verdiene er over grensen får man ingen ny alarm, og det kan gå lang tid før saken blir håndtert.

Generelt har det vært mest utfordringer rundt turbiditetsmåling i sommerhalvåret hvor det er mye begroing og vekst i havmiljøet. Det har vært observert store mengder skjell, gress etc. som har vokst på tau og utstyr på kort tid. Behovet for rengjøring av målere økte betraktelig i denne perioden.

Ved vannprøver og visuell kontroll fra båt har PEAB sjeldent observert grums eller farge på vannet.

## 2.6.2 Vannprøver

Vannprøver ble tatt ved bruk av Ruttner vannhenter på 3 L eller 1,7 L på samme dyp som turbiditetsmålerne var plassert. Med unntak av beholderen som ble benyttet til kvikksølvanalysen ble flaskene fylt opp. Flasken for kvikksølvanalyse ble ikke fylt helt til randen for å forhindre søl av konserveringsmiddelet i flasken.

Ved oppstart av prosjektet ble det tatt ukentlige vannprøver. Dette ble etter hvert nedjustert til månedlig prøvetaking dersom det ikke allerede var tatt en prøve ved stopp pga. forhøyet turbiditet. Vannprøver gir et øyeblikksbilde av vannkvaliteten og fanger opp både løst og partikkelbundet forurensning. Analyseresultatene fra vannprøvene benyttes som dokumentasjon, samt til å vurdere om det er spredning av rene eller forurensede masser. På bakgrunn av dette er det viktigst å gjennomføre prøvetaking ved overskridelse av grenseverdi for turbiditet, i henhold til prosesyre. Prøvene ble analysert ved det akkrediterte laboratoriet Eurofins Environment Testing Norway AS for metallene/metalliod arsen (As), bly (Pb), kadmium (Cd), kobber (Cu), krom (Cr), kvikksølv (Hg), nikkel (Ni) og sink (Zn), suspendert stoff (SS), PAH, PCB og tributyltinn (TBT). Det ble analysert på oppsluttede vannprøver, som gir både løst og partikkelbundet forurensning.

Laboratoriets avtale for prøvehenting ble stort sett benyttet gjennom hele prosjektet med mindre prøvene ble kjørt direkte til prøvemottaket. Dette fungerte i all hovedsak bra, men i enkelte tilfeller ble ikke prøvene hentet som avtalt slik at nye prøver måtte tas ettersom enkelte parametere krever analyse innen 48 t for å få akkreditert resultat.

## 2.6.3 Passive prøvetakere

Det har blitt utført gjennomsnittsmåling av PAH, PCB og metallene Hg og Pb i vannmassene ved bruk av passive prøvetakere. Fra og med uke 10 i 2020 ble det også analysert på Cu ved bruk av passive prøvetakere. Det ble benyttet POM (Polyoxymetylen) for de organiske forbindelsene PAH og PCB, samt DGT (Diffusive Gradients in Thin films) for metallene. De passive prøvetakerne har vært plassert rundt 1,5 m over sjøbunnen og har målt gjennomsnittskonsentrasjonen i perioder på rundt 4 uker.

POM er et plastmateriale som over tid oppnår likevekt med organiske miljøgifter i vannet den eksponeres for. Ved å måle innholdet i POM, og benytte etablerte fordelingskoeffesienter mellom POM og sjøvann, kan konsentrasjonene av organiske miljøgifter i vannet prøvetakeren har vært eksponert for beregnes. Ved bruk av POM kan svært lave konsentrasjoner av blant annet PAH og PCB kvantifiseres. Innholdet av miljøgifter i prøvetakeren representerer vannkvaliteten som prøvetakeren var eksponert for de siste 4 ukene.

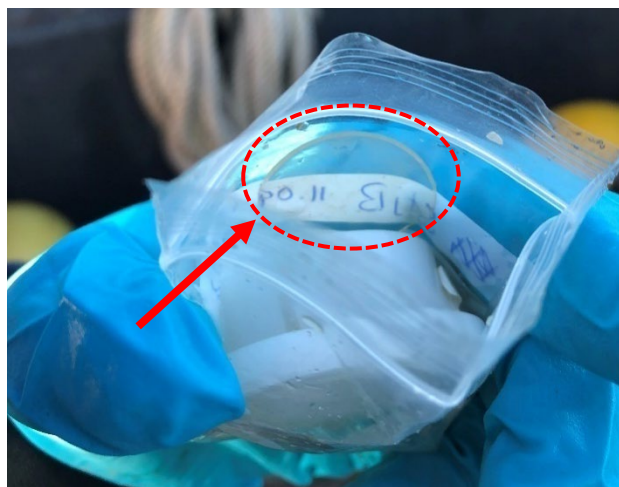
DGT brukes for å måle den biotilgjengelige andelen av metaller i vann, sedimenter og jord. Prøvetakeren består av en plastdel med et filter, en hydrogel og en ionebytter. Ved gjennomsnittstemperaturen i måleperioden kan konsentrasjonen av respektive metaller i vannet beregnes. Det benyttes en DGT for analyse av Hg og en DGT Met for øvrige metaller, i dette prosjektet ble DGT Met brukt til analyse av Pb og Cu.

Fordelen med å benytte passive prøvetakere er at de gir en gjennomsnittskonsentrasjon i måleperioden sammenlignet med vannprøver som gir et øyeblikksbilde. I tillegg kan POM kvantifisere svært lave konsentrasjoner av PAH og PCB. Bruk av POM har fungert bra gjennom prosjektet, men det har vært noen utfordringer knyttet til DGTene som har mistet hydrogelen, se **figur 9**. Hverken COWI eller laboratoriet har hatt utfordringer med dette tidligere og det er ikke kjent hvorfor dette skjedde flere ganger gjennom prosjektet. På bakgrunn av dette ble det iverksatt tiltak med å benytte nylonstrømper ved utsetting av DGT for å beskytte DGTen, samt samle opp sorpsjonslaget dersom det løsnet. Etter tiltaket var iverksatt var det en DGT som mistet sorpsjonslaget, se **figur 10**, men siden hydrogelen lå i nylonstrømpen kunne laboratoriet fortsatt gjennomføre analysen.

I tillegg til at DGTen har mistet hydrogelen har det også vært tilfeller hvor selve DGTen har blitt mistet, hovedsakelig i forbindelse med at hele prøvestasjonen har blitt påkjørt og fraktet vekk med båt, forsvunnet under uvær eller forsvunnet ved ukjent årsak. Dette resulterer i at det ikke foreligger resultater fra enkelte måleperioder. Dersom det hadde blitt gjennomført hyppigere kontroll av utstyret som sto ute i henhold til kontroll- og miljøovervåkingsplanen (COWI, 2020a) ville det raskere kunne bli iverksatt tiltak, eks. utsetting av nytt utstyr.



Figur 9: Eksempel på DGT hvor filteret over hydrogelen har begynt å løsne. Hydrogelen var intakt.



Figur 10: Eksempel på at sorpsjonslaget har løsnet, men fordi DGTen lå inni en nylonstrømpe ble hydrogelen samlet inn og kunne analyseres.

#### 2.6.4 Sedimentfeller

Vurdering av spredning av partikkelbundet forurensning ble gjort ved bruk av sedimentfeller som samler partikler transportert med vannmassene. Basert på analyser av oppsamlet sediment i fellene ble mengde og type partikkelbundet forurensning som spres i området vurdert. Sedimentfellene sto hovedsakelig ute i rett over åtte uker for å samle opp nok sediment, eller frem til bytte av aktivitet, og var plassert rundt 1,5 m over sjøbunnen. Under overvåkingen i anleggsperioden ble det benyttet en sedimentfelle pr. stasjon, men ved sluttovervåkingen ble det benyttet to sedimentfeller pr. stasjon.

Ved innhenting av sedimentprøver ble overflødig vann dekantert av og sedimentet fra sedimentfellene overført til prøvebeholdere. Prøvene ble analysert ved det akkrediterte laboratoriet Eurofins Environment Testing Norway AS. Sedimentprøvene ble tørket og tørket prøvemateriale ble veid for å bestemme total mengde prøvemateriale (g TS) før uttak av materiale til de kjemiske analysene. Prøvene ble analysert for metallene/metalliod As, Pb, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni og Zn, PAH, PCB, TBT og totalt organisk karbon (TOC). Nedbrytning av organiske materiale kan medføre en feilkilde i målt konsentrasjon for organiske forbindelser.

Gjennomsnittlig sto sedimentfellene ute i rett over åtte uker. I de fleste måleperiodene var sedimentasjonsraten lav. Det ble derfor ikke samlet opp tilstrekkelig sediment til at alle forbindelser kunne bli analysert. Innhenting av sedimentfellene ble styrt etter anleggsarbeidene. Når anleggsarbeidet ble avsluttet i et område eller aktiviteten endret ble sedimentfellene tatt opp. I tilfeller hvor det pågikk arbeid over lengre tid uten bytte av aktivitet sto sedimentfellene derfor ute i lengre tid, opptil 20 uker. Sedimentfellene som sto ute i lengre tid ble kraftig begrodd og måtte rengjøres før de kunne settes ut igjen.

Under anleggsperioden og sluttovervåkingen etter anleggsarbeidene var avsluttet ble det mistet flere sedimentfeller som blant annet skyldes uvær og påkjørsel av båt, samt noen tilfeller hvor det ikke er kjent hva som skjedde. Dette resulterte i at det ikke foreligger resultater for sediment fra sedimentfeller i enkelte måleperioder. For å redusere tap av overvåkingsutstyr, samt raskere kunne iverksette tiltak, er det viktig at utstyret følges opp daglig som beskrevet i kontroll- og overvåkingsplanen for prosjektet. Dette ble ikke gjort i tilstrekkelig grad gjennom prosjektet.

Som følge av tapte feller ble det hentet inn flere sedimentfeller, disse hadde imidlertid noe ulike dimensjoner. En oversikt over feller som er benyttet er gitt i **Tabell 1**.

Tabell 1: Oversikt over type sedimentfelle som er benyttet i prosjektet Ren Indre havn Horten, 2019-2020.

Type sedimentfelle	Diameter rør	Samlet areal for fire rør
KS-sedimentfelle, stor	104 mm	0,03396 m <sup>2</sup>
KS-sedimentfelle, liten	72 mm	0,01627 m <sup>2</sup>
Leonfelle	100 mm	0,0314 m <sup>2</sup>

## 2.7 Dokumentasjon av lagtykkelser

Dokumentasjon av lagenes tykkelse er en viktig del av prosjektet for å sikre et godt og varig resultat. Strategien for dokumentasjon ble litt til mens prosjektet gikk og erfaringer som ble gjort ved de ulike metodene. Sammenliknet med planen før oppstart er det utført mange flere kjerneprøver og boniteringsprøver med dykker enn opprinnelig plan. Når det viste seg at disse metodene fungerte bra ble f.eks. målpinner mindre prioritert. Totalt er det brukt mye ressurser på dokumentasjon av lagtykkelser, og PEAB mener arbeidet som er utført er nøye og systematisk dokumentert.

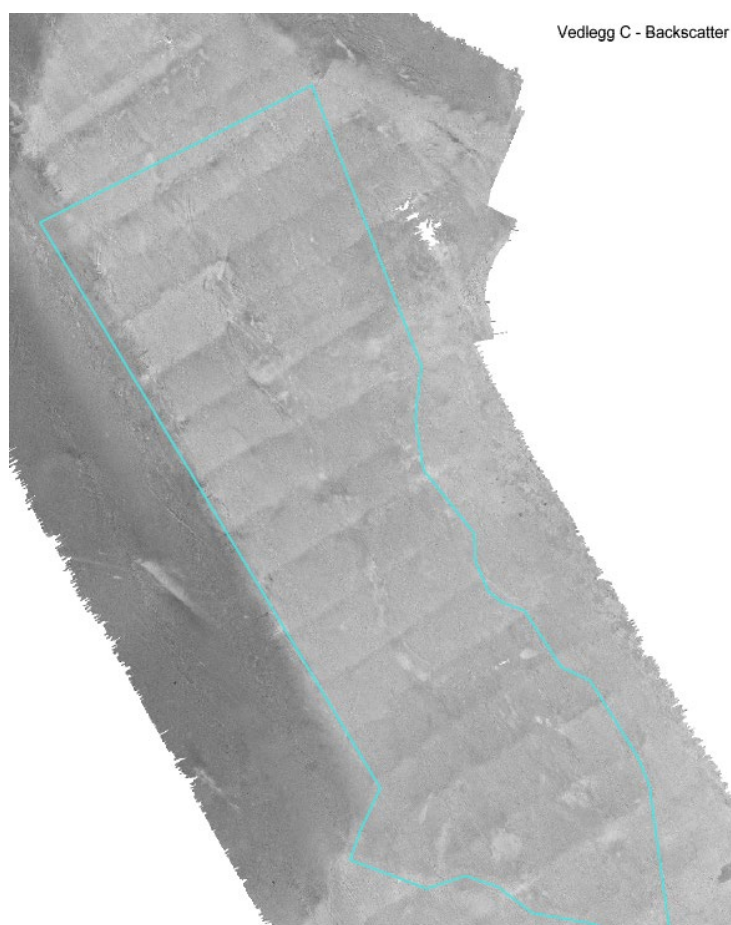
### 2.7.1 Kartlegging med multistråleekkolodd

Kartlegging med multistråleekkolodd er en metode hvor man bruker moderne teknologi til å lage en modell av sjøbunnen. Kartleggingen er utført med en liten fjernstyrt båt som er utstyrt med Konsberg 2040P mk2 multistråleekkolodd. Denne kjøres systematisk over ønsket område og samler måledata fra sjøbunnen ved hjelp av ekkoloddet.

Videre prosesseres dataene og ved bruk av ulike programvarer utarbeides dokumentasjonen man ønsker. Ved å sammenlikne bunnmålinger fra ulike tidspunkt kan man danne seg et bilde av arbeidet som er blitt

utført på sjøbunnen. I prosjektet har det blitt laget digitale bunnmodeller, backscatterbilder, tverrsnitt av tildekkingstykkelser, kotekart og differansekart.

Backscatter er en fremstilling som viser relativ forskjell av sjøbunnens hardhet og jevnhet. En jevn eller hard bunn gir et sterkere retursignal og lysere farge enn en bløt eller ru sjøbunn som får en mørkere nyanse. Andre faktorer som påvirker er skråninger/innfallsvinkel, gjenstander på sjøbunnen. Eksempelvis vil en bratt skråning eller en stein/fjellknaus vises som mørkere felt. **Figur 11** er et eksempel på et backscatterbilde fra Ren Indre havn Horten. Her ses tydelige fargeforskjeller hvor den tildekkede sjøbunnen er hardere enn den gamle sjøbunnen. Entreprenør har hatt veldig god nytte av disse bildene for å kontrollere at hele område er tildekket. Ved noen tilfeller har det dukket opp mørkere felt på backscatter som ved dykkerinspeksjon har vist seg å være felt som ikke var tildekket. Backscatter sier i utgangspunktet ikke noe om lagtykkelse, men det har vært en tendens til at områder med tynnere tildekking er bløtere og dermed vises som mørkere felt.



Figur 11: Backscatter fra delområde HIP etter tildekking. Viser tydelig at bunnen har blitt hardere etter utførte tiltak.

Tverrsnitt lages ved å legge ny og gammel bunnmodell oppå hverandre og beregne tykkelser mellom. I prosjektet er det laget for hver 10 m. Tykkelsen har også blitt fremstilt ved fargekart hvor ulike tykkelsesintervaller fargelegges i forskjellige farger. Fargekart er en metode som er veldig visuell og raskt gir en oversikt, mens tverrsnitt kan være nyttig om man ønsker å se mer detaljert på et område.

Det er viktig å nevne at kartlegging med multistråleekkolodd innebærer en del usikkerhet. Måleusikkerheten til utstyret og prosesseringen kan være betydelig når man jobber med toleranser på +/-5 cm. I tillegg kommer usikkerhet knyttet til sammenpressing av sjøbunn når massene legges ut. Hvis gammel, bløt sjøbunn presses sammen f.eks. 2 cm vil det se ut som tildekkingslaget er 2 cm tynnere enn

det reelt pga. denne usikkerheten. Dette gjør at metoden ikke har vært brukt alene som dokumentasjon på lagtykkelsen, men kan benyttes sett i sammenheng med de andre metodene. PEAB har heller ikke sett så mye på enkeltmålinger og centimeter, men hatt fokus på trender og målinger over et større felt. Dette har vært viktig å ha i bakhode ved vurderinger av tverrsnitt, figurer og bilder fra kartlegging med multistrålekkolodd. PEAB har hatt god erfaring med både utstyr, databehandling og resultat av denne metoden.

## 2.7.2 Kjerneprøver

Kjerneprøver er en metode for å måle lagtykkelsen på tildekkingslaget. Utført ved at dykker gikk ned på sjøbunnen og trykket et pleksiglassrør ned i sanden til det gikk gjennom tildekkingslaget. Gravde litt rundt på siden for å få løftet opp prøven og satt i propp under. Da prøven kom opp på overflaten ble den fotografert med målestokk og et navn på posisjonen i bildet. Figur 12 viser eksempel på en kjerneprøve fra prosjektet.

Prosjektet har svært god erfaring med bruk av kjerneprøver som metode for kontroll av lagtykkelse. Det har blitt samlet inn mange prøver, ca. en for hver 2000-2500 m<sup>2</sup>. Det høye antallet kjerneprøver med tilfredsstillende resultat har gitt en bekreftelse på at områdene er tildekket i henhold til krav. I utgangspunktet er prøvetaking med dykkere både tid- og ressurskrevende. Men etter hvert som dykkerne fikk god rutine på arbeidet ble det også effektivt, og de ble gjennomført mange prøver i timen. En av grunnene til at metoden har fungert bra i Indre havn Horten er at de fleste områdene har dybder < 10 m. Dykking på dypere vann er mye mindre effektivt på grunn av begrensning i blant annet dykkertid og antall opp- og nedstigninger. En annen viktig suksessfaktor for kjerneprøvene var å legge en god plan på forhånd for plassering av prøvepunkt. Dykkerne fikk en liste med navngitte punkter med tilhørende koordinater, slik at de kunne jobbe systematisk og resultatene ble godt spredt over tiltaksområdet. Erfaring viste også at det var viktig at dykkerne hadde fått god opplæring og forsto hensikten med oppgaven de utførte.

Ulempen med bruk av kjerneprøver med dykker er at det ikke fungerer på grovere masser. Derfor ble metoden bare benyttet ved kontroll av filterlaget.



Figur 12: Eksempel på kjerneprøve fra kontroll av lagtykkelse ved Indre havn Horten. I bunnen vises overgangen fra nye tildekkingsmaser til gammel sjøbunn.

### 2.7.3 Boniteringsprøver

I Horten ble boniteringsprøver brukt på samme måte som kjerneprøver, men på fraksjoner som var for grove til å ta kjerneprøve med pleksiglassrør. Alle steder hvor erosjonssikringen er 0-22mm eller grovere ble det gjennomført boniteringsprøver for å måle tykkelse. Metoden ble utført ved at dykkere gravde seg gjennom tildekkingslaget og målte lagtykkelsen med meterstokk. Gravde enten gjennom erosjonslaget ned til filterlaget for å måle lagtykkelse erosjonslag, eller fra overflaten og ned til gammel sjøbunn for å måle totaltykkelse.

Opprinnelig var det ikke planlagt å gjøre boniteringsprøver i et stort omfang fordi metoden er tid- og ressurskrevende og også noe unøyaktig. Men det viste seg etter hvert å være nyttig likevel. Selv om metoden er mer unøyaktig enn kjerneprøver gir den et bilde på både tykkelse av erosjonslag og totaltykkelse.

En utfordring med metoden var at den viste seg å være vanskelig å dokumentere på grunn av den dårlige sikten når det graves på sjøbunnen. Hjelmkamera som dykkerne bruker ga svært dårlige bilder. Løsningen ble at dykker kommenterte det de så underveis og dykkerleder på overflaten noterte det som ble observert. Til tross for dårlig bildekvalitet ble seansene filmet for å sikre lyddokumentasjon på det som ble sagt og utført. En viktig faktor for å få et godt resultat var at dykkerne hadde fått god opplæring og forsto hensikten med oppgaven de utførte.

### 2.7.4 Målepinner

Før oppstart tildekking ble det satt ut 76 målepinner. Disse ble designet ut ifra tidligere erfaringer med målepinner. Det var viktig at målesøylen sto stabilt på sjøbunnen, at den var lett å finne igjen, og at den

kunne leses av uten å måle med målestokk og dykker. Planen var å bruke ROV til å finne dem igjen og lese av lagtykkelse. I utformingen av målesøylen ble det også tatt hensyn til at prosjektet ikke skulle tilføre plast til havet. Se **figur 13** for utforming av målesøyler.



Figur 13: Design på målesøyler

Erfaringene med målesøylene var at de var vanskelig å finne igjen. Målet var å kunne lese dem av med ROV, men mye grums i vannet og dårlig sikt gjorde at man måtte komme svært tett på for å oppdage dem. Dette til tross for at de var målt inn med GPS ved utsetting og at ROV har både sonar og GPS-posisjon til bruk i søket. Etter hvert som kjerneprøver og boniteringsprøver ga gode resultater ble det lagt lite ressurser i å lete etter flere målepinner.

Ved avslutning av prosjektet gjorde dykkere et systematisk søk på alle målesøyler for å måle dem og fjerne platen. De dykket på hvert punkt, fant målesøylen, målte avstanden fra toppen og ned til sjøbunnen før de kappet stangen og tok meg seg stålstangen og platen på land. På grunn av en misforståelse ble ikke alle målesøyler målt før de ble fjernet. På grunn av dette gikk prosjektet glipp av noen målinger av total tildekkingsstykkelse. Dette gjelder hovedsakelig delområde HIP.

Det er også andre årsaker til at det ikke ble brukt mer ressurser på målepinner i prosjektet. Sammenliknet med kjerneprøver er metoden mer usikker på flere områder.

- > **Avlesing.** Den er vanskelig å lese av nøyaktig måling på en målepinne under vann.
- > **Bøyd eller veltet.** Ved belastning av masser kan målepinnen bli bøyd eller velte. Kan også skje at nedføringsrør som holdes nært sjøbunnen kommer borti en målesøyle.
- > **Ugunstig plassering av målepinne.** Når målepinnen settes ut kan den havne f.eks. oppå en stein, i en skråning. Dette kan medføre at målingen blir misvisende, og ikke viser faktisk tildekkingsstykkelse på stedet

- > **Sammentrykning.** Det er usikkert hva som skjer med målepinnen når den belastes med 20-50cm tildekkingsmasser. Blir den trykt ned tilsvarende mye som massene rundt?

På bakgrunn av dette ble målepinner i ettertid vurdert som en lite egnet metode for prosjektet i Horten.

## 2.8 Dokumentasjon av kjemisk tilstand på ny sjøbunn

Filterlaget ble prøvetatt etter at tykkelsen var bekreftet som akseptable. Det ble tatt en blandprøve (bestående av 4 delprøver) per 10 000 m<sup>2</sup> tildekket sjøbunn. I delområder mindre enn 10 000 m<sup>2</sup> ble det tatt tre prøver og i områder mellom 10 000 m<sup>2</sup> og 50 000 m<sup>2</sup> ble det tatt fem prøver. Det ble brukt 110 mm rør av pleksiglass til prøvetaking og koniske propper til å lukke rørene.

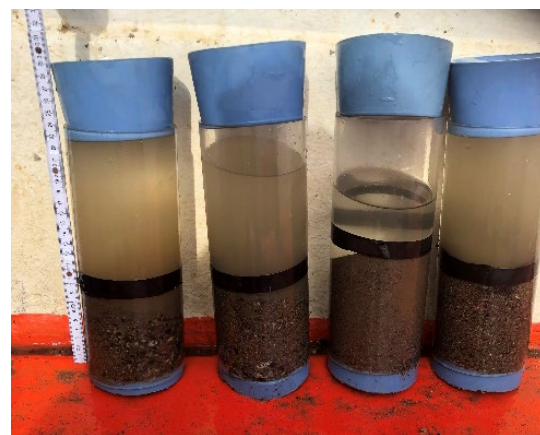
Prøvepunktene ble satt jevnt fordelt ut over delområdet. Forut for prøvetaking ble det sluppet ned en dregg omtrent på punktet som var satt. Posisjonene til prøvene ble tatt hvor dregg var sluppet ned.

Prøvetakingen ble utført av dykker som gikk ned langs tauet på dreggen og tok ut delprøvene ca. 2 meter nord, sør, øst og vest for dreggen. Delprøvene ble tatt ved at røret ble stukket 10 cm ned i tildekkingslaget for så å lukke røret ved bruk av proppene. Dykker fraktet så prøven til overflaten hvor prøvene ble beskrevet med fokus på fremmedelementer, lagdeling og biologi. Hver delprøve ble fotografert og det ble laget en blandprøve av de fire delprøvene fra hver stasjon. Blandprøven ble analysert for metaller, PAH<sub>16</sub> (inkl. enkeltforbindelsene), PCB<sub>7</sub> (inkl. enkeltforbindelsene), TBT, TOC, og kornfordeling med fraksjonene <2 µm og < 63 µm. Eksempel på en prøve av filterlaget er vist i **Figur 14**.

Analysene ble i utgangspunktet utført av Eurofins Environment Testing Norway AS, men når det var behov for hasteanalyse ble prøvene sendt til ALS Laboratory Group Norway AS. Rapporteringsgrensene for parameterne er hovedsakelig tilsvarende eller lavere enn TKL 1 og 2, men for antracen tilsvarer rapporteringsgrensen nedre halvdel av TKL 3.

Prøvetaking med gjennomsiktige pleksiglassrør fungerte bra for å få en visuell oversikt over profilen av filterlaget, selv om det tidvis var noe utfordrende å få plassert proppen i bunnen av røret. Dette skyldes i hovedsak at filterlaget består av relativt grove masser (0-8 mm) med lite kohesjon, til forskjell fra naturlige siltige/leirige sedimenter.

Prøvetakingen av de ulike delområdene ble i flere tilfeller gjennomført over flere dager etter tykkelsen på filterlaget ble godkjent. Det hadde vært mer hensiktsmessig og tidsbesparende å godkjenne tykkelsen på filterlaget i hele delområdet, eller større deler av et delområde, slik at flere prøver kunne blitt tatt samtidig.



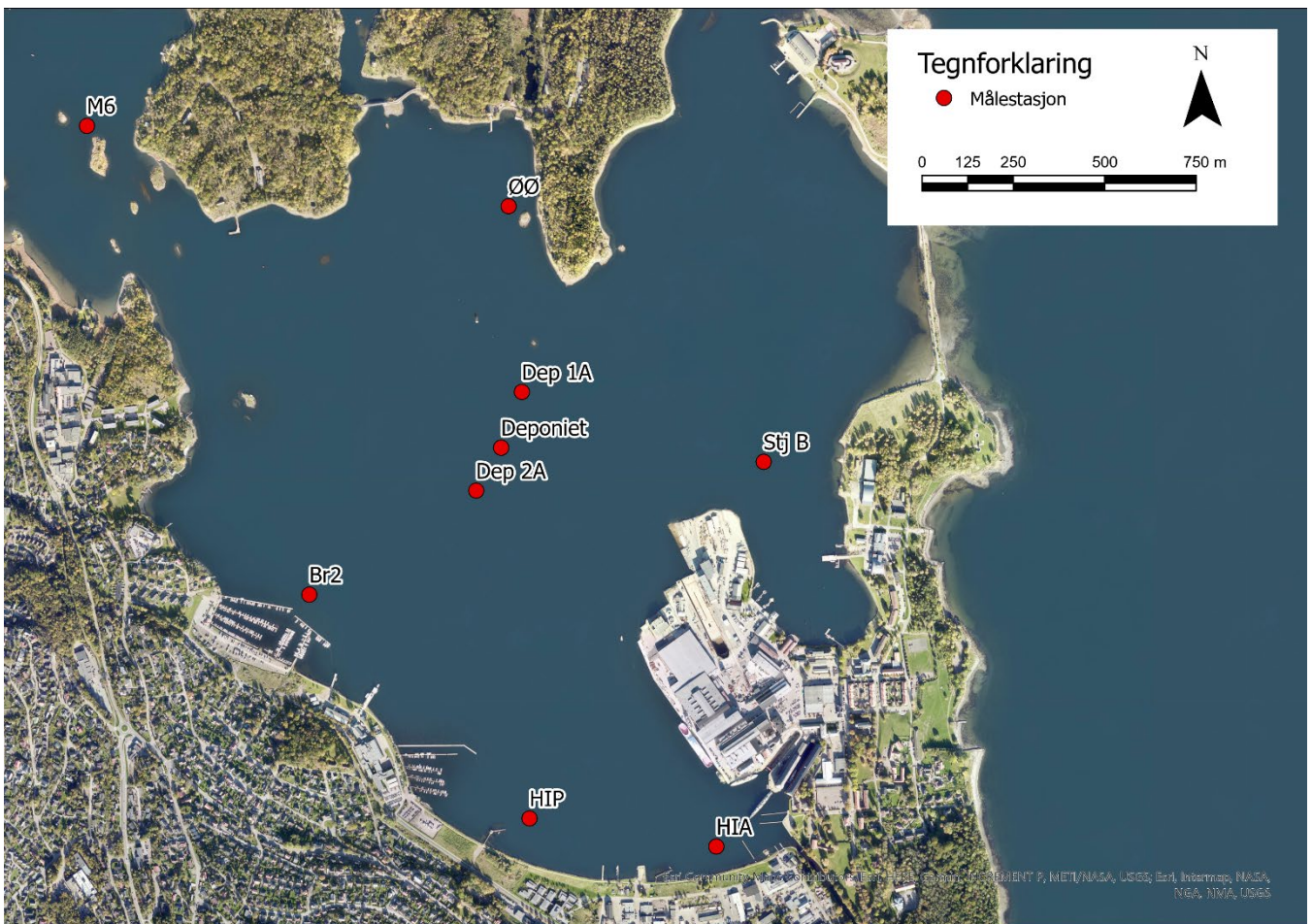
Figur 14: Eksempel på delprøvene av filterlaget ved prøvepunkt 3MN-7, utenfor Kongsberg Maritime i forbindelse med prosjektet Ren Indre havn Horten, 2019-2020.



## 3 Overvåking av tiltaket

### 3.1 Plassering av stasjoner

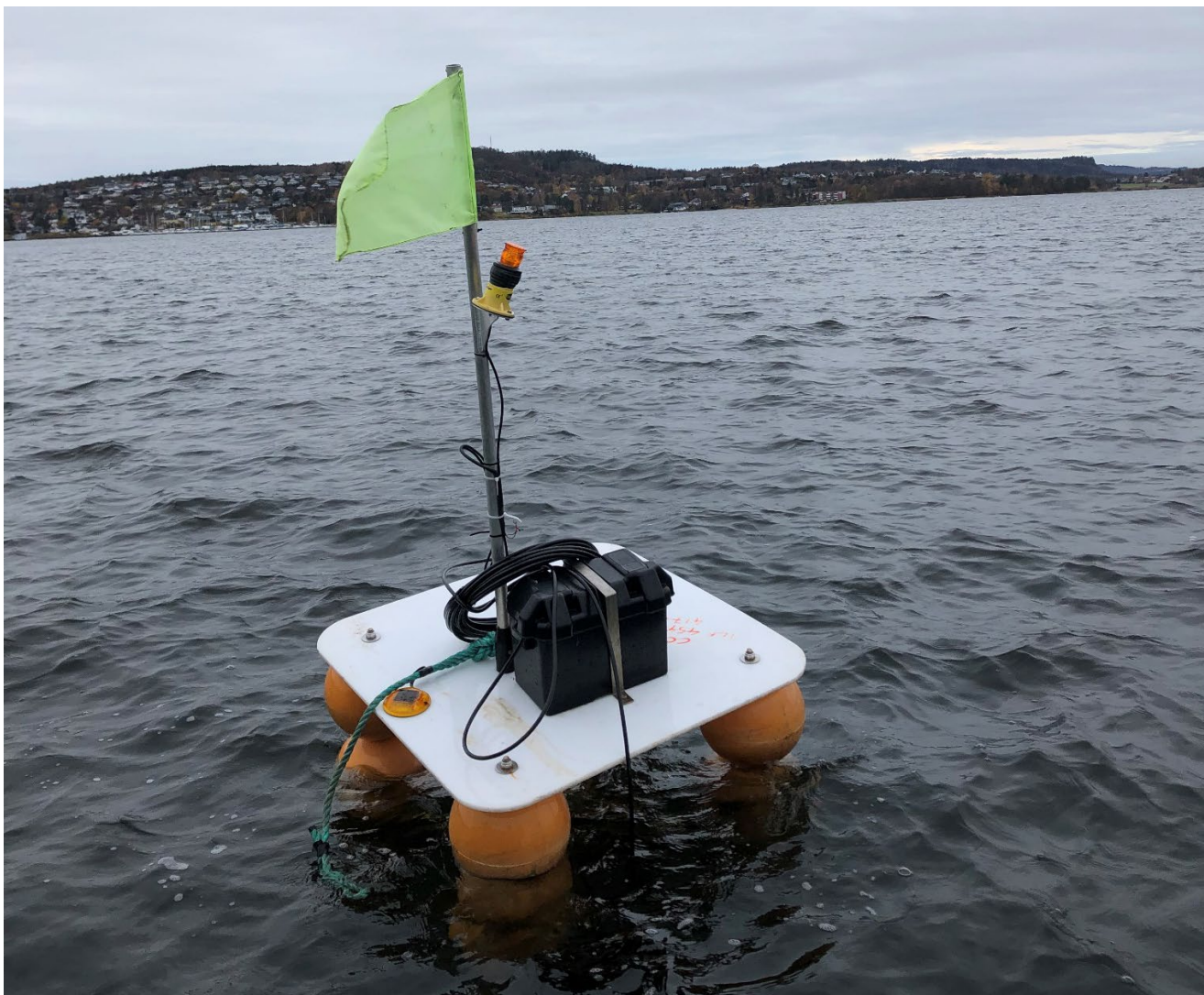
Plassering av overvåkingsstasjonene var i henhold til beskrivelsene i overvåkingsprogrammet for prosjektet (NGI, 2019). Plassering av stasjonene ble bestemt ut fra strømretning, aktivitet og trafikksituasjon i området med hensikt å fange opp eventuell spredning fra arbeidene uten å være i veien for arbeidene eller skipstrafikken i området. Plassering av stasjonene under anleggsarbeidene og sluttovervåkingen etter anleggsarbeidene var avsluttet er vist i **Figur 15**.



*Figur 15: Oversikt over overvåkingsstasjoner benyttet i prosjektet med rehabilitering av forurenset sjøbunn i Horten havn 2019-2020. Ved hver stasjon ble det utført overvåking av turbiditet, vannkvalitet (vannprøver) og prøvetaking av sjøbunnen etter tiltak. Overvåking av sedimentert materiale ble gjennomført ved de stasjonene hvor det pågikk arbeid over lengre tid, dvs. alle utenom ved M6 og ØØ.*

Loggere og sendere av turbiditetsdata har vært plassert på flyterigger eller med flytebøyer med lys og flagg, og stasjonene var rapportert inn til Etterretning for Sjøfarende. Flytebøye var hovedsakelig alltid plassert et par meter fra en flyterigg som markerte området. Eksempel på flyterigg som ble benyttet i prosjektet er vist i **Figur 16**. Det ble benyttet båt uten løftekran noe som til tider var utfordrende med tungt utstyr, samt at det var utfordrende å få sedimentfellene over båtripa, i de tilfellene var det behov for flere personer. Det var også noen tilfeller hvor noe av prøveutstyret ble mistet da det ble løftet over båtripa. For sluttovervåkingen etter anleggsarbeidene var avsluttet ble det benyttet båt med løftekran, noe som forenklet arbeidet og som anbefales for denne type arbeider.

Under anleggsarbeidene, og sluttovervåkingen, er det flere prøvestasjoner med flyterigg/flytebøye og prøvetakingsutstyr som er forsvunnet. Enkelte av hendelsene er knyttet til dårlig vær og påkjørsel av båt, men det er også tilfeller hvor hendelsesforløpet ikke er kjent. Konsekvensen av dette kunne potensielt vært redusert ved hyppere kontroller av utstyret som sto ute. Flertallet av de ukjente tilfellene er knyttet til prøvestasjon med flytebøye.



Figur 16: Eksempel på flyterigg som ble benyttet i prosjektet med rehabilitering av forurenset sjøbunn i Horten havn 2019-2020. Den sorte boksen inneholder turbiditetsmåleren. Sensoren til turbiditetsmåleren er plassert omtrent 2 m over sjøbunnen, samt at det er festet sedimentfelle og passive prøvetakere omtrent 2 m over sjøbunnen.

## 3.2 Turbiditet

### 3.2.1 Bakgrunn og målte verdier

Ved oppstart av prosjektet, oktober 2019 og frem til 13. januar 2020, ble bakgrunnsnivået beregnet ut fra turbiditetsverdiene målt de siste timene før arbeidene startet opp. Fra 13. januar 2020 ble referansenivået satt til 1 NTU basert på de turbiditetsverdiene som var målt i perioder hvor det ikke pågikk arbeid, eksempelvis i helger og ferier, og som dermed viste den reelle bakgrunnen i Horten Indre Havn. I tillegg ble det vurdert at en overskridelse som skyldtes anleggsarbeidene mest sannsynlig ville være større enn 1 NTU over grensen som var satt.

Resultatene fra turbiditetsmålingen er oppsummert i månedsrapportene for prosjektet.

- > COWI (2019) *Månedsrapport Ren Indre havn Horten, oktober 2019*. Dokument NOT001, versjon 1
- > COWI (2019) *Månedsrapport Ren Indre havn Horten, november 2019*. Dokument MRAP 02, versjon 3.0
- > COWI (2020) *Månedsrapport Ren Indre havn Horten, desember 2019*. Dokument MRAP 03, versjon 3.0
- > COWI (2020) *Månedsrapport Ren Indre havn Horten, januar 2020*. Dokument MRAP 04, versjon 2.0
- > COWI (2020) *Månedsrapport Ren Indre havn Horten, februar 2020*. Dokument MRAP 05, versjon 5.0
- > COWI (2020) *Månedsrapport Ren Indre havn Horten, mars 2020*. Dokument MRAP 06, versjon 2.0
- > COWI (2020) *Månedsrapport Ren Indre havn Horten, april 2020*. Dokument MRAP 07, versjon 1.0
- > COWI (2020) *Månedsrapport Ren Indre havn Horten, mai 2020*. Dokument MRAP 08, versjon 2.0
- > COWI (2020) *Månedsrapport Ren Indre havn Horten, juni 2020*. Dokument MRAP 09, versjon 1.0
- > COWI (2020) *Månedsrapport Ren Indre havn Horten, juli 2020*. Dokument MRAP 10, versjon 2.0
- > COWI (2020) *Månedsrapport Ren Indre havn Horten, august 2020*. Dokument MRAP 11, versjon 1.0
- > COWI (2020) *Månedsrapport Ren Indre havn Horten, september 2020*. Dokument MRAP 12, versjon 1.0
- > COWI (2020) *Månedsrapport Ren Indre havn Horten, oktober 2020*. Dokument MRAP 13, versjon 1.0
- > COWI (2020) *Månedsrapport Ren Indre havn Horten, november 2020*. Dokument MRAP 14, versjon 1.0

Resultatene fra turbiditetsovervåkingen viser at det unntaksvis har vært partikkelspredning over grenseverdi i tilknytning til mudring og tildekkingsarbeidene. Det har vært flere perioder hvor det har vært svært høye (over 1200 NTU) og skiftende målingene for turbiditet. Flere av disse tilfellen kan knyttes til at måleren var begrodd eller at sensoren hang feil i vannsøylen, eks. for nærme sjøbunnen. I tillegg til PEABs daglige oppfølging av turbiditet ble det iverksatt tiltak den 20.08.2020 til anleggsutt hvor COWI utførte daglig kontroll av turbiditet før oppstart av anleggsarbeidene.

Det er ikke avdekket en tydelig forskjell i målt turbiditet under mudringsarbeidene sammenlignet med når det pågikk tildekkingsarbeid. Aktiviteten som ga størst utslag i målte turbiditetsverdier knyttes til "sloddnigen" i Stjertebukta 19. mai 2020. Slodding innebærer at en bjelke ble dratt langs sjøbunnen for å jevne ut ujevnheter som hadde oppstått under mudringsarbeidene.

### 3.2.2 Overskridelse av grenseverdi for turbiditet

En oversikt over registrerte avvik knyttet til overskridelse av turbiditet er gitt i **Tabell 2**. I tillegg er det enkelte dager hvor det pågikk arbeid når måleren var ute av drift slik at det ikke foreligger data for turbiditet. Alle avvik er nevnt i kap. 5 Avvik, uønskede hendelser og avbøtende tiltak.

Flere av episodene hvor det er registrert forhøyede målinger for turbiditet har målt turbiditet blitt redusert etter at sensoren har blitt rensert og kontrollert at den henger riktig i vannsøylen. Dette tyder på at flere av episodene hvor det registrert overskridelse av turbiditet ikke skyldes anleggsarbeidene.

Tabell 2: Oversikt over registrerte avvik knyttet til overskridelse av grenseverdi for turbiditet i anleggsperioden under rehabilitering av forurenset sjøbunn i Horten Indre havn, 2019-2020.

<b>Dato:</b>	11.02.2020	
<b>Arbeidstid:</b>	07.15-18.00	
<b>Stasjon:</b>	Stj B	
<b>Type arbeid:</b>	Mudring	
<b>Grenseverdi:</b>	16 NTU i 30 min	
<b>Kommentar:</b>	En episode med overskridelse av 16 NTU over 30 min, varighet 35 min.	
<b>Dato:</b>	12.02.2020	
<b>Arbeidstid:</b>	07.45-14.00	
<b>Stasjon:</b>	Stj B	
<b>Type arbeid:</b>	Mudring	
<b>Grenseverdi:</b>	16 NTU i 30 min	
<b>Kommentar:</b>	To episoder med overskridelse av 16 NTU over 30 min, varighet 1 t og 45 min, samt 1 t og 25 min når arbeidet ble avsluttet for dagen. Siste overskridelsen varte totalt 3 timer. Ved siste overskridelse ble masser deponert i deponiet og det pågikk ikke mer gravearbeider i Stjertebukta den dagen.	
<b>Dato:</b>	06.04.2020	
<b>Stasjon:</b>	Stj B	
<b>Arbeidstid:</b>	07.30-16.00	
<b>Type arbeid:</b>	Mudring	
<b>Grenseverdi:</b>	16 NTU i 30 min	
<b>Kommentar:</b>	Med unntak av en enkeltmåling kl. 11.30 ble det målt turbiditet over grenseverdi fra kl. 10.30 til 12.55. Arbeidene skulle vært stoppet og det skulle blitt tatt en vannprøve.	
<b>Dato:</b>	14.04.2020	
<b>Stasjon:</b>	Stj B	
<b>Arbeidstid:</b>	07.20-19.30	
<b>Type arbeid:</b>	Mudring	
<b>Grenseverdi:</b>	16 NTU i 30 min	
<b>Kommentar:</b>	Det er registrert en overskridelse av grenseverdi for turbiditet fra kl. 16.35-17.40. Arbeidene ble ikke stoppet og det ble ikke tatt vannprøve.	

<b>Dato:</b>	05.05.2020	
<b>Stasjon:</b>	StjB	
<b>Arbeidstid:</b>	07.15-20.00	
<b>Type arbeid:</b>	Mudring	
<b>Grenseverdi:</b>	16 NTU i 30 min	
<b>Kommentar:</b> Overskridelse av turbiditet under mudringsarbeidene. Arbeidene ble stoppet og det ble tatt vannprøve.		
<b>Dato:</b>	19.05.2020	
<b>Stasjon:</b>	StjB	
<b>Arbeidstid:</b>	08.15-15.00	
<b>Type arbeid:</b>	Slodding, utjevning av mudret sjøbunn	
<b>Grenseverdi:</b>	16 NTU 30 min	
<b>Kommentar:</b> Figuren viser målt turbiditet 19-20. mai 2020. Turbiditeten steg etter arbeidene med utjevning av sjøbunnen startet og oversteget grenseverdi for turbiditet. Det ble tatt vannprøve.		
<b>Dato:</b>	13.07.2020	
<b>Stasjon:</b>	Br2	
<b>Arbeidstid:</b>	07.40-13.00	
<b>Type arbeid:</b>	Tildekking, erosjonslag	
<b>Grenseverdi:</b>	21 NTU i 4 t	
<b>Kommentar:</b> Arbeidene skulle ikke startet pga. gjentakende forhøyet turbiditet siden kvelden 11.07.20.		
<b>Dato:</b>	20.07.2020	
<b>Stasjon:</b>	Stj B	
<b>Arbeidstid:</b>	07.50-18.40	
<b>Type arbeid:</b>	Tildekking, erosjonslag	
<b>Grenseverdi:</b>	21 NTU i 4 t	
<b>Kommentar:</b> Gjentakende overskridelse av turbiditet.		

<b>Dato:</b>	21.07.2020	
<b>Stasjon</b>	Br2	
<b>Arbeidstid:</b>	12.00-18.30	
<b>Type arbeid:</b>	Tildekking, erosjonslag	
<b>Grenseverdi:</b>	21 NTU i 4 t	
<b>Kommentar:</b>	Forhøyet turbiditet i hele arbeidsperioden denne dagen, samt før og etter. Arbeidene skulle ikke ha startet.	
<b>Dato:</b>	28.09.2020	
<b>Stasjon</b>	HIP	
<b>Arbeidstid:</b>	07.25-18.18	
<b>Type arbeid:</b>	Tildekking, erosjonslag	
<b>Grenseverdi:</b>	21 NTU i 4 t	
<b>Kommentar:</b>	Forhøyet turbiditet gjennom natten. Arbeidet skulle ikke ha startet opp før årsaken til forhøyet turbiditet var avklart.	
<b>Dato:</b>	05.10.2020	
<b>Stasjon</b>	HIP	
<b>Arbeidstid:</b>	08.15-18.30	
<b>Type arbeid:</b>	Tildekking	
<b>Grenseverdi:</b>	21 NTU i 4 t	
<b>Kommentar:</b>	Forhøyet turbiditet på måler H01 siden 03.10.20. Arbeidene skulle ikke ha startet før det var kontroll på turbiditeten. Det ble arbeidet i over fire timer med overskridelse av turbiditet og skulle også vært anleggsstopp.  Måler H03 ble satt ut ca. 20 m nordøst for måler H01 kl. 14.40 og med unntak av et par enkeltmålinger med forhøyet turbiditet ble det ikke registrert turbiditetsverdier over 21 NTU.	
<b>Dato:</b>	08.10.2020	
<b>Stasjon:</b>	HIP	
<b>Arbeidstid:</b>	07.50-11.00 11.30-14.00	
<b>Type arbeid:</b>	Tildekking	
<b>Grenseverdi:</b>	21 NTU i 4 t	
<b>Kommentar:</b>	Arbeidene skulle ikke ha startet opp før det var kontroll på den høye turbiditeten. Turbiditetsverdien gikk ned da måleren (H01) ble sjekket/renset rundt kl. 09.  Måler H03 som var plassert ca. 20 m nordøst for måler H01 registrerte ikke forhøyede turbiditetsverdier i løpet av natten, men det ble registrert flere episoder med enkeltmålinger/ korte episoder med forhøyet turbiditet etter kl. 07.20.	

### 3.3 Analyseresultater

En oversikt over alle analyseresultatene fra overvåkingen i anleggsperioden og sluttovervåkingen etter anleggsarbeidene var ferdig, samt analysebevis, er gitt i siste månedsrapport MRAP 15, *Månedsrapport Ren Indre havn Horten* (COWI, 2021a). Månedsrapporten er lagt ved som vedlegg 1. Under følger en oppsummering fra månedsrapporten.

#### 3.3.1 Vannprøver

I anleggsperioden ble det tatt totalt 56 vannprøver. Dette inkluderer 3 stk. vannprøver i forbindelse med sluttovervåkingen etter anleggsarbeidene var avsluttet. Vannprøvene ble tatt fra åtte ulike stasjoner: Dep 1A, Dep 2A, Deponiet (kun ved sluttovervåkingen), Stj B, HIP, Br2, ØØ og M6.

Det ble tatt fem prøver som følge av høy turbiditet under anleggsperioden, alle i løpet av 2020. Vannprøvene pga. forhøyet turbiditet ble tatt ved stasjonen Stj B, den 29. januar, 30. januar, 5. mai kl. 12.45, 5. mai kl. 16.30 og 19. mai. Episodene med høye turbiditetsverdier i januar hadde varighet på under 30 minutter og det var derfor ikke behov for anleggstopp, mens vannprøvene i mai ble tatt ved anleggstopp. Resterende vannprøver er tatt for regelmessig dokumentasjon.

I tillegg har det vært tilfeller av forhøyet turbiditet hvor det ikke ble tatt vannprøve iht. beskrivelse i *Ren Indre havn Horten, Kontroll- og miljøovervåkingsplan* (COWI, 2020a). Beskrivelse av avvik er gitt i kap. 5 Avvik, uønskede hendelser og avbøtende tiltak.

#### Metaller

Vannprøvene viser variasjoner i konsentrasjonen av de analyserte metallene. Størst variasjon var det for Cd og Cu som varierer fra under rapporteringsgrensen til hhv. TKL 4 eller 5. Konsentrasjonen av Cd var høyest ved starten av prosjektet, og alle de siste resultatene inkludert sluttprøvene er innenfor TKL 2 eller under rapporteringsgrensen. Vannprøvene tatt i forbindelse med sluttovervåkingen etter anleggsarbeidene var ferdig viste Cd innenfor TKL 2, mens konsentrasjonen av Cu var i TKL 5.

Analyseresultatene for As og Pb tilsvarte generelt konsentrasjoner i TKL 3, men varierte fra under rapporteringsgrensen til TKL 4. Vannprøvene i forbindelse med sluttovervåkingen var TKL 3 for As, og for bly var konsentrasjonen TKL 2-3.

Metallene med lavest konsentrasjon gjennom prosjektet var Cr og Ni som hovedsakelig var innenfor TKL 2. Dette gjelder også sluttprøvene som ble tatt etter anleggsarbeidene var ferdig. Ved oppstart av prosjektet var Hg under rapporteringsgrensen, men steg etter hvert til TKL 5. Rundt uke 10 og uke 14 gikk konsentrasjonen ned igjen til under rapporteringsgrensen, og har med unntak av et par målinger i TKL 5 holdt seg under rapporteringsgrensen. Sluttprøvene ved deponiet, StjB og HIP var hhv. under rapporteringsgrensen, TKL 5 og under rapporteringsgrensen. Rapporteringsgrensen for Hg tilsvarer TKL 4.

Ved oppstarten av prosjektet ble konsentrasjonen av Zn hovedsakelig målt i TKL 5. Utover i prosjektet gikk konsentrasjonen ned til TKL 4 og etter hvert under rapporteringsgrensen tilsvarende TKL 3. Dette gjelder også sluttprøvene tatt etter anleggsarbeidene var avsluttet med unntak av stasjonen HIP hvor konsentrasjonen ble målt til TKL 5.

#### PAH

For PAH er målte konsentrasjoner hovedsakelig innenfor TKL 2 eller under rapporteringsgrensen fra laboratoriet for alle prøvene og parameterne. Parameterne som skiller seg ut er fluoranten og

benzo(a)pyren som for flere prøver er klassifisert i TKL 3. I tillegg er det fire prøver ved stasjonen StjB, i uke 47, 19, 21 og 32, hvor det er påvist forhøyede konsentrasjoner av pyren, benzo(a)antrascen, benzo(b)fluprantene, indeno(1,2,3-c,d)pyrene og benso(ghi)perylene tilsvarende TKL 4-5. To av de fire vannprøvene var tatt i forbindelse med forhøyet turbiditet. To uker senere, i uke 34, var alle PAH-forbindelsene ved Stjertebukta under rapporteringsgrensen tilsvarende TKL 2.

### **PCB, TBT og suspendert stoff**

Miljødirektoratet har ikke angitt tilstandsklasser for sum PCB<sub>7</sub> i sjøvann. Miljøkvalitetsstandarden for årlig gjennomsnitt av sum PCB<sub>7</sub> i kystvann er 0,0024 ng/l (Direktoratsgruppen vanndirektivet, 2018). Eurofins opererer med en høyere rapporteringsgrense, og siden alle resultatene er under rapporteringsgrensen kan de målte verdiene ikke klassifiseres. Det samme gjelder for resultatene av TBT hvor alle resultatene utenom for syv prøver er under rapporteringsgrensen som tilsvarende TKL 4, samt en prøve med forhøyet rapporteringsgrense tilsvarende TKL 5. Dette gjelder prøver tatt i anleggsperioden. I vannprøvene fra sluttovervåkingen etter anleggsarbeidene var ferdig ble det målt konsentrasjoner tilsvarende TKL 5 ved stasjon Stj B, mens konsentrasjonen var under rapporteringsgrensen tilsvarende TKL 4 ved stasjon HIP og ved deponiet.

Det er registrert høyest andel suspendert stoff i vannprøvene som er tatt i forbindelse med overskridelse av turbiditet 5. mai kl. 12.45 og 19. mai på hhv. 40 mg/L og 57 mg/L. I disse prøvene var konsentrasjonen av TBT høy, tilsvarende TKL 5. Det er ikke målt konsentrasjoner av PCB over rapporteringsgrensen til laboratoriet. Dette gjelder også for vannprøvene tatt i uke 16 i 2020 og uke 1 2021 som representerer hhv. bakgrunnsverdier og sluttprøver.

### **3.3.2 Passive prøver**

#### **POM**

Totalt har det blitt analysert 37 stk. POM i prosjektet. Dette inkluderer 3 stk. POM i forbindelse med sluttovervåking etter anleggsarbeidene var avsluttet. Gjennom prosjektet har totalt 7 stk. POM blitt mistet, enten som følge av uvær, båtpåkjørsel slik at stasjonen har blitt dratt langs sjøbunnen og flyttet seg eller at prøvestasjonen har forsvunnet.

Målt konsentrasjon av de ulike PAH-forbindelsene er hovedsakelig innenfor TKL 1 eller 2. Unntakene er i perioden 06.01-03.02.20 hvor pyren og antrascen er i TKL 4 ved Dep 1A, og flere perioder hvor fluoranten er registrert innen TKL 3 ved stasjonene Dep 1A, Dep 2A og Stj B. Analyseresultatene i forbindelse med sluttovervåkingen viser konsentrasjon av PAH innenfor TKL 1 og 2 med unntak av fluoranten som er i TKL 3 ved Stjertebukta.

Det er ikke utarbeidet egne tilstandsklasser for PCB-forbindelser i vann, men konsentrasjonen av sum PCB<sub>7</sub> overstiger miljøkvalitetsstandarden for årlig gjennomsnitt av sum PCB<sub>7</sub> i kystvann på 0,0024 ng/l (Miljødirektoratet, 2016) i prøvepunktene Dep 1A, Dep 2A, Stj B, HiP og Br 2 med unntak av to prøver. Dette gjelder ved Dep 2A i perioden 10.06-08.07.20 og HIP i perioden 27.05-16.06.20 hvor målt konsentrasjon er 0,002 ng/l.

#### **DGT**

Totalt har det blitt analysert 45 stk. DGT Hg og 42 stk. DGT Met for Pb og Cu. Dette inkluderer 3 stk. DGT Hg og DGT Met i forbindelse med sluttovervåking etter anleggsarbeidene var avsluttet. Gjennom prosjektet har det blitt ødelagt/mistet 9 stk. DGT Hg og 12 stk. DGT Met.

Analyseresultatene for Hg ligger stabilt under rapporteringsgrensen tilsvarende TKL 2, og resultatene for Pb og Cu er innenfor TKL 1, TKL 2 eller under rapporteringsgrensen. Det er registret høyere



konsentrasjon av Hg i vannprøvene. Denne forskjellen indikerer at Hg er forbundet med partikler i vannsøylen.

### 3.3.3 Sedimentfeller

Totalt er det analysert 16 prøver av sediment fra sedimentfeller i prosjektet fra seks ulike stasjoner basert på hvor anleggsaktivitetene har pågått. Dette inkluderer også sediment fra sedimentfellene ved stasjonene deponiet, HIP og Stj B i forbindelse med sluttovervåkingen etter anleggsarbeidene var avsluttet. Totalt gjennom prosjektet er det mistet 5 stk. sedimentfeller.

I de fleste av prøvene har det ikke vært nok sediment i sedimentfellene til å analysere alle parameterne. En oversikt over hvilke parametere sedimentet fra de ulike sedimentfellene er analysert for er gitt i **Tabell 3**.

Tabell 3: Oversikt over hvilke parametere som er analysert på i sedimentfellene i forbindelse med rehabilitering av forurenset sjøbunn i Horten havn, markert med "X". Antall parametere er begrenset ut fra mengde prøvemateriell.

Stasjon	Måleperiode	Aktivitet	Metall	PAH	PCB	TBT	TOC
Dep 1A	04.11.19-20.12.19	Deponering mudringsmasser	X	X			
	06.02.20-08.04.20	Deponering mudringsmasser	X	X			
Dep 2A	04.11.19-20.12.19	Deponering mudringsmasser	X	X			
	06.02.20-08.04.20	Deponering mudringsmasser	X	X			
Deponi	07.12.20-04.01.21	Sluttovervåking	X	X			
Stj B	04.11.19-20.12.19	Mudring	X				
	04.05.20-03.06.20	Mudring	X	X	X		
	17.07.20-07.12.20	Tildekking	X	X	X	X	X
	07.12.20-04.01.21	Sluttovervåking	X				
HIP	04.12.19-30.01.20	Mudring	X	X	X		
	02.03.20-08.04.20	Tildekking	X	X			
	29.04.20-12.08.20	Tildekking	X	X	X	X	X
	12.08.20-07.12.20	Tildekking	X	X	X	X	X
	07.12.20-04.01.21	Sluttovervåking	X	X			
Br2	02.01.20-02.03.20	Tildekking	X	X			
	16.06.20-17.07.20	Tildekking	X	X	X	X	

Vekt prøvemateriell fra sedimentfellene og total mengde sedimentert fra sedimentfellene gitt i g/m<sup>2</sup> pr. uke er gitt i **Tabell 4**.

Tabell 4: Data fra sedimentfellene i forbindelse med overvåking under rehabilitering av forurenset sjøbunn i Horten havn, mengde materiale til tørket prøve og total mengde sedimentert gitt som g/m<sup>2</sup> pr. uke.

Stasjon	Måleperiode	Antall uker	Vekt til tørket prøve (g)	Areal sedimentfelle (m <sup>2</sup> )	Totalt sedimentert (g/m <sup>2</sup> /uke)
Dep 1A	04.11.19-20.12.19	6,6	5,17	0,03396	23,2
	06.02.20-08.04.20	8,6	2,53	0,03396	8,7
Dep 2A	04.11.19-20.12.19	6,6	8,17	0,03396	36,6
	06.02.20-08.04.20	8,6	13,32	0,03396	45,6
Deponi	07.12.20-04.01.21	4	3,91	0,0316	30,9
Stj B	04.11.19-20.12.19	6,6	2,62	0,03396	11,7
	04.05.20-03.06.20	4,3	8,5	0,03396	58,2
	17.07.20-07.12.20	20,4	295,4	0,03396	426,4
	07.12.20-04.12.20	4	1,96	0,01639	29,9
HIP	04.12.19-30.01.20	8,1	8,6	0,03396	31,3
	02.03.20-08.04.20	5,3	5,91	0,03396	32,8
	29.04.20-12.08.20	15	14,91	0,02547	39,0
	12.08.20-07.12.20	16,7	122,1	0,03396	215,3
	07.12.20-04.01.21	4	7,03	0,03396	51,7
Br2	02.01.20-02.03.20	8,6	3,13*	0,02547	14,3
	16.06.20-17.07.20	4,4	21,02	0,03396	140,7

\* Prøveemballasjen ble skadet under transport til laboratoriet og noe av innholdet hadde lekket ut. Oppgitt vekt viser derfor minimum mengde sediment som ble samlet inn.

### Deponiet

Kvantifisering av vekt partikler i sedimentfellene viser at det var mer sediment ved stasjon Dep 2A sammenlignet med Dep 1A. Det vil si at det i forbindelse med deponering av mudringsmassene er størst spredning mot sør. Analyseresultatene for sediment fra sedimentfellene i forbindelse med deponering av mudringsmasser viser at flere av de målte forbindelsene er innenfor TKL 4 eller 5. Dette gjelder for metallene kobber (Cu), kvikksølv (Hg) og flertallet av PAH-forbindelsene ved både Dep 1A og Dep 2A.

Under sluttovervåkingen etter anleggsarbeidene var avsluttet ble sedimentfellen plassert i midten av det etablerte, tildekkede sjødeponiet. Sedimentasjonsraten midt i deponiet var en mellomting mellom sedimentasjonsraten ved stasjonene Dep 1A og Dep 2A. Analyseresultatene viser generelt at det har vært en reduksjon av metaller og PAH i sediment fra sedimentfellene, sammenlignet med resultatene fra anleggsperioden. Selv om det er en reduksjon sammenlignet med under anleggsperioden er det fortsatt flere PAH-forbindelser i TKL 4.

### Stjertebukta

Kvantifisering av vekt partikler i sedimentfellene viste at det var ved Stjertebukta det har vært størst spredning i prosjektet. Dette var i forbindelse med tildekkingsarbeidet som pågikk høsten 2020 i perioden 17.07.20-07.12.20 hvor det totalt er sedimentert 426,4 g/m<sup>2</sup>/uke. Sammenlignet med måleperioden i mai-juni er dette en økning på rett over syv ganger. Økningen i sedimenterte partikler skyldes trolig tildekkingsmasser fra tildekkingsarbeidene, men noe av økningen kan også skyldes økt biologisk

produksjon. Total mengde organisk karbon i sedimentprøven, 3,1 % tørrstoff, indikerer at den store økningen i mengde materiale i denne perioden ikke kun skyldes begroing.

Ettersom det har blitt mistet noen sedimentfeller ved stasjonen StjB og ikke har vært nok prøvemateriale til alle analyseparametere i alle prøvene foreligger det kun resultater fra PAH for to prøver, en fra perioden med mudringsarbeidene og en mens det pågikk tildekkingsarbeider. Analyseresultatene viser en nedgang i mengde PAH i partiklene som ble spredt mens det pågikk tildekkingsarbeider sammenlignet med når det pågikk mudring. Det er også hovedsakelig en reduksjon i konsentrasjonen av metallene. For sluttovervåkingen etter anleggsarbeidene var ferdig var det kun nok materiale til analyse av metaller, konsentrasjonene tilsvarte TKL 1-3.

## HIP

Ved stasjonen HIP har det helt tydelig vært størst spredning i forbindelse med tildekkingsarbeidet som pågikk høsten 2020, tilsvarende som ved Stjertebukta. Det er uvisst om økningen skyldes tildekkingsmasser eller økning i biologisk produksjon, evt. en kombinasjon. Sammenlignet med de tidligere målingene var det en økning på rundt seks ganger. I forbindelse med sluttovervåkingen etter anleggsarbeidene var ferdig avtok sedimentasjonsraten, men er fortsatt noe høyere enn første periode i anleggsfasen.

Analyseresultatene for sedimentet fra HIP viser generelt lavere konsentrasjoner av metaller og PAH-forbindelser sammenlignet med analyseresultatene fra deponiet og Stjertebukta. For PAH er det generelt en lavere grad av forurensning i prøvene fra tildekkingsarbeidene sammenlignet med mudringsarbeidene. Resultatene for PAH-forbindelsene i sluttovervåkingen etter anleggsarbeidene var ferdig viste høyere konsentrasjoner sammenlignet med de siste resultatene mens det pågikk tildekkingsarbeider. For PAH er flere av enkeltforbindelsene i TKL 4. Total mengde organisk karbon i sedimentprøven, 4 % tørrstoff, indikerer at den store økningen i mengde materiale i denne perioden ikke kun skyldes begroing.

## Utenfor Kongsberg Maritime

Utenfor Kongsberg Maritime ble det registrert den største økningen i oppsamlet mengde partikler ved samme stasjon i løpet av prosjektet. I forbindelse med tildekkingsarbeidene i perioden 16.06.20-17.07.20 er det registrert en økning på ti ganger sammenlignet med forrige måleperiode ved Br2. Det er uvisst om økningen skyldes tildekkingsmasser eller økning i biologisk produksjon. Analyseresultatene fra Br2 viser høyere konsentrasjoner av Cu og Zn sammenlignet med analyseresultatene fra de andre stasjonene, men lavere konsentrasjoner av PAH-forbindelsene. Analyseresultatene viser at det hovedsakelig har vært spredning av rene masser i denne perioden med unntak av kobber som er i TKL 5 og sink og antracen i TKL 3. De lavere konsentrasjonene av miljøgifter tyder på at økningen skyldes tildekkingsmasse eller biologisk materiale.

## Oppsummering av sedimentfelledata for sluttovervåkingen

Felledataene etter tiltaket viser at konsentrasjonen av PAH i sedimentert materiale ikke tilfredsstillende miljømålene for tiltaket. Målestasjonene HIP og Stj-B står utenfor tildekket område mens Dep er i tildekket område. Det er viktig å følge opp sedimentasjon innenfor tildekkingsområdene i videre overvåking.

Analyseresultatene viser at det var overskridelser i TKL 4 for antracen, fluorantene, pyren, benzo(b)fluoranten, indeno(1,2,3-cd)pyren og benzo(ghi)perylene og TKL 3 for arsen, nikkel, sink og benzo(a)antracen ved Deponiet. Ved HIP var det overskridelser i TKL 4 for antracen, pyren, benzo(b)fluoranten, indeno(1,2,3-cd)antracen og benzo(ghi)perylene og TKL 3 for naftalen, benzo(a)antracen, benzo(a)pyren, dibenzo(a,h)antracen og sink. Ved StjB var det kun nok materiale til analyse av metaller. Det er målt overskridelser av kvikksølv og sink i TKL 3.

### 3.4 Kjemisk kontroll av masser til deponi

I henhold til vilkår i tillatelsen skulle mudringsmassene prøvetas minimum hver 3000 m<sup>3</sup> for dokumentasjon på hva som ble lagt i sjødeponiet. Det ble hovedsakelig laget en blandprøve av mudringsmassene bestående av fire delprøver. Det ble tatt en prøve av mudringsmassene fra første lekter pr. dag som ved slutten av arbeidsuka, på torsdagen, ble blandet til en blandprøve. I perioder med lav mudringsaktivitet ble det tatt ut ca. 4 delprøver pr. 3000 m<sup>3</sup> som ble blandet til en prøve. En oversikt over mengde mudret, området som ble mudret og mudringsperiode for hver prøve er gitt i **Tabell 5**.

Tabell 5: Oversikt over kontrollprøver av mudringsmassene i forbindelse med rehabilitering av forurenset sjøbunn i Horten havn, 2019-2020.

Prøve	Mudringsperiode	Mengde mudret	Mudringssted	Antall delprøver
Uke 47	12.11.19-21.11.19	3120 m <sup>3</sup>	Stjertebukta, FFI-kaien	4 stk.
Uke 48	21.11.19-28.11.19	2400 m <sup>3</sup>	Stjertebukta	4 stk.
Uke 49	02.12.19-05.12.19	1600 m <sup>3</sup>	Stjertebukta	5 stk.
Uke 50	09.12.19-12.12.19	2700 m <sup>3</sup>	Stjertebukta, Kongsberg maritime	5 stk.
Uke 51	16.12.19-18.12.19	1800 m <sup>3</sup>	Stjertebukta	3 stk.
Uke 2	19.12.19-09.01.20	2550 m <sup>3</sup>	Stjertebukta	4 stk.
Uke 3+4	14.01.20-23.01.20	3000 m <sup>3</sup>	Stjertebukta	4 stk.
Uke 5	27.01.20-05.02.20	3000 m <sup>3</sup>	Stjertebukta	4 stk.
Uke 6+7+8	05.02.20-17.02.20	2700 m <sup>3</sup>	Stjertebukta, Svendsenkaien	4 stk.
*	18.02.20-15.04.20	5434 m <sup>3</sup>	Stjertebukta, sykehuskaien	-
Uke 19	04.05.20-05.05.20	540 m <sup>3</sup>	Stjertebukta	4 stk.

\* Foreligger ikke prøve, se avvik 015

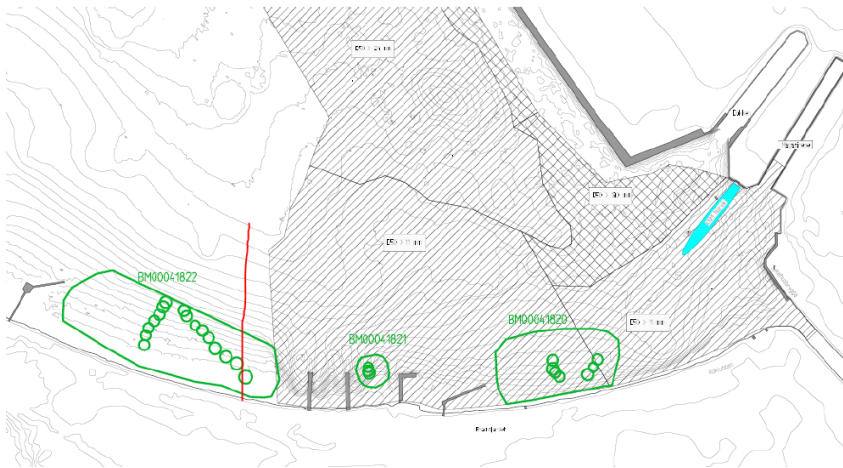
Analyseresultatene viser at mudringsmassene deponert i løpet av 2019 har et høyt innhold av organisk karbon (TOC) på mellom 2-5,1 %. I denne perioden var konsentrasjonen av kvikksølv (Hg), sum PCB<sub>7</sub> og flertallet av enkeltforbindelsene i PAH<sub>16</sub> i TKL 4 eller 5. Massene deponert i 2020 har TOC på rundt 1-1,5 %, med unntak av prøven fra uke 19 med TOC på 3,8 %. Massene som ble mudret i løpet av de 5 første ukene i 2020 hadde generelt lavere konsentrasjoner av metaller, PCB<sub>7</sub> og PAH<sub>16</sub> sammenlignet med massene mudret i 2019. Med unntak av to prøver i TKL 2, uke 5 og uke 6-8, var konsentrasjonen av TBT i TKL 4-5. For PCB var målt konsentrasjon i TKL 4-5 for alle massene som ble mudret i 2019. I 2020 var konsentrasjonen av sum PCB<sub>7</sub> i TKL 3 frem til siste prøve, uke 19, som var TKL 4.

### 3.5 Kontroll av ålegrassområder

Det er flere forekomster av ålegrass i Indre havn, Horten. Områdene som er kontrollert av PEAB i forbindelse med tiltakene ligger vest for område 3S, samt nordøst for Stjertebukt. Ålegrass som er innenfor tiltaksområdene har ikke blitt hensyntatt.

Det har blitt gjort flere tiltak for å forebygge og kontrollere at ålegressområder utenfor tiltaksområder ikke blir slammet ned under mudring og tildekking. Hovedmetoden for kontroll har vært å plassere turbiditetsmålere slik at eventuelle turbiditetsskyer på vei mot ålegresset blir fanget opp. Sedimentfeller har også gitt en indikasjon på mengden masser som har vært i bevegelse i ulike perioder.

I vilkår fra Statsforvalteren i Vestfold og Telemark er det beskrevet at ålegrasseng vest for tiltaksområde 3S særskilt skal skjermes mot nedslamming. Her ble det gjort en vurdering på at det var hensiktsmessig å sette ut siltgardin for å skjerme ålegresset. Denne sto ute ved mudring og tildekking av filterlag i området nært ålegressengen. Se **Figur 17** for forekomster av ålegress (grønt) og posisjon til siltgardin (rød strek).



Figur 17: Siltgardin og ålegressforekomster Indre havn. Figur hentet fra NGI (2019b), siltgardin tegnet inn i på eksisterende figur.

Som et siste tiltak ble ålegressområder nord-øst for Stjertebukt kontrollert med dykkere og ROV etter tildekking. Konklusjon etter inspeksjonen var at det ikke var tegn til nedslamming av planter eller sjøbunn i disse områdene.

### 3.6 Oppsummering av gjennomført overvåking

For å tilfredsstille kravene gitt i vilkår til tillatelsen fra Statsforvalteren i Vestfold og Telemark har det blitt gjennomført overvåking av tiltaket. Det har blitt utarbeidet et prosjektspesifikt kontroll- og overvåkingsprogram hvor det var lagt opp til overvåking ved bruk av online turbiditetsmåler, vannprøver, sediment fra sedimentfeller og passive prøvetakere. Overvåkingen har hovedsakelig vært i tråd med kontroll og overvåkingsplanen, avvik er gitt i kap. 5 Avvik, uønskede hendelser og avbøtende tiltak.

Ved bruk av online turbiditetsmåling er det gjennomført kontinuerlig overvåking av turbiditet i de områdene det pågikk anleggsarbeider. I tillegg har det blitt tatt regelmessige vannprøver og gjennomført overvåking ved bruk av passive prøvetakere og sedimentfeller for å dokumentere biotilgjengelig og partikkelbundet forurensning. Det er også tatt vannprøver ved overskridelse av grenseverdi for turbiditet. Det er gjennomført prøvetaking av mudringsmassene som er deponert i sjødeponiet for dokumentasjon av massenes innhold av metaller og organiske miljøgifter.

Registrerte avvik er blant annet knyttet til prøvetakingsutstyr som er mistet, arbeid uten turbiditetsmåler, arbeid ved overskridelse av turbiditet og manglende vannprøvetaking ved overskridelse av turbiditet.

## 4 Sluttkontroll

### 4.1 Kontroll av mektighet til filterlag og erosjonslag

Det er utarbeidet egne rapporter for hvert delområde hvor mektigheten til filterlag og erosjonslag er dokumentert med flere metoder. Dette kapittelet gir en kort oppsummering av resultatene. For mer detaljer knyttet til dokumentasjon av lagtykkelser henvises det til disse rapportene for sluttkontroll som er levert til Horten kommune. Hver sluttrapport er behandlet av Byggherre, med Byggherres vurdering samt eventuelle supplerende tiltak. Notat supplerende tildekking lukker de åpne tiltak beskrevet i tilbakemeldingsrapportene.

- > PEAB (2020) *Sluttkontroll Mellomøya, Rev B*  
Ren Indre havn (2020) Byggherres tilbakemelding sluttrapport tildekking for delområde Mellomøya Rev B
- > PEAB (2020) *Sluttkontroll Østøya, Rev B*  
Ren Indre havn (2020) Byggherres tilbakemelding sluttrapport tildekking for delområde Østøya Rev B
- > PEAB (2020) *Sluttkontroll 3MN, Rev B*  
Ren Indre havn (2020) Byggherres tilbakemelding sluttrapport tildekking for delområde 3MN Rev B
- > PEAB (2020) *Sluttkontroll HIP Ytre, Rev B*  
Ren Indre havn (2020) Byggherres tilbakemelding sluttrapport tildekking for delområde HIP Ytre Rev B
- > PEAB (2020) *Sluttkontroll HIP Indre, Rev A*  
Ren Indre havn (2020) Byggherres tilbakemelding sluttrapport tildekking for delområde HIP Indre Rev A
- > PEAB (2020) *Sluttkontroll HIP Sør, Rev C*  
Ren Indre havn (2020) Byggherres tilbakemelding sluttrapport tildekking for delområde HIP Sør Rev C
- > PEAB (2020) *Sluttkontroll Stjertebukt del 1, Rev B*  
Ren Indre havn (2020) Byggherres tilbakemelding sluttrapport tildekking for delområde Stjertebukt del 1 Rev B
- > PEAB (2020) *Sluttkontroll Stjertebukt del 2, Rev A*  
Ren Indre havn (2020) Byggherres tilbakemelding sluttrapport tildekking for delområde Stjertebukt del 2 Rev A
- > PEAB (2021) *Sluttkontroll Deponi, Rev A*  
Ren Indre havn (2021) Byggherres tilbakemelding sluttrapport tildekking for delområde Deponi Rev A
- > PEAB (2021) *Notat Supplerende tildekking*

#### 4.1.1 Mellomøya (delområde 6Y)

Ved delområde Mellomøya er det tildekket ca. 4364 m<sup>2</sup> med natursand fra Svelviksand og erosjonsmasser 0-22 mm. De tre metodene som er benyttet for dokumentasjon av filterlaget er kartlegging med multistråleekkolodd, målepinner og kjerneprøver. På grunn av store usikkerheter rundt ekkoloddmålingene er det valgt å fokusere på de to sistnevnte. En av to målepinner og ti av tretten kjerneprøver viser tilfredsstillende resultat. Resten viser mektighet på 1-5 cm mindre enn toleransen. Det er derfor konkludert med at delområde Mellomøya har et filterlag som stort sett er innenfor kravene, men stedvis tynt. Kompenserende tiltak for tynne områder vil være å legge 5 cm tykkere erosjonslag, D50 > 3 mm. Siden området er så lite og utføres kompenserende tiltak over hele delområdet.

Metodene for dokumentasjon av erosjonslaget er boniteringsprøver, kartlegging med multistråleekkolodd og en volumvurdering. Summen av resultatene fra alle målemetodene tilsier at delområde Mellomøya er tildekket med et tilstrekkelig godt erosjonslag. Ved å legge et noe tykkere erosjonslag, 15 cm i stedet for 10 cm som var prosjektert, er også den totale tildekkingsstykkelsen ivaretatt

#### 4.1.2 Østøya (delområdet 8)

Ved delområde Østøya er det tildekket ca. 7700 m<sup>2</sup> med natursand fra Svelviksand i en lagtykkelse på 20-25 cm. Strandsonen ved Østøya er svært grunn og det er tatt en beslutning på at filterlaget utgår. Innerste område, grunnere enn ca. 1,5 m, er derfor bare tildekket med erosjonslag.

De tre metodene som er benyttet for dokumentasjon av filterlag er kartlegging med multistråleekkolodd, målepinner og kjerneprøver. På grunn av store usikkerheter rundt ekkoloddmålingene er det valgt å fokusere på de to sistnevnte. Samtlige målepinner og kjerneprøver fordelt over området viser tilfredsstillende resultat. Det er derfor konkludert med at delområde Østøya har et filterlag som er i henhold til kravene når det gjelder lagtykkelse.

Metodene for dokumentasjon av erosjonslaget er boniteringsprøver og kartlegging med multistråleekkolodd. Summen av resultatene fra alle målemetodene tilsier at delområde Østøya er tildekket med et tilstrekkelig godt erosjonslag. Den totale tildekkingsstykkelsen er også ivaretatt.

#### 4.1.3 3MN – Konsberg Maritime

Ved delområde 3MN er det tildekket ca. 62 000 m<sup>2</sup> med natursand fra Svelviksand i en lagtykkelse på 20 cm og 25 cm, samt 10 cm erosjonssikring med masser av type 0/63 mm og 0/22 mm.

De tre metodene som er benyttet for dokumentasjon av filterlaget er kartlegging med multistråleekkolodd, målepinner og kjerneprøver. Fem av seks målepinner og 29 av 30 kjerneprøver viser tilfredsstillende resultat. Resten viser mektighet på 2-5 cm mindre enn toleransen. Resultatene fra kartlegging med multistråleekkolodd viser også at tildekkingslaget er godt, riktignok med noen flere usikkerheter enn målesøylene og kjerneprøvene. På bakgrunn av dette er det konkludert med at delområde 3MN har et filterlag som er innenfor kravene.

Metodene for dokumentasjon av erosjonslaget er hovedsakelig boniteringsprøver og kartlegging med multistråleekkolodd. Alle 28 boniteringsprøver viser målinger på minimum prosjektert lagtykkelse. Summen av resultatene fra alle målemetodene tilsier at delområde 3MN er tildekket med et tilstrekkelig godt erosjonslag. Den totale tildekkingsstykkelsen er også ivaretatt.

#### 4.1.4 HIP (delområde 1M, 1S, 2S og 3S)

Ved delområde HIP er det tildekket ca. 280 000 m<sup>2</sup> med natursand fra Svelviksand i en lagtykkelse på 20 cm og 25 cm samt erosjonssikring av ulike fraksjoner; 0-22 mm, 0/63 mm, 0/63 mm mix, natursand, 22-125 mm og 22-250 mm.

De tre metodene som er benyttet for dokumentasjon av filterlaget er kartlegging med multistråleekkolodd, målepinner og kjerneprøver. 6 av 10 målepinner og 110 av 120 kjerneprøver viser tilfredsstillende resultat. Resultatene fra kartlegging med multistråleekkolodd viser jevnt over et greit resultat, med de usikkerhetene som medfølger metoden. Det er utført re-tildekking av enkelte områder hvor filterlaget kunne se ut til å være litt tynt. Etter disse tiltakene er delområde HIP tildekket og dokumentert i henhold til prosjektets krav og toleranser.

Metodene for dokumentasjon av erosjonslaget er hovedsakelig boniteringsprøver og kartlegging med multistråleekkolodd. Summen av resultatene fra alle målemetodene tilsier at delområde HIP er tildekket med et tilstrekkelig godt erosjonslag bortsett fra et område nord i området samt tre mindre felt. Alle disse ble re-tildekket og den totale tildekkingsstykkelsen er godt ivaretatt.

#### 4.1.5 Stjertebukt (delområde 11)

Ved delområde Stjertebukt er det tildekket ca. 64 000 m<sup>2</sup> med natursand fra Svelviksand i en lagtykkelse på 20 cm og 25 cm samt erosjonssikring 0/63 mm eller natursand i lagtykkelser 10-20 cm.

De to metodene som er benyttet for dokumentasjon av filterlag er kartlegging med multistråleekkolodd og kjerneprøver. 11 av 12 kjerneprøver viser tilfredsstillende resultat. Resultatene fra begge målemetodene viser stort sett et jevnt lag innenfor toleransekravene i Stjertebukt. Som et tiltak for å sikre 100 % tilstrekkelig tildekking ble det lagt ekstra filterlag i nordlig del samt et område midt i bukten.

Metodene for dokumentasjon av erosjonslaget er hovedsakelig boniteringsprøver og kartlegging med multistråleekkolodd. I de indre delene av Stjertebukt er erosjonslaget økt fra 10 cm til 20 cm for å sikre tilstrekkelig tildekking. Fraksjonen ble også endret til Svelviksand i stedet for grovere masser. Målinger viser at både erosjonslag og totaltykkelse er i henhold til krav og toleranser i Stjertebukt.

#### 4.1.6 Deponi

Ved delområde Deponi er det tildekket ca. 12 000 m<sup>2</sup> med natursand fra Svelviksand i en lagtykkelse på 20 cm samt erosjonssikring natursand i lagtykkelser 10-20 cm.

De to metodene som er benyttet for dokumentasjon er kartlegging med multistråleekkolodd og kjerneprøver tatt av dykker. På grunn av setninger i de deponerte massene er kartleggingen mer usikker her enn i andre områder. Derfor er kjerneprøver brukt som hovedmetode. De første kjerneprøvene som ble tatt viste varierende resultat. Etter re-tildekking av filterlag og stedvis økt tykkelse på erosjonslag viser prøvetaking at deponiet er tildekket med tilstrekkelig lagtykkelser, både filterlag, erosjonslag og totaltykkelse.



## 4.2 Kontroll av kjemisk tilstand i filterlag

Det er utarbeidet en rapport med sammenstilling av resultatene fra prøvetaking av filterlag for kjemisk karakterisering, *Kjemisk kontroll av tildekkingslag, Horten Indre havn* (COWI, 2020b). Rapporten er gitt i vedlegg 2. Under følger en oppsummering av analyseresultater. En oppsummering av metode for prøvetakingen av filterlaget er gitt i kap. 2.8 Dokumentasjon av kjemisk tilstand på ny sjøbunn.

Det ble tatt totalt 61 prøver av filterlaget som ble sendt til analyse. Av de 61 prøvene er det 5 prøver som utgår da sjøbunnen ikke oppfylte kravene for kjemisk konsentrasjon på tidspunktet da prøvene ble tatt. Disse områdene ble dekket til ytterligere og det ble tatt nye prøver. Disse prøvene inngår i foreliggende rapportering.

Rapporteringsgrensen for antracen er hovedsakelig 10 µg/kg, som ligger i nedre halvdel av TKL 3. Utenom dette er det kun to prøver som er registrert som TKL 3 som utgjør 3,6 % av prøvene av tildekkingslaget. Dette gjelder prøve HIP-6 med sum PCB7 og StjB-6 med antracen. For områdene 6Y, 8, 3MN, HIP og deponiet viser analyseresultatene at tildekkingslaget i Horten indre havn oppfyller kravene fra Statsforvalteren i Vestfold og Telemark for kjemisk konsentrasjon i tildekkingslaget.

I tillatelsen fra Statsforvalteren står det at en av ti prøver i hvert delområde kan overskride tilstandsklasse 2, men kan likevel ikke overskride tilstandsklasse 3. I Stjertebukta foreligger det ikke ti prøver, men det er gjennomført en beregning av gjennomsnittskonsentrasjonen for antracen iht. veileder M-409 (Miljødirektoratet, 2015) som viser at den ene prøven i TKL 3 kan anses å være en akseptabel risiko og at området kan "friskmeldes". På bakgrunn av dette er det konkludert med at delområdet Stjertebukta også kan godkjennes. Dette styrkes også av at det for alle de resterende prøvene hovedsakelig ikke er påvist noen enkeltforbindelser av PAH, kun enkelte forbindelser i TKL 2 i den ene prøven.

En oversikt over prøvepunkter og dårligst målte tilstandsklasse for hvert av delområdene er vist i **Figur 18-Figur 23**. Konsentrasjoner under rapporteringsgrensen er ikke hensyntatt da flere av PAH-forbindelsene har rapporteringsgrense tilsvarende TKL 2, samt antracen som hovedsakelig har rapporteringsgrense tilsvarende TKL 3.



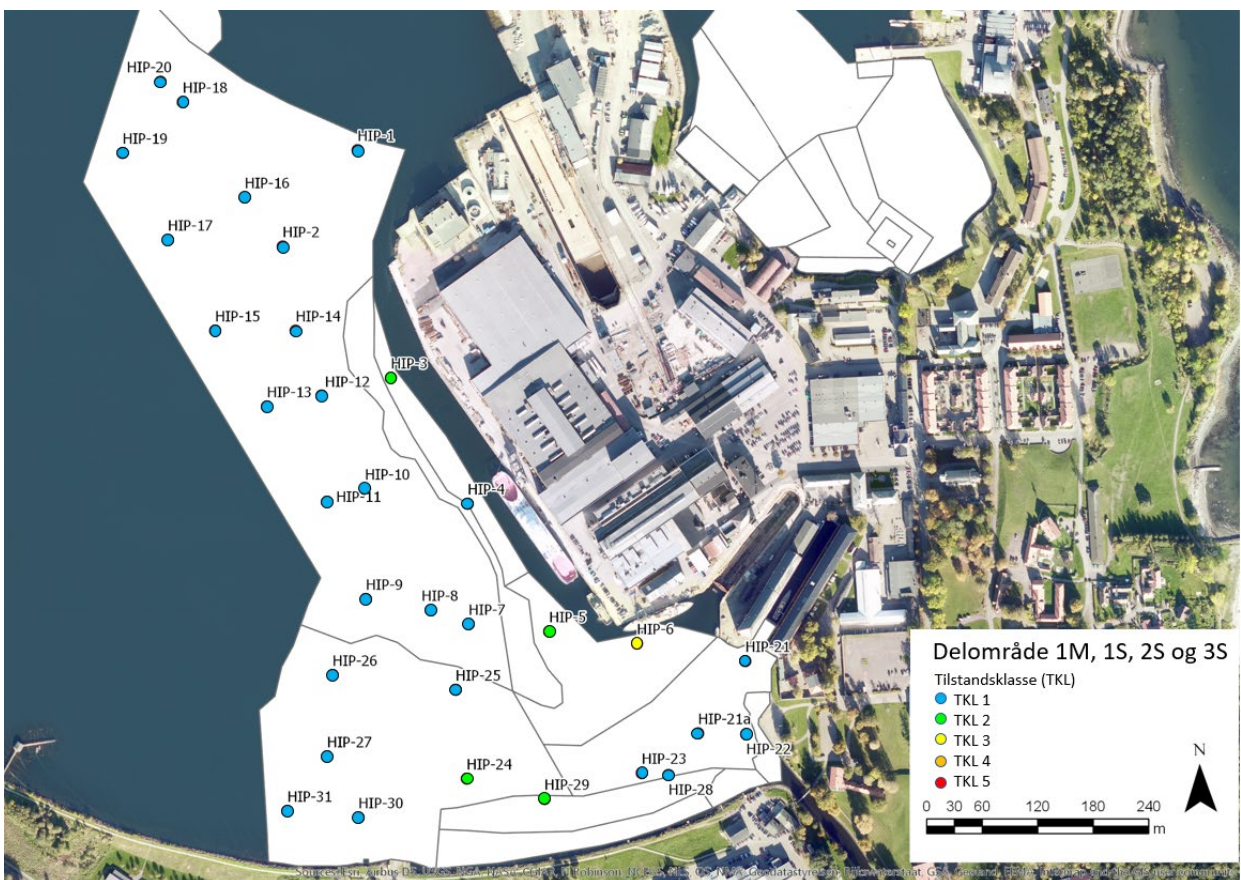
Figur 18: Oversikt over høyeste registrerte tilstandsklasse for metaller, PAH og PCB i filterlaget ved Østøya i forbindelse med prosjektet Ren Indre havn Horten, 2019-2020. Konsentrasjoner under rapporteringsgrensen er ikke tatt med.



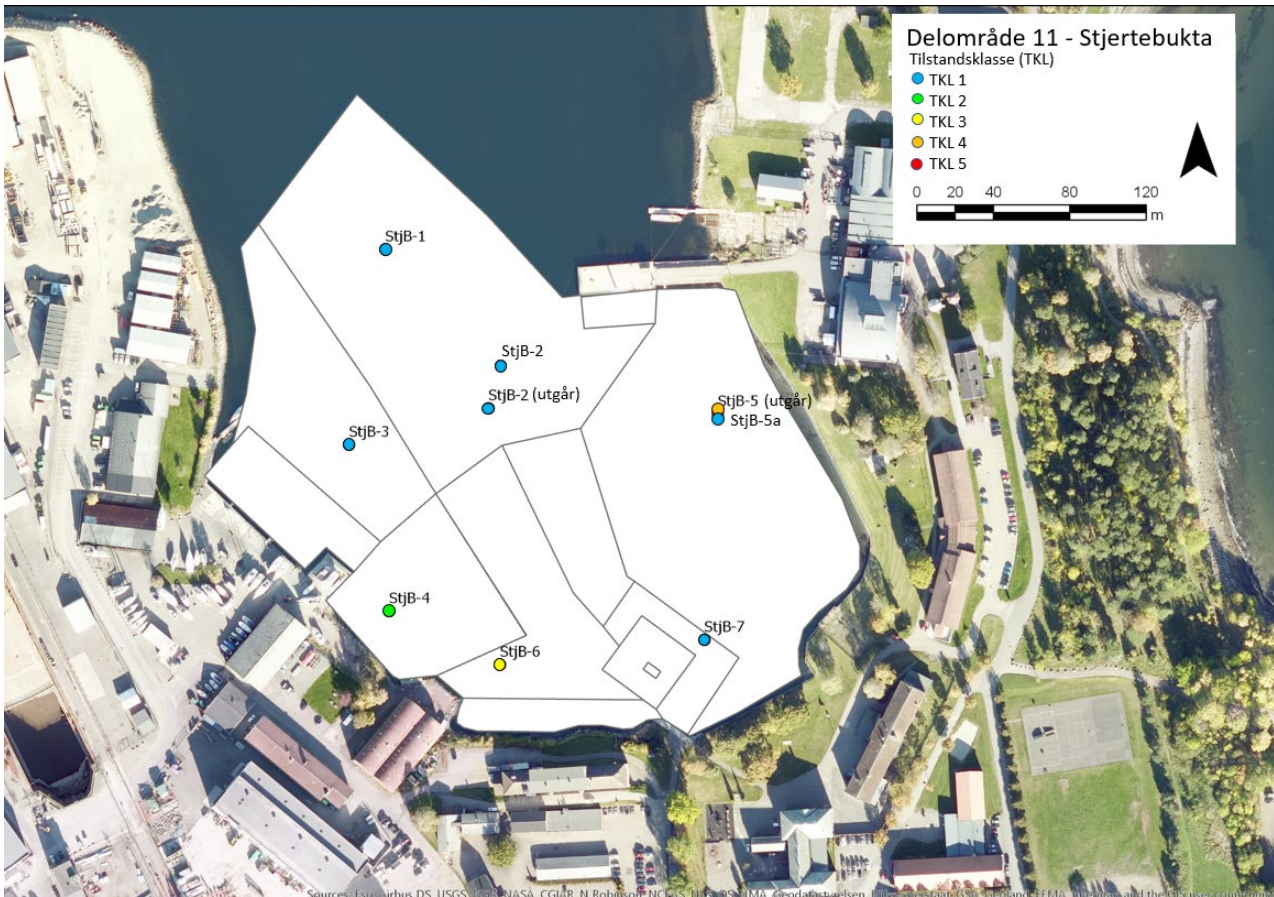
Figur 19: Oversikt over høyeste registrerte tilstandsklasse for metaller, PAH og PCB ved Mellomøya i forbindelse med prosjektet Ren Indre havn Horten, 2019-2020. Konsentrasjoner under rapporteringsgrensen er ikke tatt med.



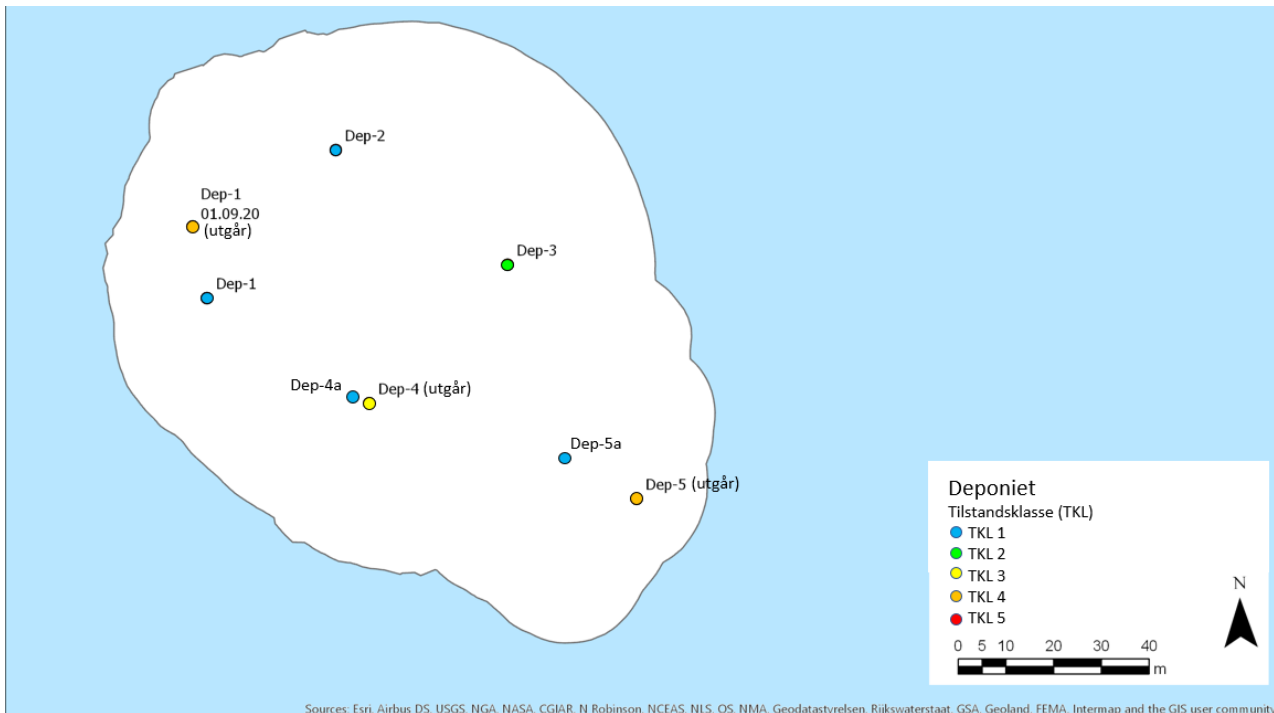
Figur 20: Oversikt over høyeste registrerte tilstandsklasse for metaller, PAH og PCB ved Bromsjordet, utenfor Kongsberg Maritime i forbindelse med prosjektet Ren Indre havn Horten, 2019-2020. Konsentrasjoner under rapporteringsgrensen er ikke tatt med.



Figur 21: Oversikt over høyeste registrerte tilstandsklasse for metaller, PAH og PCB ved delområdene 1M, 1S, 2S og 3S i forbindelse med prosjektet Ren Indre havn Horten, 2019-2020. Konsentrasjoner under rapporteringsgrensen er ikke tatt med.



Figur 22: Oversikt over høyeste tilstandsklasse registrerte for metaller, PAH og PCB i Stjertebukta i forbindelse med prosjektet Ren Indre havn Horten, 2019-2020. Konsentrasjoner under rapporteringsgrensen er ikke tatt med.



Figur 23: Oversikt over høyeste registrerte tilstandsklasse for metaller, PAH og PCB for tildekkingslaget på deponiet i forbindelse med prosjektet Ren Indre havn Horten, 2019-2020. Konsentrasjoner under rapporteringsgrensen er ikke tatt med.

### 4.3 Oppsummering av gjennomført sluttkontroll

Sluttkontroll for lagtykkelse er gitt i egne rapporter for hvert delområdene, se kapittel 4.1. Av hensyn til rapportens lengde er disse ikke inkludert som vedlegg i denne rapporten. Alle delområder er tildekket med filterlag og erosjonslag i henhold til prosjektets krav og toleranser. Dette er dokumentert med flere metoder hvor det er konkludert ut ifra en totalvurdering av alle metodene.

Totalt har det blitt tildekket rundt 437 293 m<sup>2</sup> i Horten havn fordelt på seks ulike delområder, inkludert tildekking av sjødeponiet for de mudrede massene. Det har blitt tatt totalt 61 prøver av filterlaget som har blitt sendt til analyse, hvorav 56 prøver representerer den nye sjøbunnen. De siste fem prøvene utgår ettersom sjøbunnen på prøvetakingstidspunktet ikke oppfylte kravet til kjemisk konsentrasjon og området ble dekket til og prøvetatt på nytt.

Rapporteringsgrensen for antracen er hovedsakelig 10 µg/kg, som ligger i nedre halvdel av TKL 3. Utenom dette er det kun to prøver som er registrert som TKL 3 som utgjør 3,6 % av prøvene av tildekkingslaget. Dette gjelder prøve HIP-6 med sum PCB7 og StjB-6 med antracen. Med unntak av dette viste analyseresultatene at tildekkingslaget oppfyller kravet til kjemisk konsentrasjon med TKL 2 eller lavere. Prøvene i TKL 3 er vurdert til å utgjøre en akseptabel risiko.

### 4.4 Måloppnåelse

Som tiltaks mål for prosjektet har Statsforvalteren i Vestfold og Telemark satt som krav at etter gjennomført tildekking skal sjøbunnen i tiltaksområdet tilfredsstillende TKL 2 eller bedre for bly, kvikksølv, PAH<sub>16</sub> og sum PCB<sub>7</sub>) i minimum ni av ti stasjoner i hvert delområde. Én av ti prøver i hvert delområde kan overskride TKL 2, men kan likevel ikke overskride TKL 3. På lang sikt skal sedimentene minimum tilfredsstillende tilstandsklasse 3 for de overnevnte parameterne (Fylkesmannen i Vestfold og Telemark, 2019).

Resultatet fra sedimentprøvene som er tatt av den nye sjøbunnen viser at metallene bly og kvikksølv er i TKL 2 eller lavere for alle prøvene. For PAH<sub>16</sub> er rapporteringsgrensen for antracen hovedsakelig 10 µg/kg, som ligger i nedre halvdel av TKL 3. Utenom dette er det kun to prøver som er registrert som TKL 3, prøve HIP-6 med sum PCB7 og StjB-6 med antracen. Prøvene i TKL 3 er vurdert til å utgjøre en akseptabel risiko, og det er derfor vurdert at miljømålet i prosjektet er nådd.

Når det gjelder entreprenør sitt mål om tildekking innenfor toleranser for lagtykkelse viser kartlegging, målinger og kontroll at dette er oppnådd og at tiltaksområdet i Horten Indre havn har fått en ny og renere sjøbunn.

## 5 Avvik, uønskede hendelser og avbøtende tiltak

I prosjektet er det benyttet to typer avvik:

- > Avvik knyttet til HMS. Gjelder farlige forhold, situasjoner, nesten-ulykker, ulykker som innebærer en risiko for helse, miljø eller sikkerhet. Eksempler på RUH-er i prosjektet er manglende bruk av personlig vernutstyr, utrygg tilkomstvei, mindre oljesøl ved bruk av maskiner etc. Disse er ført som RUH (Rapport Uønsket Hendelse) og er *ikke* inkludert i denne oversikten.
- > Avvik knyttet til gjennomføring av tiltaket, kvalitetssikring, miljøovervåkning (kontroll- og miljøovervåkingsplan) og Statsforvalterens tillatelse. En oversikt over alle slike hendelser som er registrert i prosjektet med tilhørende avbøtende tiltak som er utført er gitt i **Tabell 6**. Alle avvik er lukket ved prosjektslutt.

Tabell 6: Oversikt over avvik knyttet til gjennomføring av tiltaket, kvalitetssikring, miljøovervåkning og Statsforvalterens tillatelse for prosjektet Ren Indre havn Horten.

Avvik nr.	Tittel, beskrivelse	Avbøtende tiltak
001	<b>Vannprøver før oppstart</b> Ikke tatt vannprøver (bakgrunnsprøver) til kjemisk analyse før oppstart av mudring og tildekking.	Tok bakgrunnsprøver etter stopp i juleferien. Disse ble borte i frakt/levering. Nytt avbøtende tiltak var å ta bakgrunnsprøver etter pause i anleggsarbeidene etter påskeferien.
002	<b>Mudring uten turbiditetsmåler ved område 3MN</b> Mudring uten turbiditetsmåler ved Kongsberg Maritime den 10.12.2019. Arbeidet pågikk i 1 t og 45 min.	PEAB informerer tettere om arbeider som skal foregå slik at COWI kan kontrollere at overvåkingen gjøres iht. kontroll- og overvåkingsplanen.
003	<b>Kvantifiseringsgrense PAH</b> Oppdaget at kvantifiseringsgrensen (LOQ) for enkelte PAH-forbindelser er høyere enn tilstandsklasse 2 ved de første vannprøvene. Ikke mulig å si om konsentrasjonen er i TKL 2 eller lavere.	Videre benyttes annen analysekode som gir LOQ som tilfredsstillende vannforskriften.
004	<b>Tildekking uten turbiditetsmåler ved 3MN</b> Fra 10.01.20 kl. 14.45 til 13.01.20 kl. 10.30 var turbiditetsmåleren som skulle overvåke tildekking i området 3MN utenfor Kongsberg maritime tom for batteri og dermed ute av drift.	Batteri skiftet og måler i drift igjen for videre arbeid.
005	<b>Forsvunne vannprøver</b> Vannprøver, som skulle representere bakgrunnsverdier i Horten Indre havn, skulle bli hentet med ekspresshenting gjennom Eurofins og DHL. Prøvene ble borte i frakt.	Nye vannprøver ble tatt etter pause i anleggsarbeidene etter påskeferien.

006	<b>Dieselsøl Falksund</b> Lastebåt som frakter tildekkingsmasser i prosjektet hadde et større dieselutslipp til sjø i forbindelse med tømning av ballasttanker. Omfanget av utslippet (antall liter) er ukjent. Tæreskade mellom ballasttank og dieseltank.	Skade utbedret. Sjøfartsdirektoratet om bord for kontroll før kunne seile videre.  Vær og sjø førte til at dieselen i sjøen ble oppløst av seg selv.
007	<b>Tildekking uten turbiditetsmåler ved HIP</b> Fra 20.01.20 kl. 16.45 til 21.01.20 kl. 12.30 var turbiditetsmåleren som skulle overvåke tildekking i område med HIP-kaien tom for batteri uten at det ble oppdaget.	Batteri skiftet og måler i drift igjen for videre arbeid.
008	<b>Ødelagt DGT</b> DGT for analyse av bly ved stasjon Dep 2A i en periode har blitt ødelagt og kan ikke analyseres. Mangler sorpsjonslaget.	Ingen avbøtende tiltak. Manglende prøveresultat kan ikke erstattes.
009	<b>Mistet turbiditetsmåler prøvestasjon StjB</b> Flyterigg med turbiditetsmåler, sedimentfelle og passive prøvetakere tatt av uvær 9. januar 2020.	Satt ut nytt overvåkningsutstyr som erstatter det som forsvant.
010	<b>Turbiditetsoverskridelser ved mudring i Stjertebukta</b> Utført mudringsarbeid i Stjertebukta når turbiditetsmåler har vist for høye verdier. To tilfeller hvor det ble arbeidet med forhøyet turbiditet, 11.01.20 med overskridelse fra kl. 14.35-15.10 og 12.01.20 med overskridelse fra 10.15-12.00.	Arbeid stoppet selv om det var litt sent.
011	<b>Tildekking uten turbiditetsmåler i drift ved Stjertebukta</b> Ved rutinemessig batteriskift ble det satt ut et utladet batteri. Ikke kontrollert at måleren fungerte. Turbiditetsmåler uten batteri i perioden 18. mars kl. 02.25 til 25. mars kl. 08.02 mens det pågikk tildekkingsarbeider i Stjertebukta.	Batteri skiftet og måler i drift igjen for videre arbeid.
012	<b>Intern feil hos lab</b> Intern feil hos lab førte til at det ble gitt feil konsentrasjon for sink i to vannprøver. Konsentrasjonen av sink ble redusert fra 1300 µg/l til hhv. 130 µg/l og 120 µg/l.	Rapport oppdatert med nye, riktige analyseresultater. Ingen andre avbøtende tiltak nødvendig.
013	<b>Turbiditetsoverskridelse uten vannprøve ved Stjertebukta</b> Ikke tatt vannprøve etter overskridelse i mer enn 30 min ved mudringsarbeid i Stjertebukta den 3. mars 2020. Arbeidet var stoppet, men burde tatt en vannprøve for å kontrollere innholdet i turbiditeten.	Ingen avbøtende tiltak
014	<b>Turbiditetsoverskridelse under mudring ved Stjertebukta</b> Mudring i Stjertebukta selv om måleren viste høye verdier ved to tilfeller den 06.04.20. I det ene tilfellet pågikk arbeidene 30 min utover de 30 min i tillatelsen og i det andre tilfellet 10 min utover de 30 min.	Ingen avbøtende tiltak.
015	<b>Manglende prøver fra mudringsmasser</b> Manglende prøvetaking fra mudringsmasser i en periode. 5200	Fortsetter prøvetaking ved mudring. Totalt er det

	m <sup>3</sup> ble mudret uten prøve. Skal utføres pr. 3000 m <sup>3</sup> . Har prøver fra samme område fra tidligere.	tilstrekkelig antall prøver pr. m <sup>3</sup> .
016	<b>Ødelagt sedimentfelle og passive prøvetakere</b> Sedimentfeller og passive prøvetakere forsvunnet ved stasjon HIP. Bøyer og passive ble funnet igjen i strandsonen. Ser ut til at tau er kuttet med kniv.	Nytt utstyr satt ut. Manglende prøveresultat kan ikke erstattes.
017	<b>Manglende overvåkning StjB</b> Ble ikke satt ut sedimentfeller før oppstart av siste mudringsarbeid på grunn av en antakelse om at det var mindre enn 2 uker igjen av arbeidet. Viste seg at arbeidet pågikk lengre og sedimentfelle burde vært satt ut tidligere.	Sedimentfeller satt ut likevel, til tross for at tidspunktet er noe sent. Analyseres hvis det kommer nok materiale i fellene. POM og DGT satt ut.
018	<b>Turbiditetsoverskridelse ved Stjertebukta og HIP</b> Mudring i Stjertebukta den 14. april selv om turbiditetsmåler viste høye verdier. Arbeidene pågikk 30 min utover de 30 min i tillatelsen.  Mudring ble startet opp på morgenen ved HIP den 30. april uten at måler var kontrollert. I løpet av natten hadde verdiene brått gått fra 1 NTU til 1200 NTU. Tydelig at det skyldes noe annet en tiltakene, men skulle likevel vært oppdaget før mudringen startet.	Ingen avbøtende tiltak
019	<b>Feil rapporteringsgrense PAH vannprøver</b> Benyttet feil ordreskjema for analyse av vannprøver ved tre tilfeller. Førte til en rapporteringsgrense for enkelte PAH-forbindelser som er høyere enn tilstandsklasse 2.	Gjennomgang av rutiner ved bestilling av analyser. Fjernet tilgang til feil ordreskjema.
020	<b>Slodding i Stjertebukt, turbiditetsoverskridelse</b> Overskridelse av turbiditet ved slodding (utjevning) av sjøbunn etter mudring i Stjertebukta den 19.05.20. Arbeidene ble ikke stoppet. Det var kort tid igjen og tiltaket måtte utføres. Ville trolig ikke blitt en bedre situasjon om man stoppet og ventet til turbiditeten gikk ned for så starte opp igjen.	Vannprøve for å analysere kjemisk tilstand av masser som spres.
021	<b>Tildekking uten turbiditetsmåler ved 3MN</b> Turbiditetsmåler utenfor Kongsberg Maritime gikk tom for batteri en periode, fra 16.06.20 kl. 21.10 til 18.06.20 kl. 16.40, og det pågikk tildekking uten måler uten at det ble oppdaget.	Ingen avbøtende tiltak.
022	<b>Tildekking uten turbiditetsmåler ved HIP</b> Kontaktfeil etter batteribytte ved måler H01 ved HIP. Ble ikke målt turbiditetsverdier mens arbeid pågikk i flere dager, fra 17.07.20 kl. 10.35 til 22.07.20 kl. 11.05.	Ingen avbøtende tiltak
023	<b>Turbiditetsoverskridelser ved Stjertebukta</b> Gjentagende turbiditetsoverskridelse fra 20.07.20 kl. 14.15 til 22.07.20 kl. 10.35 under tildekkingsarbeid i Stjertebukta. Den 20.07.20 pågikk arbeider med høye turbiditetsverdier i 4 timer	Ingen avbøtende tiltak



	og 20 min, altså 20 min over tillatelsen. Den 21.07.20 startet arbeidene opp mens det fortsatt var overskridelse av turbiditetsverdier og ut arbeidsdagen (kl. 07.20-16.00).	
024	<b>Turbiditetsoverskridelser ved 3MN</b> Utført tildekkingsarbeid med høye turbiditetsverdier i 5 timer og 40 min den 11.07.20. Arbeid skulle vært stoppet etter 4 timer. Tildekking av erosjonslag, det vil si at forurenset sjøbunn allerede var isolert, dermed liten sannsynlighet for spredning av forurensete masser. Vannprøver ikke tatt.	Ingen avbøtende tiltak
025	<b>Gravemaskin Cat</b> CAT gravemaskin har ikke forskriftsmessig nødstop.	Ingen avbøtende tiltak.
026	<b>Gravemaskin på Kingstown – bruksforbud</b> Årskontroll på gravemaskin ikke ok.	Nødvendig tiltak utført for at maskin unngår bruksforbud.
027	<b>Gravemaskin Volvo– motorluke</b> Mangel på gravemaskin kan føre til at maskin ikke blir sertifisert.	Tiltak utført, maskin sertifisert.
028	<b>Mistanke på 3 ledd UE</b> Oppdaget at det er et ledd for mye når UUE benytter seg av enkeltmannsforetak.	UE lager avtale direkte med enkeltmannsforetak.
029	<b>Manglende sorbsjonslag DGT bly og kobber</b> Sorpsjonslaget til DGTen for analyse av bly og kobber manglet i prøve ved HIP for en periode 14.07.20-12.08.20..	Ingen avbøtende tiltak. Prøve kan ikke analyseres.
030	<b>Forveksling DGT for kvikksølv og DGT for metaller</b> Ved utsetting av DGT ved deponiet stasjon Dep 2A har det skjedd en forveksling av DGT for kvikksølv og DGT for andre metaller. Satt ut to stk. DGT for kvikksølv i stedet for en av hver.	Har data for bly og kobber ved den andre stasjonen ved deponiet Dep 1A
031	<b>Turbiditetsmåler ved tildekking deponi</b> I henhold til kontroll og overvåkningsplanen for prosjektet skal det være to turbiditetsmålere ved tildekking av deponi. Tre dager i august 2020 ble det utført tildekking på deponiet med bare en måler.	Det er utført turbiditetsmålinger ved en stasjon. Har derfor data som viser at det ikke har blitt spredt forurensete masser i den retningen.
032	<b>Problemer med turbiditetsmåler ved HIP</b> Turbiditetsmåler H01 ved HIP måler verdier som ser ut til å komme av forstyrrelser, feil med måler, i perioden 02.10.20 kl. 16.35 til 05.10.20. Sensoren rengjøres og kontrolleres uten at det gjør noe forskjell.	Arbeid stanset 03.10.20. Sen oppstart tildekking 04.10.20. 04.10.20: Måler H01 erstattet med måler H03.
033	<b>Manglende resultater fra deponiet</b> Sedimentfelle ved stasjon Dep 2A og en sedimentfelle med passive prøvetakere ved Dep 1A ikke på plass ved innhenting av prøver. Bøyen fra Dep 2A med feller funnet ca. 1 km sørvest for stasjonen.	Data for en periode er mistet. Fellene ved Dep 2A ble tømt og nye DGT og POM ble satt ut ved Dep 1A.

034	<b>Prøver fra Stjertebukt mistet</b> Prøver (DGT og SPMD) er mistet i posten.	Ingen avbøtende tiltak. Data for en periode er mistet.
035	<b>Prøve fra HIP mistet under prøvetaking</b> DGT for kvikksølv mistet da prøver skulle samles inn. Tauet ble dradd langs ripa på båten, stripsene løsnet og DGT havnet på sjøen.	Ingen avbøtende tiltak. Data for en periode er mistet.
036	<b>Turbiditetsoverskridelse ved HIP</b> Tildekking noen timer ved HIP den 28.09.20 uten at turbiditetsmåler var i orden. Viste høye verdier før oppstart og mens det pågikk tildekkingsarbeid som gikk ned da måleren ble dratt opp og kontrollert.	Innført rutine hvor miljøkonsulent kontrollerer nettside for turbiditetsmålinger hver morgen før oppstart arbeid.
037	<b>0/63 masser filterlag deponi</b> Ved en feil ble det blandet inn 0/63 mm masser i Svelviksanden som ble brukt som filterlag ved tildekking av deponiet.	Kompensert med 10 cm tykkere erosjonslag av Svelviksand.
038	<b>Skoppum 0/4 filterlag utenfor FFI</b> I et lite område ble det av praktiske årsaker brukt 0-4 mm fra Skoppum pukkverk som filterlag i stedet for Svelviksand. Massene har trolig de samme filteregenskapene, men er formelt sett ikke vurdert etter veileder M-411.	Ingen avbøtende tiltak.
039	<b>Utlekking av 20-120 mm masser utenfor tiltaksområde i kanal</b> Ved en feil ble det lagt ut 20-120 mm masser i et område utenfor tiltaksområdet. Området var dybdekritisk.	Massene ble gravd opp og kjørt til mottak på land.
040	<b>Observert finstoff i 20-120 mm masser på lekter</b> På befaring så det ut som det var iblandet noe finstoff i haugen med 20-120 mm masser på lekter.	Massene med finstoff ble ikke benyttet.
041	<b>Forsvunnet utstyr Dep 2A</b> Målestasjon med sedimentfelle og passive prøvetakere forsvunnet. Årsak ukjent.	Satt ut nye passive prøvetakere. Ny sedimentfelle ble ikke satt ut fordi det var for liten tid igjen av arbeidet.
042	<b>Turbiditetsoverskridelse ved HIP</b> Tildekking en dag uten at turbiditetsmåler var i orden. Forhøyet turbiditet siden 03.10.20. Arbeidene skulle ikke ha startet den 05.10.20 før det var kontroll på turbiditeten. Viste usannsynlig høye verdier. Turbiditetsverdier ble ikke kontrollert av entreprenør før oppstart.	Rutine hvor miljøkonsulent kontrollerer nettside for turbiditetsmålinger hver morgen før oppstart arbeid.
043	<b>Turbiditetsoverskridelse ved HIP</b> Arbeidene skulle ikke ha startet opp før det var kontroll på den høye turbiditeten. En time med tildekking hvor turbiditetsmåler H01 viste høye verdier pga. måler var tilgrodd, hang feil e.l.	Måler rengjort og kontrollert så fort det ble oppdaget.

044	<b>Observerte 0/63 mm masser langs land Bromsjordet</b> I et mindre område hvor det er prosjektert sand som erosjonsmasse ser det ut til å være lagt noe grovere masser ved en feil.	Ingen tiltak utført.
045	<b>Tildekkingsmasser på betongmadrasser</b> Lagt tildekkingsmasser på område hvor det bare var prosjektert betongmadrass ved utløp av rør. Ingen praktisk konsekvens.	Ingen tiltak utført.
046	<b>Turbiditetsmåler tom for batteri</b> I perioden 30.11.20 kl. 09.00 – 01.12.20 kl. 11.15 var turbiditetsmåleren ved HIP ikke i drift på grunn av tomt batteri.	Ingen tiltak utført. Prosjektet ble avsluttet 1.des.
047	<b>Mistet DGT ved Stjertebukta</b> Ved opptak av passive prøvetakere i Stjertebukt for perioden 09.10.20-06.11.20 var DGT som skulle måle bly og kobber forsvunnet.	Ingen tiltak utført. Data for en periode er mistet
048	<b>To rigger forsvunnet i forbindelse med sluttovervåkingen</b> Ved opptak av passive prøvetakere og sedimentfeller i Stjertebukta og ved HIP ble to av riggene ikke funnet igjen. Det sto to rigger ved hver lokalitet, men kun en rigg ved hver stasjon ble funnet igjen.	Setter ut nye POM og DGT ved de to stasjonene.
049	<b>Ødelagt POM ved StjB</b> Ved opptak av passive prøver ved stasjonen StjB for perioden 06.11.20- 04.12.20 manglet POM. Det ble observerte rester av POM igjen på tauet, men ikke nok til å sende til analyse.	Ingen tiltak utført. Data for en periode er mistet

## 6 Beregnet mengde utvalgte helse- og miljøfarlige stoffer som er håndtert

Det er utarbeidet en egen rapport som tar for seg beregning av håndtert mengde av utvalgte helse- og miljøfarlige stoffer, *Beregning av håndtert mengde forurensning, Horten Indre havn* (COWI, 2021b). Under følger en oppsummering av metode og resultater, samt benyttet datagrunnlag. Rapporten er gitt i **vedlegg 3**.

### 6.1 Metode

Beregningene av håndtert utvalg av helse- og miljøfarlige stoffer i prosjektet ved mudring og tildekning følger Miljødirektoratets veileder M-831|2017 (Miljødirektoratet, 2017). Verktøyet er utarbeidet for å kunne vise framdriften i det nasjonale arbeidet med opprydding av forurensede sedimenter.

Beregningene benytter målte konsentrasjoner i sediment før tiltak og gir et mål på hvor mye som er håndtert (og ikke lenger tilgjengelig for marine organismer). Verktøyet tar for seg mudring, tildekning og kombinasjon av mudring og tildekning.

- > Ved mudring benyttes det faktiske mudringsdypet/volumet til å beregne mengden forurensning som er fjernet.
- > Ved tildekning alene benyttes en tiltaksdybde på 20 cm i beregningene, dvs. det legges til grunn at de øvre 20 cm av sedimentet ikke lenger blir tilgjengelig for miljøet.
- > For områder som har blitt mudret og deretter tildekket er håndtert mengde forurensning beregnet for mudringen først og deretter for tildekkingen, men da med topp 10 cm istedenfor topp 20 cm som for ren tildekning. Deponiet er beregnet som om sedimentet før innleggingen av masser er tildekket.

### 6.2 Beregningsverktøy i veileder M-831

Beregning av mengden av en miljøgift (g, kg eller tonn) som er fjernet eller håndtert beregnes med i utgangspunkt i formelen som vist under (Miljødirektoratet, 2017).

$$\text{Mengde stoff fjernet (kg)} = C_n * A * d * \frac{\rho}{1 + \frac{w}{100}} * k$$

Hvor:

$C_n$  = Konsentrasjon av den aktuelle miljøgiften i sedimentene (mg/kg tørr vekt)  
(Data fra førundersøkelser og mudringsmassene)

$A$  = Areal av tiltaksområdet (m<sup>2</sup>)  
(Data oppgitt av PEAB)

$d$  = Mudringsdybde / tiltaksdybde tildekning (m)  
(Data oppgitt av PEAB for mudring ellers 0,2 m for tildekning og 0,1 m for tildekning etter mudring)

$\rho$  = Våt densitet (kg/m<sup>3</sup>)  
(lest av tabell 1 i veileder M-831|2017, basert på konrfodelings data)

$w$  = Naturlig vanninnhold (%), definert som:  $w = (\text{vekt vann/vekt faststoff})$   
(beregnet ut fra tørr vekt, målt)

$k$  = Korreksjonsfaktor for å få rett benevning: 0,000001 kg/mg

## 6.3 Inngangsdata

Inngangsdataene er valgt fra stasjoner jevnt fordelt i tiltaksområdene og utvalgt er gjort i samråd med byggherre. Det er forutsatt at prøvene representerer miljøgiftinnholdet i tiltaksområdet slik det var i 2019. Oversikt over prøver som er benyttet i beregningene er gitt i rapporten *Beregning av håndtert mengde forurensning, Horten Indre havn, vedlegg 1* (COWI, 2021b).

Det finnes ikke data for egenvekt for prøvene og alle prøvene i et område er gitt den samme egenvekten. I tilfeller hvor konsentrasjon i sedimentet er under rapporteringsgrensen til laboratoriet, benyttes rapporteringsgrensen i beregningene. I noen prøver finnes miljøgiftdata fra 0 til 5 cm og fra 5 til 10 cm. I beregningene er disse likestilt, og et snitt av måleresultatene er benyttet. Det er få prøvestasjoner med analyseresultater dypere enn 10 cm. For stasjonene som ikke har analyser av prøver dypere enn 10 cm er konsentrasjon i topp 10 cm blitt benyttet også når sedimentet fra 10 til 20 cm sedimentdyp.

For mudrete områder er gjennomsnittkonsentrasjoner av prøver av deponerte masserne benyttet. Dette betyr at det er et gjennomsnitt av konsentrasjonene i mudrede masser ved Sykehusbrygga, Kongsberg Maritime og Stjertebukt som er benyttet. Dette gjennomsnittet er også blitt benyttet for tildekking etter mudring (for data om tørrvekt er kjernedataene benyttet siden vanninnholdet i mudderprøvene ikke vil gi riktige verdier).

## 6.4 Usikkerheter i beregningene

I tillegg til måleusikkerheten ved laboratoriet som analyserte prøvene, er det en stor usikkerhet ved prøvetakingen. Denne usikkerheten er i hvor stor grad knyttet til om prøven har fått med seg all (riktig) mengde porevann. Vanninnholdet har stor innvirkning på beregningen av total mengde miljøgifter. Høyere vanninnhold gir lavere miljøgiftmengde, og en endring på 10 % i vanninnholdet gir 6-7 % endring i miljøgiftmengden.

Ved å bruke en gjennomsnittskonsentrasjon av muddermassene i beregningen for mudrede områder, fås det mest nøyaktig bilde av hele prosjekt, men usikkerheten for hvert delområde blir større.

## 6.5 Total mengde forurensing håndtert

En oversikt over total mengde forurensing som er håndtert i prosjektet er vist i **Tabell 7**. Mer detaljert informasjon om delområdene er å finne i rapporten *Beregning av håndtert mengde forurensning, Horten Indre Havn* (COWI, 2021b).

Beregningene viser at det totalt er håndtert ca. 18,8 tonn bly, 55 kg kadmium, 205 kg kvikksølv, 1 tonn PAH, 15 kg PCB og 67 kg TBT.

Tabell 7: Oversikt over total mengde forurensing som er håndtert i prosjektet.

	Mellom øya	Øst øya	3MN	HIP	Deponi	Stjertebukt	Totalt
Stoff	Beregnet mengde fjernet [kg]	Beregnet mengde fjernet [kg]	Beregnet mengde fjernet [kg]	Beregnet mengde fjernet [kg]	Beregnet mengde fjernet [kg]	Beregnet mengde fjernet [kg]	Beregnet mengde fjernet [kg]
Arsen	6,0	16,3	149,7	982,6	18,1	151,4	1 324,2
Bly	42,3	105,9	2 019,4	13 872,8	96,2	2 662,6	18 799,3
Kadmium	0,2	0,2	6,6	40,7	0,9	6,7	55,3
Kobber	78,2	90,7	851,0	22 999,9	66,3	886,7	24 972,8
Krom totalt (III + VI)	18,8	36,3	428,8	2 363,6	39,5	479,2	3 366,2
Kvikksølv	76,2	3,7	18,6	92,1	0,5	14,2	205,2
Nikkel	16,5	28,3	304,4	2 165,0	36,5	350,3	2 901,0
Sink	128,3	228,3	3 184,3	31 282,7	233,3	1 896,9	36 953,8
Naftalen	0,0	0,0	0,6	5,8	0,0	3,4	9,9
Acenaftylene	0,0	0,0	0,2	2,4	0,1	7,5	10,2
Acenaften	0,0	0,0	0,5	7,4	0,0	7,6	15,5
Fluoren	0,0	0,0	0,5	7,9	0,0	13,8	22,3
Fenantren	0,1	0,2	2,0	41,7	0,2	21,8	66,0
Antracen	0,0	0,1	1,0	12,6	0,1	54,1	67,9
Fluoranten	0,2	0,4	5,4	61,8	0,3	71,3	139,5
Pyren	0,2	0,4	6,6	157,8	0,7	57,3	223,0
Benzo(a)antracen	0,1	0,2	3,0	31,5	0,2	66,6	101,5
Krysen	0,1	0,3	3,4	46,0	0,2	54,9	104,8
Benzo(b)fluoranten	0,1	0,3	4,5	44,8	0,5	42,3	92,6
Benzo(k)fluoranten	0,1	0,1	2,8	27,1	0,2	28,4	58,8
Benzo(a)pyren	0,1	0,2	3,9	44,1	0,3	36,1	84,7
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,1	0,3	4,1	27,4	0,2	11,2	43,4
Dibenzo(a,h)antracen	0,0	0,0	1,0	7,4	0,1	6,8	15,2
Benzo(ghi)perylene	0,1	0,2	4,4	37,9	0,3	13,9	56,7
Sum PAH-16	1,3	2,9	43,9	500,5	3,4	499,4	1 051,4
PCB 28	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,7	2,7
PCB 52	10,1	0,0	0,1	1,6	0,0	1,4	13,2
PCB 101	0,0	0,0	0,1	22,8	0,0	0,8	23,7
PCB 118	0,0	0,0	0,1	1,0	0,0	0,8	1,9
PCB 138	0,0	0,0	0,2	1,6	0,0	0,4	2,3
PCB 153	0,0	0,0	0,2	24,1	0,0	0,7	25,0
PCB 180	0,0	0,0	0,1	1,0	0,0	0,2	1,4
Sum PCB-7	0,0	0,2	0,9	8,7	0,0	5,1	15,0
Tributyltinn (TBT-ion)	0,0	0,1	1,0	62,6	0,3	2,9	67,0

## 7 Referanser

**COWI** (2020a), *Ren Indre havn Horten, Kontroll- og miljøovervåkingsplan*. Dokumentnr. RAP03, versjon 9

**COWI** (2021a), *Månedrappport Ren Indre havn Horten, mars 2021*. Dokumentnr. MRAP 15, versjon 1.

**COWI** (2020b) *Kjemisk kontroll av tildekkingslag, Horten Indre havn*. Dokumentnr. RAP 004. Versjon 8.0.

**COWI** (2021b), *Beregning av håndtert mengde forurensning, Horten Indre Havn*. Dokumentnr. RAP 005, versjon 1

**Direktoratsgruppen vanndirektivet** (2018) *Veileder 02:2018 Klassifisering av miljøtilstand i vann*.

**DNV** (2014) *Tiltaksplan for Horten Indre havn. 2013-1246/DNV Referansenr. 18FMT78-13, rev. 02, 2014-02-24*

**Fylkesmannen i Telemark og Vestfold** (2019) *Tillatelse til mudring, tildekking og deponering av forurenset sjøbunn for Horten kommune*. Tillatelsesnummer 2019.0462.T.

**Miljødirektoratet** (2015) *Risikovurdering for forurenset sediment*. Veileder M409.

**Miljødirektoratet** (2016) *Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota – revidert 30.10.2020*. Veileder M-608.

**Miljødirektoratet** (2017) *Nøkkellindikator for det nasjonale arbeid med forurenset sjøbunn*. Veileder M831/2017.

**NGI** (2014) *Horten Indre havn – Supplerende undersøkelser. Datarapport – vår 2014*. Dokumentnr. 20140257-01-R, Rev.nr. 0, dato 2014-09-29

**NGI** (2016) *Horten Indre havn – helhetlig tiltaksplan- Helhetlig tiltaksplan for forurensete sedimenter i Horten Indre Hav*. Dok. nr. 20150201-01-R, versjon 1, 2016-09-09.

**NGI** (2019a) *Strategi for miljøovervåking under utførelse av mudring, tildekking og deponering av masser i Horten Indre Havn*. Dokumentnr. 20180298-06-TN

**NGI** (2019b) *Vurdering av tiltak for etablering av ålegress i områdene 1S og 3S etter tildekking*. Dokumentnr. 20180298-08-TN

## 8 Vedlegg

### **Vedlegg 1:**

**COWI** (2021a), *Måned rapport Ren Indre havn Horten, mars 2021*. Dokumentnr. MRAP 15, versjon 1.

### **Vedlegg 2:**

**COWI** (2020b) *Kjemisk kontroll av tildekkingslag, Horten Indre havn*. Dokumentnr. RAP 004. Versjon 9.0.

### **Vedlegg 3:**

**COWI** (2021b), *Beregning av håndtert mengde forurensning, Horten Indre Havn*. Dokumentnr. RAP 005, versjon 1