


BERGEN KOMMUNE

GASSMÅLING KIRKEBUKTEN

RENERE HAVN BERGEN



Dokumentinformasjon

Tittel:	Gassmåling Kirkebukten		
COWI-kontor:	Bergen		
Oppdrag nr:	A243166	Rapportnummer	RAP-A243166-2023-10
Utgivelsesdato:	31.10.2023	Antall sider:	19
Tilgjengelighet:		Antall vedlegg:	1
Utarbeidet:	Eivind Støren, Kristin Hatlen		
Kontrollert:	Aage Heie		
Godkjent:	Bjørn Kvisvik	Sign.	
Oppdragsgiver:	Bergen kommune	Oppdragsgivers kontaktperson:	Anne Christine Knag
Stikkord:	Gass, Kirkebukten, metan, karbondioksid, hydrogensulfid, karbonmonoksid, reaktiv matte (RCM).		

INNHOLD

Sammendrag	4
1 Bakgrunn	5
2 Området	5
3 Metode	6
3.1 Gassmålere	7
3.2 Kartlegging av gassformasjoner	8
3.3 Målinger i lukket boks	8
3.4 Målinger i pose	9
3.5 Målinger i friluft ved vannoverflaten	10
3.6 Målinger i friluft i lettbåt	11
3.7 Feilkilder	11
4 Resultater	12
4.1 Gassformasjoner under den reaktive matten	12
4.2 Måleresultater	15
5 Diskusjon og konklusjon	16
5.1 Gasskonsentrasjoner og vurdering av fare	16
5.2 Mobilisering av forurenset materiale	18
5.3 Evaluering av metode	18
6 Referanser	19
Vedlegg 1	20

Sammendrag

I 2011 ble forurensede sedimenter i felt 1 (3400 m²) i Kirkebukten i Puddefjorden, Bergen kommune, dekket med en reaktiv matte og et 10 cm tykt lag av grus. Etter ti år på havbunnen er matten ikke lenger permeabel, og det er dannet gassansamlinger under matten. I august 2023 ble omfanget av gassansamlinger kartlagt, og alle observerte gassansamlinger på sjøbunnen i Kirkebukten punktert og gassen sluppet fri. Det ble i denne forbindelse også gjort målinger av konsentrasjon og sammensetning av gassen.

Gassen som samles under den reaktive matten består i hovedsak av metan, karbondioksid og noe hydrogensulfid fra naturlig nedbryting av organisk materiale i sedimentene. Det er ikke målt skadelige eller farlige konsentrasjoner av metan eller hydrogensulfid ved overflaten ved punktering av gassansamlingene. Fremtidig overvåking av sediment og vannkvalitet vil vise om punktering av den reaktive matten har påvirket graden av forurensing på sjøbunnen i Kirkebukten.

I andre områder der det er gjort tiltak mot forurenset sjøbunn som del av Renere havn Bergen prosjektet er det ikke benyttet reaktiv matte, og problemstillingen med gassansamlinger er derfor begrenset til felt 1 i Kirkebukten.

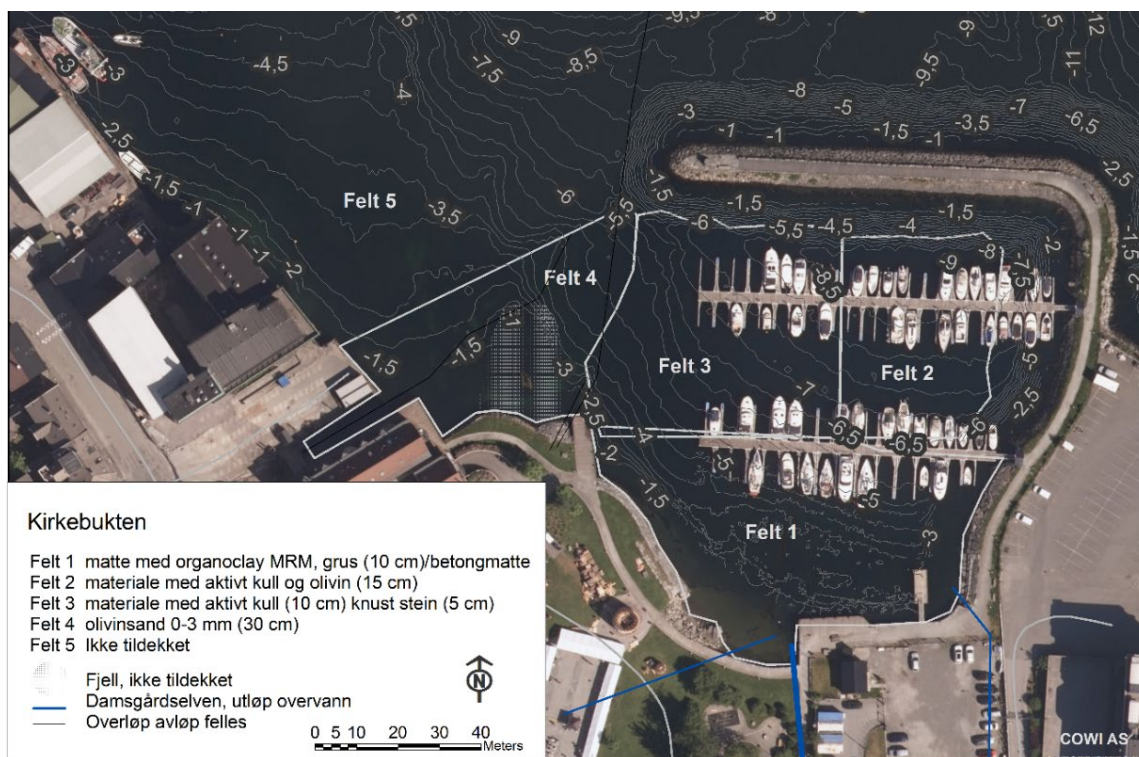
1 Bakgrunn

Bergen kommune gjennomførte i 2011 mudring og tildekking av forurenset sjøbunn i Kirkebukten for å hindre spredning av miljøgifter fra gammel sjøbunn til overliggende sedimenter og næringskjeden (COWI, 2012). Kirkebukten har også fungert som et testfelt for å undersøke virkning og effekt av ulike tildekkingsmetoder med ulike aktive materialer. Felt 1 ble tildekket med en reaktiv matte. Matten skal være permeabel for gass, og samtidig hindre utlekking av forurensete sedimentpartikler. Ved overvåking av tildekkingslaget i Kirkebukten 2022 og 2019 viste det seg at det bygger seg opp gass under matten (COWI, 2023; COWI, 2020) noe som har resultert i at matten buler opp i tilnærmet sirkulære forhøyninger. Det var uklart hvordan dette vil utvikle seg videre dersom det ikke ble gjennomført tiltak og det er uansett sannsynlig at matten ikke fungerte som tenkt i denne situasjonen.

Som tiltak for å redusere opphopning av gass under den reaktive matten gjennomførte COWI AS, i samarbeid med Bergen kommune og IMC Diving AS, i august 2023 feltarbeid i Kirkebukten for å punktere og tømme gassansamlingene og gjøre målinger av gassen som slipper ut. Samtlige av de observerte gassansamlingene i området ble punktert og tømt, og det ble gjort målinger av gassen og senere vurdert i hvilken grad utslipp av gassen kan være skadelig for brukere av området.

2 Området

Kirkebukten ligger på Laksevåg på vestsiden av Puddefjorden i Bergen kommune. Området inngår i en mye brukt bydelspark og omfatter Merkur Småbåthavn. Felt 1 som er undersøkt her (Figur 1), utgjør ca. 3400 m² innerst i Kirkebukten, mellom land og den innerste båtpiren. Sjødybden varierer mellom 0-8 m. Bunnen ble i 2011 tildekket med reaktive matter (RCM) med organoclay MRM 4 kg/m², og erosjonssikret med 10 cm grus (5-8 mm). I særlig utsatte områder ble mattene sikret med større stein og betongmadrasser (Bergen kommune, 2010), (COWI, 2012).



Figur 1: Kart som viser de ulike testfeltene i Kirkebukten og hvordan de er tildekket. Denne undersøkelsen omfatter gassformasjoner under den reaktive matten i felt 1 (COWI, 2012).

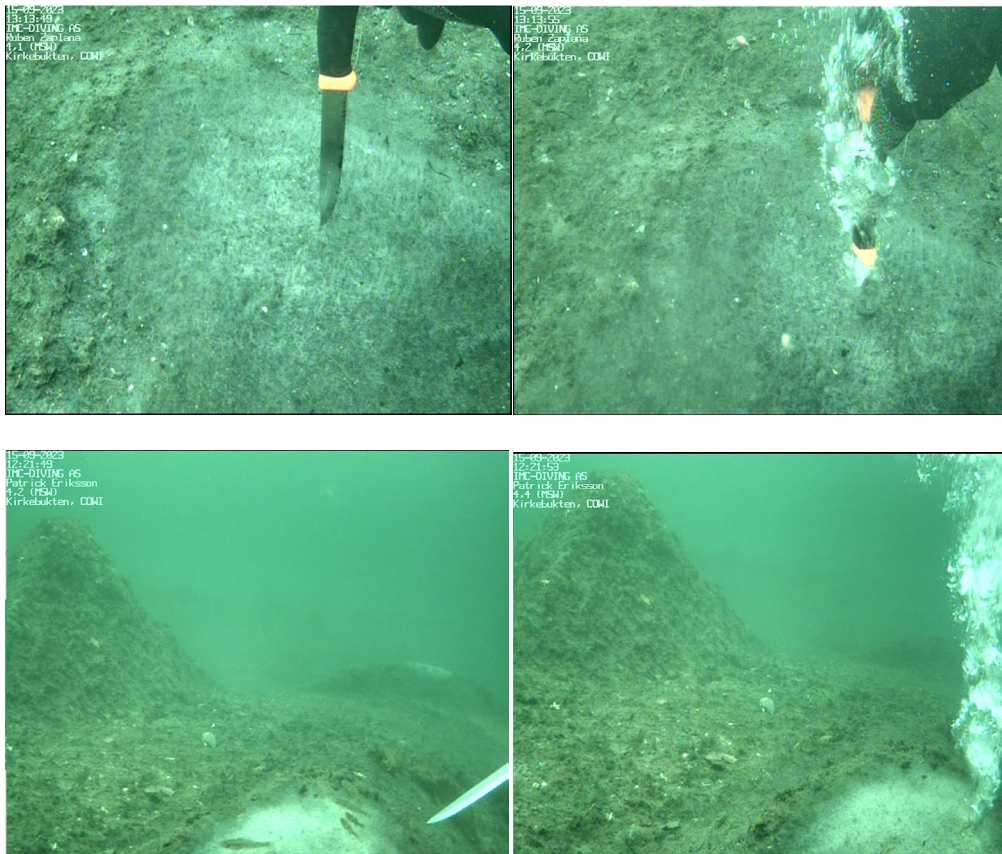
3 Metode

Feltarbeidet ble gjennomført 23.08.2023. IMC Diving stilte med båt og dykkere. Fra COWI deltok Eivind Støren og Kristin Hatlen, og i tillegg deltok Anne Christine Knag fra Bergen kommune.

Målet med feltarbeidet var å få et overblikk over utbredelsen av gassansamlinger under den reaktive matten i felt 1, punktere matten for å slippe ut fanget gass, og gjøre målinger av gass-sammensetning og konsentrasjon.

Utbredelsen av gassansamlingene ble kartlagt av dykkerne med radioforbindelse og kamera med videoopptak, og direkteoverføring til båt.

Selve punkteringen av gassforhøyningene ble gjort ved at dykker etablerte seg ved en gassansamling og markerte punktet. COWI posisjonerte seg i lettboat over dykkeren ved hjelp av radiokommunikasjon og en bøye i overflaten, og klargjorde for målinger. Dykkeren stakk så ett hull i matten med kniv. For å ikke blande pusteluft inn i gassen som steg opp, holdt dykkeren pusten mens han stakk hull og trakk seg unna. For å dekke informasjonsbehov om gassen og hvordan brukere av området kan bli eksponert ble målinger av gass utført på tre ulike måter; i boks ved overflaten (kap. 3.4), i pose direkte over gassutslippet på bunnen (kap. 3.5), og i friluft fra båt ved overflaten (kap. 3.6 og 3.7). Utslippet av gass etter punktering varte typisk i 10-20 sekunder etter punktering.



Figur 2: Eksempler på punktering av gassansamlinger under den reaktive maten med kniv.

3.1 Gassmålere

Det ble benyttet to målere for å undersøke forekomst og konsentrasjon av karbondioksid (CO_2), metan (CH_4) og hydrogensulfid (H_2S). Dette er gasstyper som ofte dannes ved mikrobiell nedbrytning av organisk materiale. Ved anaerobe forhold dannes CH_4 , CO_2 og H_2S , mens aerob nedbrytning gir CO_2 og H_2O (vann). I tillegg ble det målt karbonmonoksid (CO) som kan dannes ved ufullstendig nedbrytning av organiske materialer.

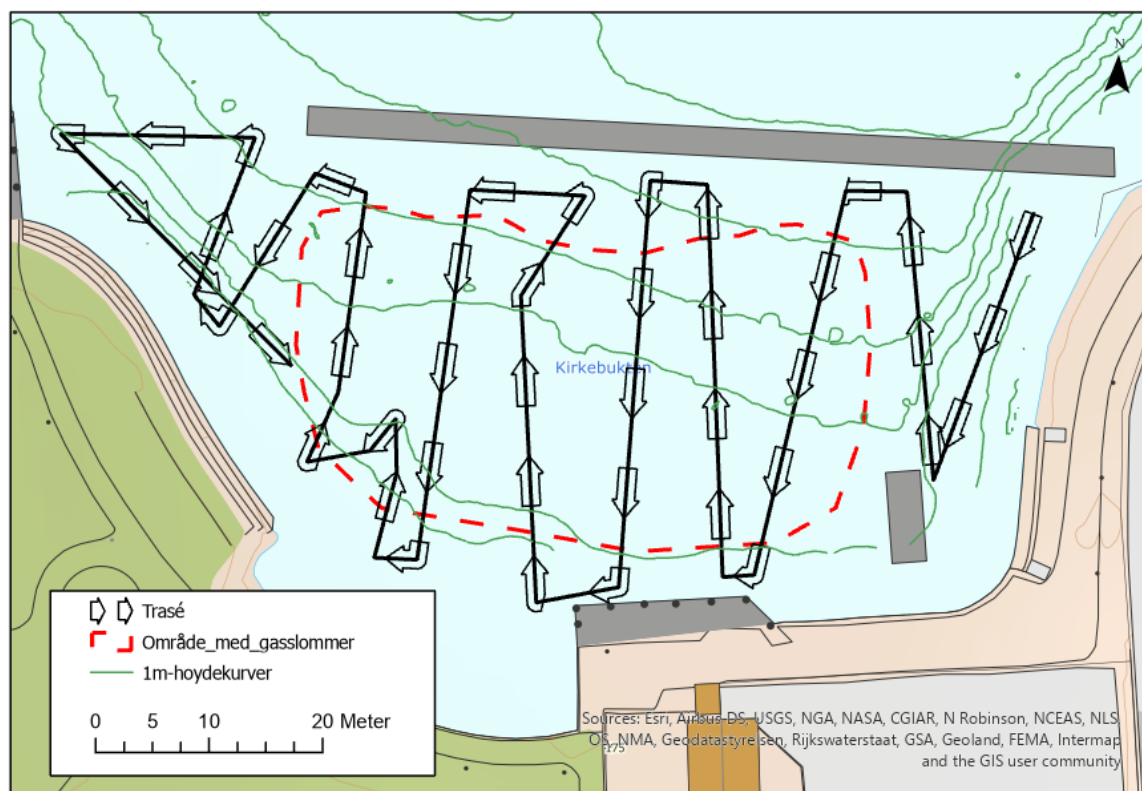
For måling av CO_2 ble det benyttet en Kimo HQ 210 klimalogger med et måleintervall på 0-5000 ppm, og måleoppløsning på 1 ppm. For måling av CH_4 , H_2S og CO ble det benyttet et GMI GT-43 instrument. Denne har svært høy sensitivitet, og måler metankonsentrasjon i trinn på 0-10.000 ppm, 0-100% LEL, og 0-100% CH_4 .

CH_4 ble målt i «sniffermodus» for å detektere CH_4 i konsentrasjoner på 0-10.000 ppm med 1 ppm oppløsning, og i modusen «confined space» for målinger i prosentandel av konsentrasjonen hvor det oppstår eksplosjonsfare, også kalt Lower Explosive Limit (LEL). Konsentrasjonen av metan for Lower Explosive Limit (LEL) er på 5 % CH_4 i luft, dvs at 100% LEL tilsvarer 5% metan (FHI, 2018). I denne modusen måler sensoren også ppm H_2S i intervallet 0-100 ppm og CO i intervallet 0-2.000 ppm, begge med 1 ppm måleoppløsning.

CO_2 -måleren er en passiv måler, mens metan-måleren har innebygget pumpe som trekker inn gass med hastighet på ca. 22 liter/time.

3.2 Kartlegging av gassformasjoner

Dykker fra IMC Diving svømte over området i transekter og kartla forekomst av gassformasjoner i området hvor den reaktive matten var. Informasjon ble formidlet over radio og COWI noterte ned omtrentlige posisjoner, antall og størrelse på gassansamlingene (Figur 3) (se også vedlegg 1).



Figur 3: Kart som viser dykkerens transekter. Rød stiptet linje viser området det ble observert gassansamlinger under den reaktive matten.

3.3 Målinger i lukket boks

Formål: Undersøkelse av hva slags gasser som dannes under matten.

Metode: Boblene som steg opp da dykkeren stakk hull på matten ble fanget i en plastboks (Figur 4). Gassensorer var stukket inn i boksen og målte kontinuerlig. Sensorenes kontinuerlige målinger ble filmet og den høyeste konsentrasjonen av de ulike gassene ble notert.



Figur 4: Boks med gassensorer ble plassert i overflaten for å fange gassen som steg opp etter at dykkeren stakk hull på gassformasjonene i matten.

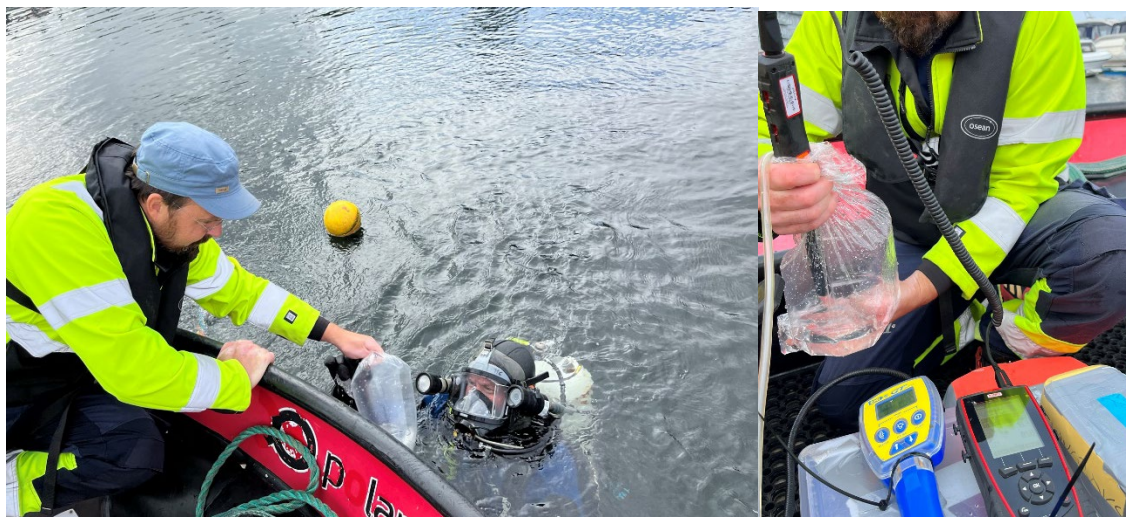
3.4 Målinger i pose

Formål: Undersøkelse av hva slags gasser som dannes under matten.

Metode: Dykkeren fylte en pose med gass etter å ha stukket hull på matten (Figur 5). Posen ble fraktet opp til båten og sensorene ble stukket inn i posen, mens denne ble holdt så tett som mulig for å hindre innstrømming av luft i posen og utlekking av gasser (Figur 6).



Figur 5: Oppsamling av gass i plastpose direkte over hull i den reaktive matten.

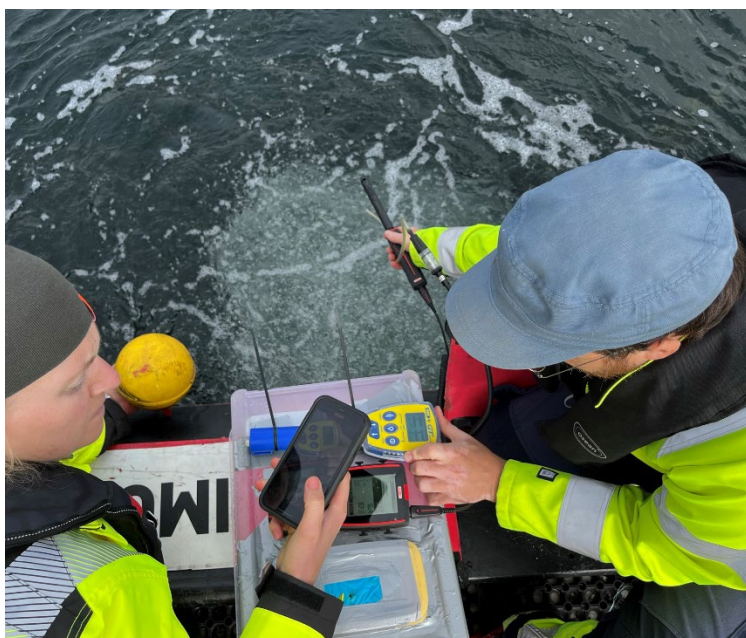


Figur 6: Dykkeren fanget gassen i en plastpose like over matten etter å ha stukket hull. Sensorene ble deretter stukket inn i posen for å måle gassen.

3.5 Målinger i friluft ved vannoverflaten

Formål: Undersøkelse hva slags gass i hvilke konsentrasjoner som forekommer ved overflaten ved utslipp av gass.

Metode: Gassen som steg opp da dykkeren stakk hull på matten ble målt i friluft like over vannoverflaten direkte over gassutslippet (Figur 7). Gassensorene målte kontinuerlig, målinger ble filmet og den høyeste konsentrasjonen av de ulike gassene ble notert.



Figur 7: Målinger over ripa av båten av gass som strømmer opp etter at dykkeren har stukket hull på matten.

3.6 Målinger i friluft i lettboat

Formål: Undersøkelse hva slags gass i hvilke konsentrasjoner en person i båt utsettes for dersom båten ligger over idet en gassformasjon sprekker.

Metode: Gassen som steg opp da dykkeren stakk hull på matten ble målt i friluft midt i lettboat posisjonert over et gassutslipp (Figur 8). Gassensorene målte kontinuerlig, målinger ble filmet og den høyeste konsentrasjonen av de ulike gassene ble notert.



Figur 8: Målinger i luften over lettbooten av gass som strømmer opp etter at dykkeren har stukket hull på matten.

3.7 Feilkilder

Det er forventet at målingene av CO og CO₂ er påvirket noe av eksos fra motoren i lettbooten. I tillegg kan det ha kommet noe pusteluft (CO₂) fra dykker i boksmålingene (selv om dykkeren forsøkte å holde pusten da det ble gjort målinger).

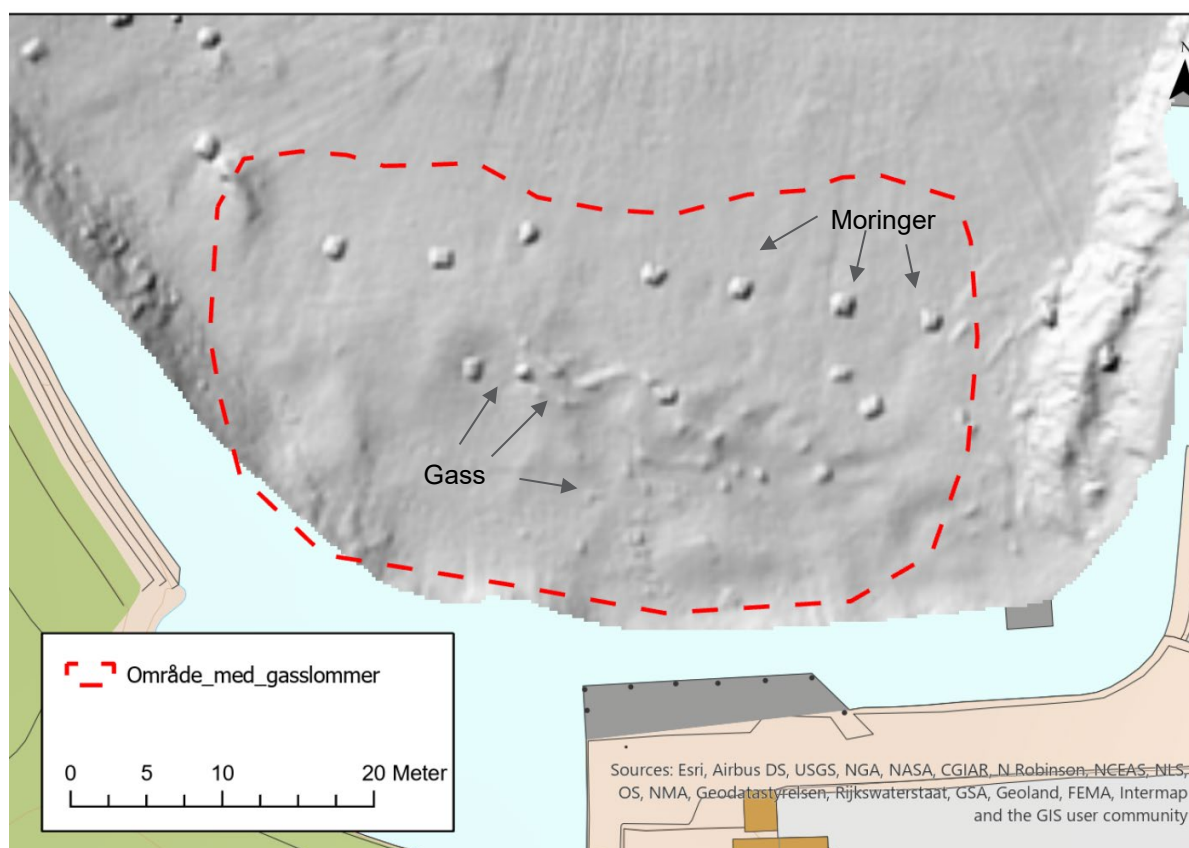
Det er trolig ingen annen kilde for metan eller hydrogensulfid som har kunnet påvirke målingene av disse, men endringer i vindstyrke kan ha påvirket målinger i friluft. Det var imidlertid tilnærmet vindstille da de fleste målingene ble gjort.

Verdiene i denne rapporten er gitt som maksimumsverdier, dvs den høyeste målte verden i hvert gassutslipp og for hver av de ulike metodene. Det ble målt gjentatte ganger med boks (8 målinger) i overflaten og i uteluft (11 målinger), og resultatene varierer i noe grad, men ikke mye. Vi antar derfor at de målte verdiene er representative for utslipp av gass som er samlet under den reaktive matten i Kirkebukten.

4 Resultater

4.1 Gassformasjoner under den reaktive matten

Gassformasjonene ble i hovedsak funnet sentralt i felt 1. *Figur 9* viser området med observerte gassansamlinger under den reaktive matten. Det ble ikke funnet gassformasjoner under flytebryggen i den nordlige grensen av felt 1 eller nært land. Heller ikke i den vestlige delen av felt 1 ble det funnet gassansamlinger. De største gassansamlingene ble funnet sentralt i feltet, mens det var mindre formasjoner i utkanten av området.



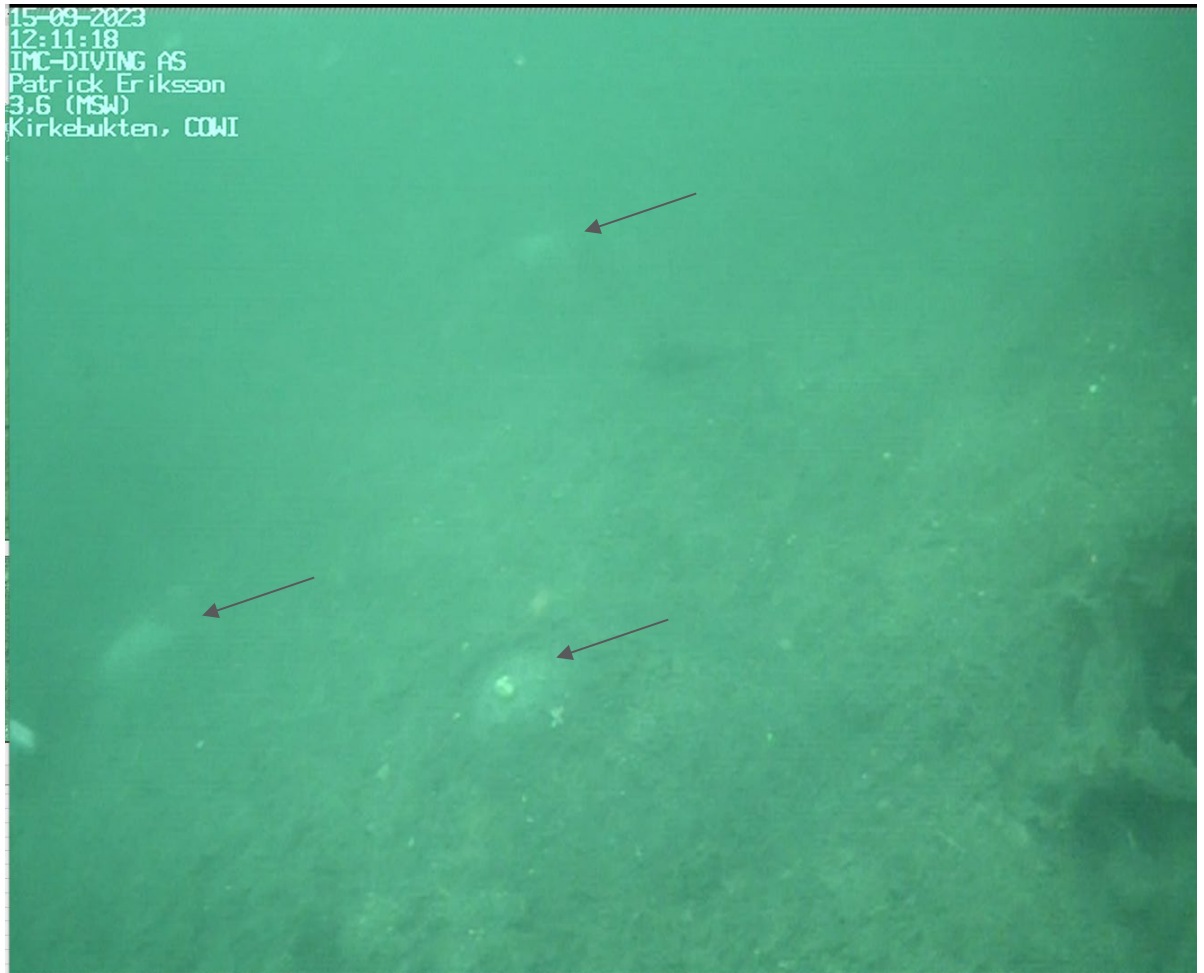
*Figur 9: Skyggerelieff (25*25 cm) av bunntopografi i Kirkebukten fra 2022. I området med de fleste og største observerte gassansamlingene sentralt i «område med gasslommer» kan det sees gassansamlinger på bunnen. Kvadratiske blokker er moringer til flytebryggen.*

De største og tydeligste gassformasjonene er også synlige på skyggerelieffkart. *Figur 9* viser skyggerelieff av bunnen i Kirkebukten målt med multistråleekkolodd i forbindelse med 4-årskontroll av tildekkingslag i Puddefjorden i 2022. Her sees små haugformasjoner i samme området det er observert gassansamlinger.

Figurene 10, 11, 12, og 13 viser eksempler på gassansamlinger. Felles for alle er at den reaktive matten står spent opp i en bul fra bunnen, og at matten er eksponert (lys grå) i toppen av bulen. Formasjonene var opptil ca. 35 cm høye, med en diameter på 50 til 100 cm.

Da dykkerne stakk hull på matten tok det generelt ca. 5-10 sekunder før den kraftigste boblingen var over. Det ble likevel observert brusing i overflaten ved flere punkter i flere titalls minutter etterpå.

Gassformasjonene som det var stukket hull på i 2022 (COWI, 2023), ble ved to tilfeller funnet igjen. Disse hadde fortsatt en kuppelform, men var fylt av sjøvann og lite eller ingen gass.



Figur 10: Lyse områder på bildet (markert med piler) viser områder hvor gassdannelser under den reaktive matten har gjort at matten er eksponert. Gassbulene ligger med et par meters mellomrom og er ca. 0,5 – 1m i diameter og opptil 35 cm over bunnen rundt.



Figur 11: Eksempel på gassansamling under den reaktive matten i felt 1, Kirkebukten.



Figur 12: Eksempel på gassansamling under den reaktive matten i felt 1, Kirkebukten.



Figur 13: Eksempel på gassansamling under den reaktive matten i felt 1, Kirkebukten.

4.2 Måleresultater

Registrerte gassverdier er målt som maksimumskonsentrasjon ved hvert gassutslipp, og Tabell 1 oppsummerer maksimumsverdier for hver av de ulike målemetodene. Etter at matten ble punktert varte et gassutslipp i typisk 10-20 sekunder før det ikke var målbare konsentrasjoner av gass ved overflaten. Det ble gjort én måling i pose, 8 målinger med boks, 6 målinger ved overflaten og 19 målinger i friluft.

Verdiene målt i pose er antatt å representere en tilnærmet ufortynnet konsentrert gass slik den finnes på havbunnen. Ved bruk av boks kan man anta en viss fortytning ved at gassen strømmer inn i boksen hvor det fra før av finnes luft. Begge disse målemetodene viser konsentrasjon av metan som overgår måleintervallet til måleren og viser 100% LEL. Karbondioksidmengden i boks og pose-målingene er ganske like og overgår bakgrunnskonsentrasjonen i uteluft (Tabell 1). Laveste måling i boks var på 363 ppm, mens høyeste var på 690 ppm. Måling av CO₂ i pose var på 850 ppm. I målingen i pose ble det detektert H₂S på 160 ppm, mens det ikke ble målt tilsvarende høye verdier av H₂S i noen av boksmålingene.

Målinger ved overflaten og i friluft i lettboat viser målinger av gass etter den er sluppet ut og blandet med uteluft. Målinger ved overflaten direkte over et utslipp vil ha liten fortytning av uteluft og tilsvare den største potensielle påvirkningen en svømmer vil kunne utsettes for dersom vedkommende

svømmer over idet en gassformasjon sprekker. Målingene i friluft om bord i lett båten vil være tilsvarende det en person i båt vil bli utsatt for dersom båten er posisjonert like over gassforekomsten idet gassen slipper ut. Resultatene viser at det er målbare konsentrasjoner av både metan og hydrogensulfid ved overflaten direkte over et gassutslipp. Metan varierer mellom null og maksimum 2700 ppm ved overflaten. Konsentrasjonene er betydelig lavere i friluft i båt og indikerer at gassen fortynnes raskt. Maksimum konsentrasjon av metan i lett båten ved gassutslipp var 183 ppm. Det ble ikke detektert hydrogensulfid i friluft i lett båten.

Tabell 1: Maksimumsverdier målt ved hjelp av de ulike målemetodene.

	H ₂ S (ppm)	CO ₂ (ppm)	CH ₄ (ppm)	CH ₄ (% LEL)
Boks	4	690	>50 000	100
Pose	160	850	>50 000	100
Ved overflate	4	400	2700	5.4
Friluft	0	400	183	0.4

5 Diskusjon og konklusjon

5.1 Gasskonsentrasjoner og vurdering av fare

Gassmålingene ved punktering av gassansamlinger viser at gassen som samles under den reaktive matten i felt 1 i Kirkebukten er gass fra nedbrytning av organisk materiale. Den konsentrerte gassen består, før den blandes med luften ved overflaten, i hovedsak av metan (CH₄), CO₂ og noe H₂S (Tabell 1).

Nedbrytning av organisk materiale under tildekkingslag som i Kirkebukten er i all hovedsak en anaerob prosess der de tildekkede havbunnsedimentene er adskilt fra oksygenholdig vann (Briseid, et al., 2006). I grunne sedimenter er det anaerobe sulfatreduserende bakterier som benytter sulfat som oksidasjonsmiddel og danner hydrogensulfid (H₂S). Dypere nede i sedimentene, eller over tid, når sulfat er brukt opp, vil det finnes anaerobe metandannende bakterier. Disse skaffer seg energi ved å "gjære" organisk materiale til redusert metan og CO₂ (Briseid, et al., 2006).

Anaerob nedbrytning av organisk materiale og dannelse av metan og hydrogensulfid i sedimentene er altså naturlig forekommende prosesser der det er tilstrekkelig med organisk materiale og høy nok sedimentasjonsrate til at materialet blir begravet og skjermet fra aerob nedbrytning (med oksygen). Vanligvis vil gassen slippe ut kontinuerlig, men i noen tilfeller dannes gasslommer eller såkalte pockmarks (små kratere fra kollapsede gasslommer). I felt 1 i Kirkebukten er gassen som dannes naturlig i sedimentene fanget under den reaktive matten, som etter 10 år på havbunnen kan ha mistet, eller ha fått redusert sin permeable egenskap. I andre områder som er tildekket i Renere havn Bergen prosjektet er det ikke benyttet reaktiv matte, og problemstillingen med gassansamlinger er derfor begrenset til felt 1 i Kirkebukten.

Ved anaerob nedbrytning av organisk materiale dannes det normalt CH₄ og CO₂ i forholdet ca. 1,5:1, altså 60% CH₄ og 40% CO₂. Ved disse målingene fant en veldig lite CO₂ i forhold til CH₄, så forholdet var hele 72:1 ved boksmålingen (Tabell 1). Forklaringen er høyst sannsynlig at CO₂ er mye mer løselig i vann enn CH₄, slik at produsert CO₂ er ført bort med grunnvannet i massene som ble nedbrutt. Vi ser ofte det samme i avfallsdeponier hvor det er grunnvann i avfallsmassene og sen nedbrytning.

5.1.1 Metan

Metan er ansett som en lite giftig gass og har ingen kjente langtidseffekter (FHI, 2018). Den direkte helsefaren er at høye konsentrasjoner av metan kan gi oksygenmangel. Dette kan inntreffe ved 4-5 %, eller 40-50.000 ppm. Målingene i uteluft i Kirkebukten er godt under dette.

Metangass er også brennbar og eksplosiv i visse konsentrasjonsområder. Gassen kan eksplodere om den opptrer i konsentrasjoner mellom 5 volumprosent (LEL; Lower Explosive Limit) og 15 volumprosent (UEL; Upper Explosive Limit). Ved konsentrasjoner under LEL er gassen for uttynnet til å utgjøre en eksplosjonsfare og ved høyere konsentrasjoner enn UEL er konsentrasjonen for høy til at gassen vil eksplodere ved vanlig temperatur og trykk (FHI, 2018). Den vil imidlertid brenne ved tilgang på luft. I begge tilfeller trengs en tennkilde. Målingene fra Kirkebukten viser at gassen i gassansamlingene på bunnen (måling i pose og boks) har en konsentrasjon over 5% (100% LEL), og vil være eksplosiv i konsentrert form. Målingene ved overflaten er imidlertid godt under LEL, og gassen utgjør dermed ingen fare idet den slippes fri og blir fortennet i uteluften. Målingene gjort i friluft direkte over utslipp ved overflaten (2700 ppm / 5,4% LEL) og i lett båten (183 ppm 0,4 % LEL) viser at det er målbare metanverdier ved punktering av en gassansamling på bunnen, men at verdiene er lave og godt under grensen hvor de vil kunne utgjøre fare for mennesker.

5.1.2 Karbondioksid

Som nevnt over dannes det normalt CO₂ sammen med metan ved anaerob nedbrytning, men den fjernes sannsynligvis fra gassfasen som løst i grunnvannet. Hvis dette ikke hadde vært tilfelle, ville CO₂ kunne representere et potensielt helseproblem ved overflaten (for svømmere). Ved CH₄/CO₂-forhold på 1,5 ville 2700 ppm CH₄ tilsvare 1800 ppm CO₂ som kommer i tillegg til luftens innhold på 400 ppm, totalt 2100 ppm. Veiledende nivå for inneklime er 1000 ppm, mens grenseverdien for gjennomsnittskonsentrasjon over åtte timer for en arbeidstaker er satt til 5000 ppm (Arbeidstilsynet.no). Den potensielle kortsiktige faren ved utslipp av CO₂ er dermed ikke til stede.

5.1.3 Hydrogensulfid

Hydrogensulfid utgjør svært liten helsefare ved konsentrasjoner under 1 ppm (FHI, 2018), mens det rapporteres om bronkial obstruksjon hos astmatikere og øyeirritasjon ved ca. 2-3 ppm H₂S. Redusert oksygeneffekt med påfølgende plager forekommer fra 4,6 ppm (FHI, 2018). Grenseverdi for øvre tillatte gjennomsnittskonsentrasjon over åtte timer for en arbeidstaker er satt til 5 ppm (Arbeidstilsynet.no). Konsentrasjoner over 460 ppm er regnet som dødelig, mens LEL for H₂S er 40 000 ppm (tall i mg/m³ fra FHI omregnet til ppm vha YAGA (YAGA, 2023)).

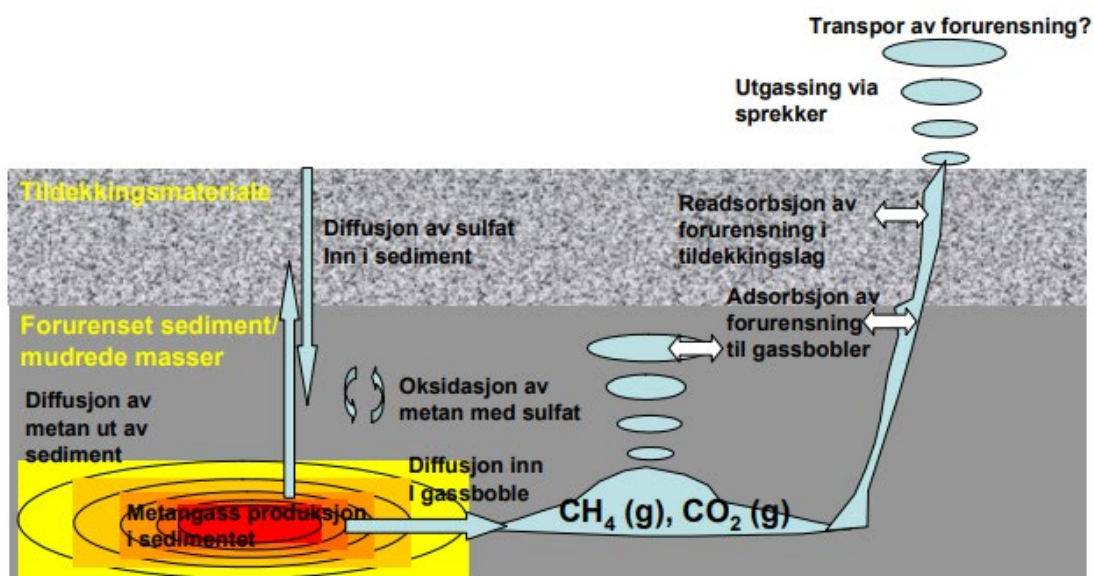
Maksimumsmåling av hydrogensulfid direkte over gassutslipp ved overflaten i Kirkebukten viste 4 ppm (Tabell 1) over en periode på noen sekunder (5-10 sek). Alle målinger ved personhøyde i lett båt, og generelt i friluft viste imidlertid ikke målbare verdier for H₂S. Dette indikerer at det direkte over et utslipp vil kunne oppstå merkbare konsentrasjoner av hydrogensulfid, men at det vil forsvinne raskt og ligger godt under farlige nivåer.

5.1.4 Karbonmonoksid

Målinger av CO i Kirkebukten er godt under skadelig nivå. Høyeste målte verdi var 11 ppm, og dette er trolig knyttet til eksos fra påhengsmotoren og ikke gassutslippet fra bunnen. Til sammenligning er anbefalt maksimumsverdi for gjennomsnittskonsentrasjon i 8 timer for en arbeidstaker 20 ppm (Arbeidstilsynet.no).

5.2 Mobilisering av forurenset materiale

En annen effekt av gassdannelse og gassutslipp, er at gassen kan ta med seg forurensing fra de underliggende forurensete sedimentene opp i tildekkingsmaterialet og ut i vannmassen (ref. Figur 14). Overvåking av forurensingssituasjonen i både vann og sedimenter i Kirkebukten har vist en rekontaminering av de øverste delene av tildekkingslaget (COWI, 2023). På bakgrunn av sammensetningen av det forurensete materialet ble det ved overvåking i 2022 imidlertid konkludert med at rekontamineringen av sedimentene i Kirkebukten primært skyldes tilførsel av nytt forurenset materiale fra land, og ikke transport av forurensing fra de underliggende forurensete sedimentene (COWI, 2023). Det er derfor lite som tyder på at gassdannelse har hatt en betydelig påvirkning på rekontaminering av sedimentene, og at tildekkingen i så måte har fungert etter hensikten. Det vil imidlertid vise seg ved neste overvåkingsrunde (planlagt i 2026) om punkteringen av den reaktive matten i felt 1 har bidratt til en større fluks av forurensing opp fra det tildekkede materiale til tildekkingsmaterialet og vannmassene og om det har hatt innvirkning på rekontamineringen av området.



Figur 14: Skisse som viser mekanismer som påvirker metan i sedimenter og spredning av forurensing (Briseid, et al., 2006).

5.3 Evaluering av metode

De ulike fremgangsmåtene for å måle gass i denne rapporten er gjort for å måle sammensetningen av konsentrert gass (pose og boks), og konsentrasjon i friluft slik personer i nærhet av et gassutslipp vil kunne bli utsatt for gassen.

For målinger av konsentrert gass var pose-metoden den mest effektive og trolig den beste. Det var uproblematisk for dykkeren å samle gass i en pose og frakte den til overflaten for måling. Målingene ble trolig også mer representative på denne metoden enn i boksen ettersom det ved bruk av pose kan utelukkes at påvirkning fra pusteluften fra dykkeren og minimalt med påvirkning fra uteluft ved overflaten. Ved målinger i boks var det i noen tilfeller utfordrende å posisjonere lett båten direkte over gassutslippet, og potensielt større påvirkning av uteluft i målingene. Det antas også at denne metoden kan være utfordrende med mer vind, strøm eller bølgeaktivitet enn det var ved dette feltarbeidet.

Målinger i friluft ble gjort ved vannoverflaten direkte over gassutslipp og mer generelt i friluft om bord i lett båten for å undersøke potensiell eksponering for mennesker. Målinger direkte ved vannoverflaten vil være en «worst case» måling med så høy konsentrasjon det er mulig å få på overflaten, mens målinger i båten vil være mer representativt for det som faktisk vil være reell eksponering for personer i området ved et gassutslipp.

Sammenligning mellom observasjoner gjort av dykker og et skyggerelieffkart (Figur 9), indikerer at kartlegging av gassdannelser vil kunne være mulig med multistråleekkolodd. En inspeksjon med dykker vil nok være den beste måten å kartlegge forekomster av gass under en tildekkingsmatte. Det ble observert små gassansamlinger av dykker som ikke kommer fram i skyggerelieffkartet, men om det er snakk om store områder eller store gassansamlinger, vil en kartlegging med multistråleekkolodd være et alternativ. Denne metoden har også fordelen av at det ved gjentatte målinger over tid vil være mulig å kvantifisere endringer i størrelsene på gassansamlingene.

6 Referanser

Bergen kommune. 2010. *Søknad om tillatelse til mudring og tildekking av forurensede sedimenter i Kirkebukten.* 2010.

Briseid, Tormod, Eek, Espen og Linjordet, Roar. 2006. *Biologiske prosesser i sedimenter – en litteraturstudie.* s.l. : Bioforsk rapport vol. 1 nr. 123, 2006.

COWI. 2012. *Gjennomført av mudring og tildekking i Kirkebukten. Prosjekt 128869.* 2012.

—. **2020.** *Miljøtilstand i Kirkebukten. Overvåkingsresultater 2019.* Bergen : COWI, 2020.

—. **2023.** *Miljøtilstand i Kirkebukten. Overvåking 2022. FAGRAPPORT A243166-2022-04.* 2023.

FHI. 2018. Bygging på gamle avfallsdeponier. [Internett] 28 juni 2018. [Sitert: 2 October 2023.] <https://www.fhi.no/kl/avfall-og-soppel/info-kommune-og-naring/bygging-pa-gamle-avfallsdeponier/>.

YAGA. 2023. [Internett] 2023. [Sitert: 2 oktober 2023.] <https://yaga.no/omregning-mellom-ppm-og-mg-m3/>.

