

---

RAPPORT

# Strømforhold, innlagring og marint miljø i sjø

## NCC Arna steinknuseverk, Bergen kommune

---

OPPDRAKSGIVER

NCC Arna steinknuseverk

EMNE

Strømforhold, innlagring og marint miljø i sjø

DATO / REVISJON: 16.11.2022 / 0

DOKUMENTKODE: 10224464-01-RIMT-RAP-002

---



Multiconsult

Denne rapporten er utarbeidet av Multiconsult i egen regi eller på oppdrag fra kunde. Kundens rettigheter til rapporten er regulert i oppdragsavtalen. Tredjepart har ikke rett til å anvende rapporten eller deler av denne uten Multiconsults skriftlige samtykke.

Multiconsult har intet ansvar dersom rapporten eller deler av denne brukes til andre formål, på annen måte eller av andre enn det Multiconsult skriftlig har avtalt eller samtykket til. Deler av rapportens innhold er i tillegg beskyttet av opphavsrett. Kopiering, distribusjon, endring, bearbeidelse eller annen bruk av rapporten kan ikke skje uten avtale med Multiconsult eller eventuell annen opphavsrettshaver.

## RAPPORT

OPPDRAAG	Arna, deponi i fjellhall reguleringsendring og søknad	DOKUMENTKODE	10224464-01-RIMT-RAP-002
EMNE	Strømforhold, innlagring og marint miljø i sjø	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAAGSGIVER	NCC Arna steinknuseverk	OPPDRAAGSLEDER	Solveig Renslo
KONTAKTPERSON	Arild Ove Hagen	UTARBEIDET AV	Jan Potac, Juni Vaardal-Lunde, Tone Vassdal
KOORDINATER STRØMMÅLINGER	60°28.472975 N 5°25.253205 Ø	ANSVARLIG ENHET	10235042 Tromsø Marint miljø og havbruk

## SAMMENDRAG

Avrenning fra steinbrudd og planlagt massedeponi skal ledes via planlagt tunell med utslipp til Sørfjorden, Bergen kommune. For å vurdere utslippsvannets påvirkning på resipienten har innlagringsdypet til utslippsvannet, samt fortykning av utslippsvannet, blitt modellert.

Det er registrert et regionalt gytefelt for kysttorsk som dekker store deler av Sørfjorden og overlapper område for planlagt utslipp. Sjøområdet ved utslippet fungerer også som en transportkanal og beiteområde for laks og sjøørret, og for utvandring av laksesmolt som er en rødlistet art.

Dersom utslipp innlagres dypere enn 20 meter, antas det å gi minst påvirkning med tanke på gytefelt, torskelarver og partikkelpåvirkning i øvre vannlag.

Innlagringsmodelleringen viser at ved å legge utslippet til 50 m vil det i hovedsak innlagres dypere enn 20 m. Ingen av de modellerte situasjonene viser gjennomslag til overflaten.

REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV
00	16.11.2022	Utslippsimuleringer (VP)/ Marint biologisk mangfold	Jan Potac, Juni Vaardal-Lunde/ Tone Vassdal	Jan Potac, Martin Arntsen/Silje Røysland	Solveig Renslo

**INNHOLDSFORTEGNELSE**

<b>1</b>	<b>Innledning .....</b>	<b>5</b>
1.1	Definisjoner.....	6
<b>2</b>	<b>Data og metodebeskrivelse.....</b>	<b>8</b>
2.1	Innlagringsmodellering .....	8
2.2	Strøm og hydrografimålinger.....	9
2.3	Modelldata fra NorFjords160 .....	12
<b>3</b>	<b>Marint miljø og nedbørsdata .....</b>	<b>14</b>
3.1	Vannmiljø iht. vannforskriften .....	14
3.2	Nedbørsdata .....	15
3.3	Marine naturtyper og økologiske funksjonsområder .....	16
3.4	Fiskeri og akvakultur .....	17
3.5	Rødlistearter tilknyttet sjø .....	17
3.6	Miljøgifter i utslippsvannet (partikler) .....	18
<b>4</b>	<b>Oppsett og inputdata til utslippsmodellering .....</b>	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>Resultater fra Visual Plumes .....</b>	<b>21</b>
<b>6</b>	<b>Diskusjon .....</b>	<b>30</b>
<b>7</b>	<b>Referanser .....</b>	<b>31</b>
<b>Appendix A. ....</b>		<b>32</b>
<b>Appendix B. ....</b>		<b>34</b>

## 1 Innledning

NCC Arna Steinknuseverk ønsker å utvide sin virksomhet i Ytre Arna, Bergen kommune, til å også gjelde mottak og deponering av ordinært avfall i utsprengte fjellhaller (bergrom).

Overvann og sigevann er planlagt ført ut i Sørfjorden, like utenfor steinknuseverket. Statsforvalter skriver i merknad til oppstartsvarsel at det er registret et viktig gytefelt for torsk i resipienten, og videre at det må vurderes om dette skal sette begrensninger for arealbruken, for eksempel hvilken deponikategori som skal tillates. For å vurdere eventuelle effekter på torskelarver og eventuelt andre sårbare arter må det gjennomføres spredningsberegninger basert på forventet innhold av forurensete komponenter i utslippet.

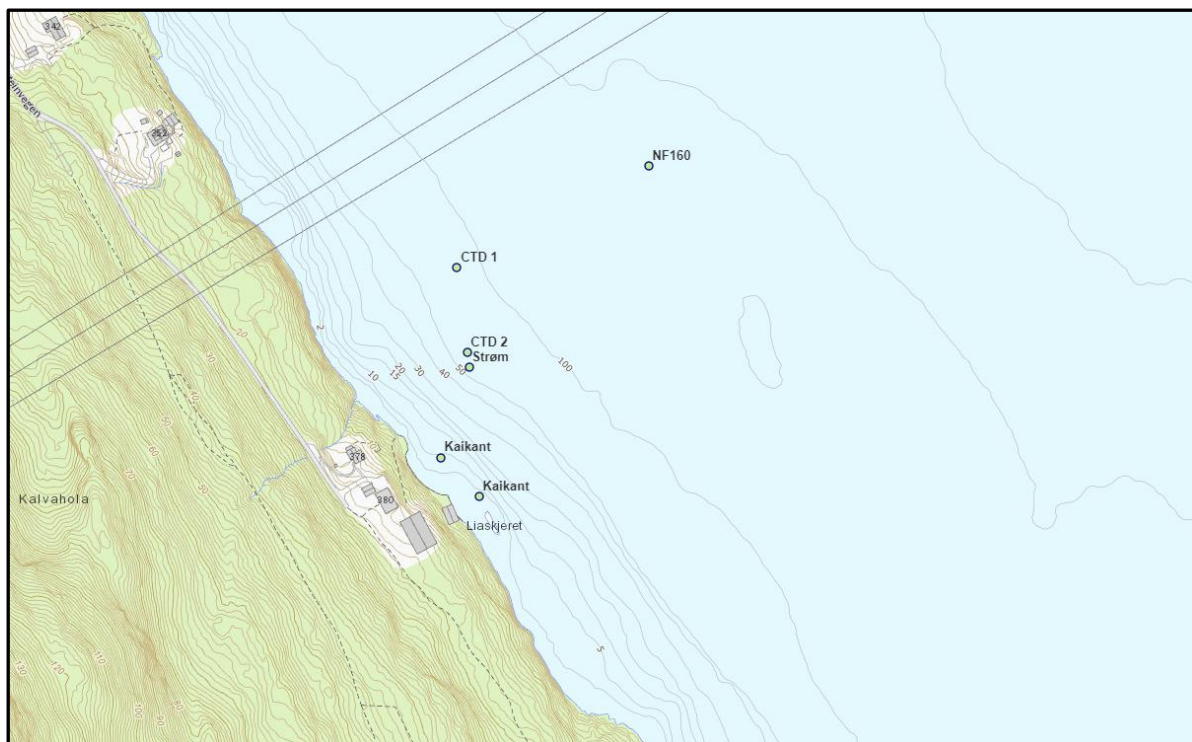
Formålet i denne studiet er å modellere innlagringsdypet til utslippsvannet, samt fortynningen av vannmassene som slippes ut, som grunnlag for vurdering av utslippets påvirkning på resipienten.

Strømmålinger (1) og hydrografidata fra modellen Nordfjord 160 er brukt som input i innlagrings- og fortynningsmodellen, sammen med informasjon om utslippet mottatt av NCC Arna Steinknuseverk.

Figur 1-2 viser området rundt foreslått utslipp, samt målepunkt for strøm og hydrografi. Plassering av utslippspunktet er ikke bestemt, men skal ligge i forlengelsen av planlagt tunnel utenfor planlagt kaianlegg.



Figur 1-1: Oversiktskart som viser området rundt Byfjorden og Sørfjorden, interesseområdet og målepunkt for strøm er markert



Figur 1-2: Oversiktskart som viser området utenfor planlagt kaianlegg (markert med punktene kaikant), målepunkt for strøm og hydrografi, samt modell fra NF160 er markert.

## 1.1 Definisjoner

- 10 prosentil:** En prosentil er den verdien som en gitt prosentandel av dataen er mindre eller lik. Det vil si at 10 prosentilen representerer verdien hvor 10 % av dataen er mindre eller lik dette (her: en 10 prosentil hydrografiprofil representerer den profilen hvor det 10 % av tiden vil være svakere lagdeling (mindre sjiktning i vannmassene).
- Avfallsdeponi:** Deponi for ordinært avfall. Avfall som ikke er klassifisert som farlig avfall, og som ikke overskrider grenseverdiene for utlekkingspotensial for ordinært avfall (se [Avfallsforskriftens kap. 9, Vedlegg II, pkt. 2.3.1.](#)). Forurensede masser opp til grense for farlig avfall. For eksempel jord- og gravemasser, betong og bunnaske. Stabilt, ikke-reaktivt farlig avfall med utlekkingssegenskaper tilsvarende de ordinære avfallstypene. Dette farlige avfallet skal ikke deponeres sammen med biologisk nedbrytbart avfall. Innholdet av organisk karbon (TOC) kan ikke overstige 5 %.
- Bunnslå:** Etter fullført egg- og larvefase i de frie vannmassene svømmer yngelen mot bunnen for å finne egnede oppvekstområder. Dette kaller vi at yngelen “bunnslår”.
- Gjennomslag:** Hvis en del av plumen når overflaten. Konsentrasjonen ved overflaten vil avhenge av om det er plumsenteret (høy konsentrasjon) eller plumgrensen (lav konsentrasjon) som når overflaten.
- Innlagring:** Plumen når innlagringsdypet når tettheten på væsken i plumen er fortennet i en slik grad at den har samme tetthet som omkringliggende vann, og dermed er i likevekt.
- Hydrografiprofil:** Profil som viser hvordan temperatur, salinitet og tetthet varierer fra overflate til bunn.
- Median:** Medianen finner vi ved først å sortere alle dataene i stigende rekkefølge, for så å finne det midterste tallet. På denne måten finner man verdien som deler datasettet

i to deler slik at hver del har like mange verdier. (her: en median hydrografiprofil beskriver profilen hvor halvparten av de øvrige profilene har sterkere lagdeling, mens halvparten har svakere lagdeling).

- Pe:** Personekvivalent. 1 pe tilsvarer utslipp fra 1 person. Mengde organisk stoff som brytes ned biologisk med et biokjemisk oksygenforbruk målt over 5 døgn, BOF5, på 60 g oksygen pr. døgn.
- Plume:** En væske (her: avløpsvann) som føres ut i en annen væske (her: sjøvann) og beveger seg gjennom denne mens den fortynnes.
- Plumesenter:** Senter av plumen, der plumen har høyest konsentrasjon.
- Vannutskifting:** Vannutskiftingen angir mengden vann som strømmer gjennom en kvadratmeters flate i løpet av måleperioden i gitte retninger. Vannutskiftingen gir et bilde på hvor hovedtransporten av vannmassene beveger seg.
- Visual Plumes:** Modellverktøy som er brukt for modellering av innlagringsdyp og primærfortynning til utslippsvannet (nærmere beskrevet under).
- Ytterkant av plumen:** I modellen er ytterkant av plumen definert der hvor konsentrasjonen er lik gjennomsnittlig konsentrasjon ved innlagring. Ytterkant av plumen er i figurene vist som rett vertikal utstrekning, dette kan avvike noe fra virkeligheten da ytterkant av plumen er avhengig av vinkel og retning på plumen.

**Årstidene er definert som følger:**

Vinter: desember, januar, februar

Vår: mars, april, mai

Sommer: juni, juli, august

Høst: september, oktober, november

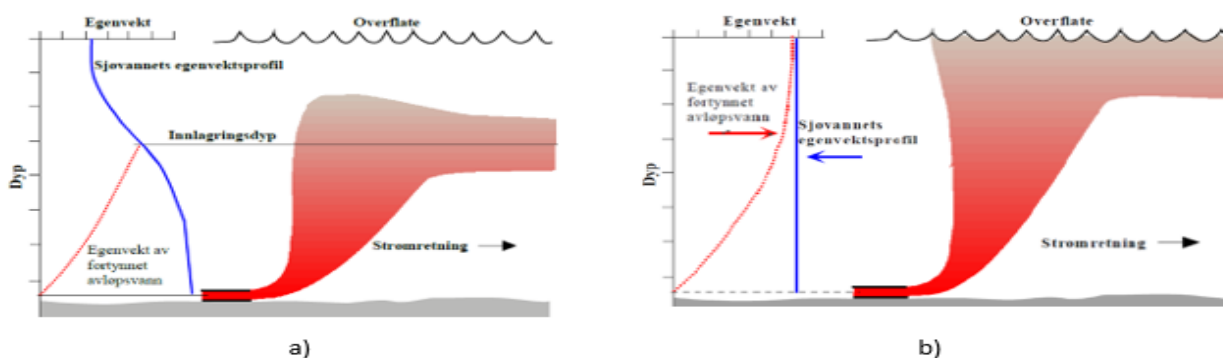
## 2 Data og metodebeskrivelse

### 2.1 Innlagringsmodellering

Formålet med modellberegningene er å anslå realistiske innlagringsdyp for utslippsvannet, samt grad av fortynning. For å beregne utslippstrålens bane under forskjellige forhold, er modellverktøyet Visual Plumes benyttet (2). Modellen er utviklet av EPA (United States Environmental Protection Agency). Den har vært benyttet i vurderinger knyttet til en rekke utslipp, og under gitte forutsetninger vist godt samsvar mellom modellresultater og observasjoner (3).

Resultatene fra Visual Plumes gir vertikal spredning av sigevannet, innlagringsdyp og primærfortynning som foregår fra utløpet av avløpsrøret og til det innlagres. Utslippsvannet fra fjellanlegget vil ha en lavere tetthet enn det lokale sjøvannet i Sjøfjorden. Utslippsvannet vil derfor få en positiv oppdrift og begynne å stige idet vannet kommer ut av røret. Etter hvert som utslippsvannet stiger, vil det blandes og fortynnes med de omkringliggende vannmassene. Dermed vil egenvekten øke. Samtidig som egenvekten øker, avtar egenvekten på sjøvannet omkring, som følge av lagdeling i vannsøyla. Siden det fremdeles er bevegelsesenergi i utslippsvannet vil det fortsette å stige, selv etter likevektspunktet er nådd. Etter hvert som bevegelsesenergien avtar, når utslippet sin maksimale høyde i vannsøyla og dens negative oppdrift fører til at det deretter vil synke tilbake forbi likevektspunktet. Dypet hvor utslippsvannet er nøytralt kalles innlagringsdyp (gitt som «trap level» i Visual Plumes), se Figur 2-1 a). Det er i fasen før det fortynnede utslippsvannet når innlagringsdyp at fortynningen er mest effektiv, dette kalles primærfortynning. Etter oppnådd innlagringsdyp vil det videre fortynnes og spres horisontalt med strømmen vekk fra utslippsområdet, kalt sekundærfortynning. Visual Plumes stopper modelleringen når plumesenteret eller ytterkant av plumen kommer i kontakt med overflaten, eller når plumen innlagres. Plumesenter og ytterkant av plumen er gitt som «centerline» og «average plume boundary» i Visual Plumes.

Det er flere forhold som avgjør dybden utslippsvannet vil innlagres på. Raskere fortynning av utslippstrålen medfører at utslippet raskere oppnår nøytral oppdrift, og dermed dypere innlagring. Fortynningen avhenger av strålens hastighet ut av røret, vannmengden som slippes ut, samt strømhastighet og lagdeling i vannsøyla. Hvis vannsøyla har en sterk lagdeling (typisk sommersituasjon i norske fjorder) vil innlagringen skje raskere enn ved svak lagdeling (typisk vintersituasjon i norske fjorder). Samtidig vil høy strømhastighet i resipienten føre til raskere og mer effektiv fortynning og dermed en noe dypere innlagring, samt høyere fortynning før innlagring. Det er ved lave strømhastigheter og svak lagdeling i vannsøyla at det forventes innlagring nærmest overflaten. Disse forholdene gir også størst mulighet for gjennomslag, se Figur 2-1 b).



Figur 2-1: Illustrasjon av dyputslipp til sjøvann (Miljødirektoratet M46:2013). Figur a) viser en situasjon med vertikal lagdeling (egenvekten øker med dybden) og innlagring av utslippsvannet, mens figur b) viser en situasjon uten vertikal lagdeling i vannmassen (konstant egenvekt) der utslippsvannet når helt til overflaten uten innlagring



## 2.2 Strøm og hydrografimålinger

Det ble utført strømmålinger og to hydrografimålinger (temperatur og salinitet) ved Steinknuseverket i 2022 av Multiconsult (1).

Det ble målt strøm i en periode på én måned fra 10 m til 40 m dybde utenfor Steinknuseverket, se målepunkt i Figur 1-2.

Hydrografimålinger ble utført i to punkt, CTD 1 og CTD 2 i Figur 1-2. Punktene ligger like i nærheten av strømmålepunktet og i området for planlagt utslipp.

Tabell 2-1 og Tabell 2-2 sammenfatter bakgrunnsinformasjon for strøm- og hydrografimålingene.

Tabell 2-3 gir en oversikt over hovedresultatene fra strømmålingen ved forskjellige dybder.

Strømhastighetene ved de fire måledypene er generelt lave. Gjennomsnittsstrømmen ligger på mellom 3 cm/s ved 10 m dybde og 2 cm/s ved 40 m dybde. Strømmen varierer mellom sørøstlig og nordvestlig retning, se Figur 2-2. Netto vanntransport er mot sørøst, inn fjorden, ved 10 m og 20 m dybde, se Figur 2-3. Vanntransporten mot sørøst avtar noe ned mot 30 m dybde hvor transporten er mer lik i sørøstlig og nordvestlig retning, hvilket kan ha med at tidevannssignalet er relativt sett sterkere i disse dypene enn lenger oppe i vannsøylen (1).

Tabell 2-1: Oversikt over de hydrografiske målingene

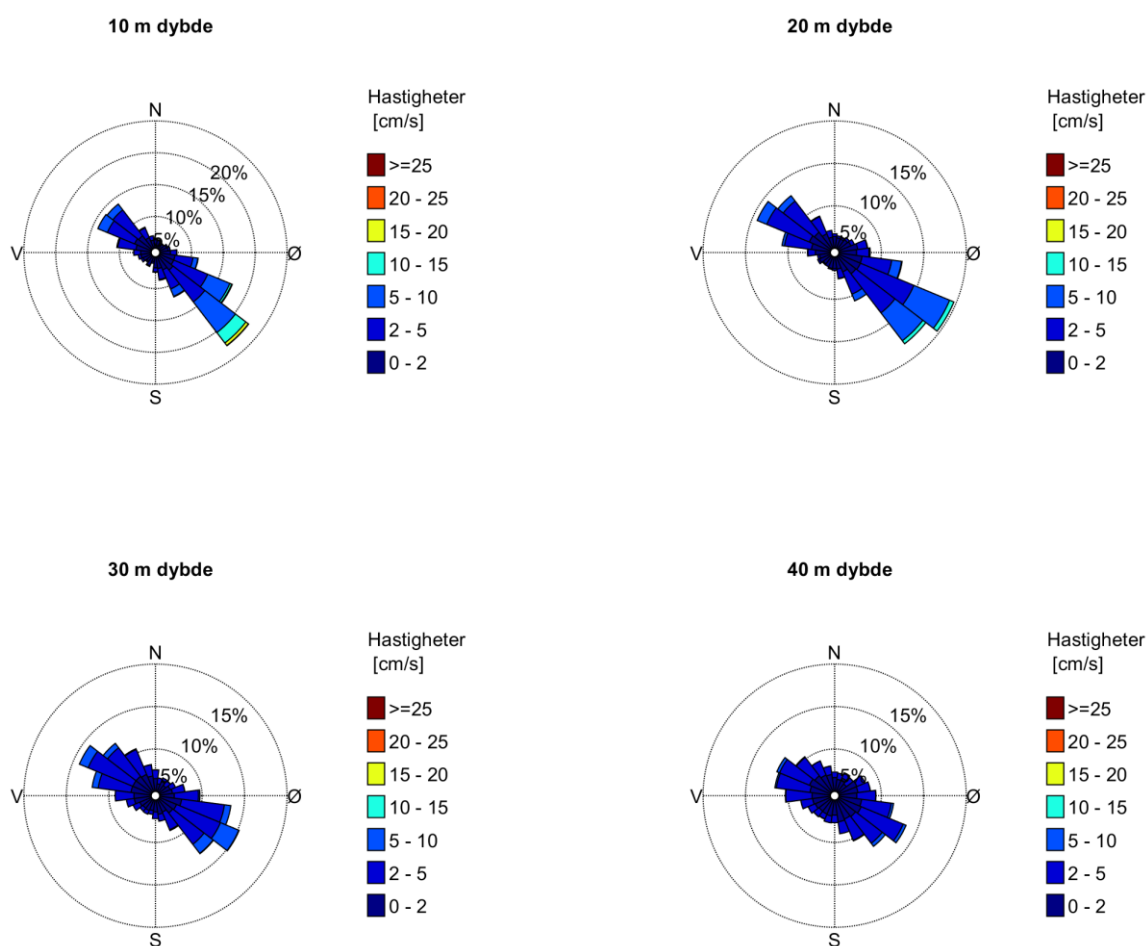
CTD	CTD 1	CTD 2
Posisjon	60°28.5077 N 5°25.2338 Ø	60°28.4784 N 5°25.2498 Ø
Dybde	86 m	61 m
Måletidspunkt	20.05.2022	17.06.2022

Tabell 2-2: Informasjon om strømmålingene (1)

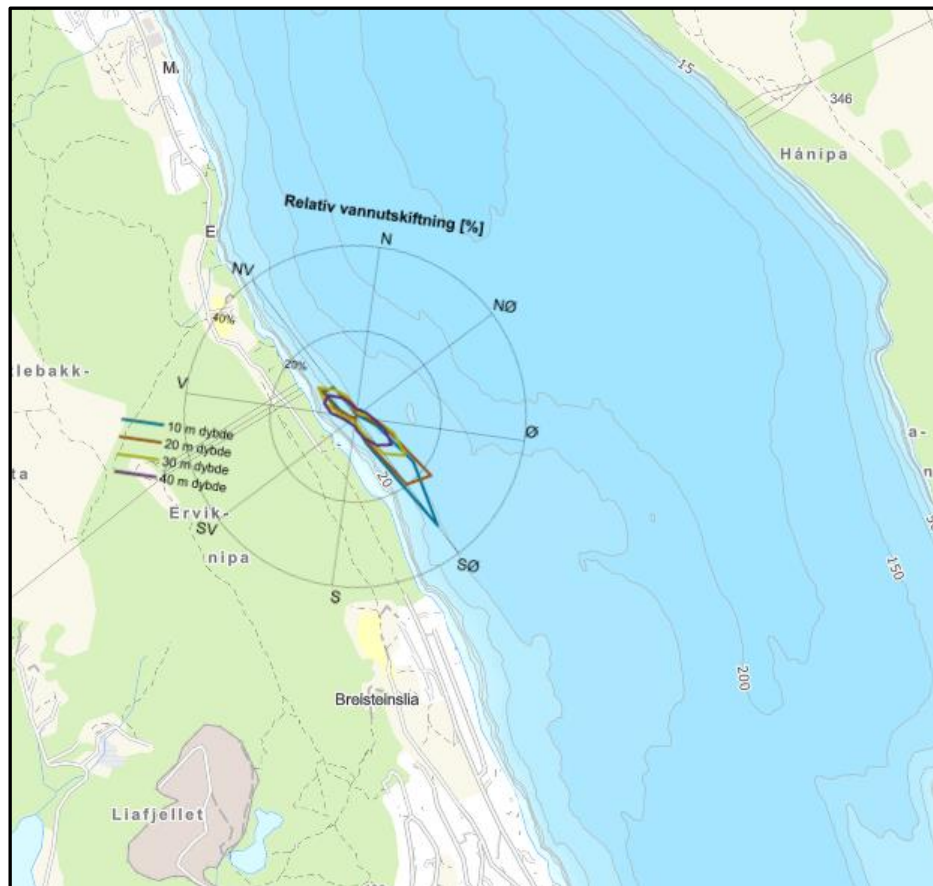
Posisjon	60°28.472975 N 5°25.253205 Ø
Ca. dybde på målestedet	50 m
Måleperiode	20-Mai-2022 08:30:00 til 17-Jun-2022 08:20:00 (UTC)
Varighet	28 dager
Målertype - 44 m dybde	Doppler profilmåler (Signature500, Serienummer 101638), profilering av horisontal og vertikal strøm fra 8 til 40 m dybde, cellestørrelse 2 m
Frekvens	Hvert 10. minutt

Tabell 2-3: Statistikk fra strømmålingen (1)

Dybde	10 m dybde	20 m dybde	30 m dybde	40 m dybde
Gjennomsnittsstrøm [cm/s]	3	3	3	2
Median [cm/s]	2	2	2	2
Standardavvik [cm/s]	3	2	2	1
Maksimumstrøm [cm/s]	21	14	11	8
Retning maksimumstrøm [°]	135	134	128	124
10 prosentil [cm/s]	0.7	0.8	0.8	0.7
30 prosentil [cm/s]	1.5	1.5	1.6	1.3
40 prosentil [cm/s]	1.9	1.8	1.9	1.6
50 prosentil [cm/s]	2.3	2.2	2.2	1.9
70 prosentil [cm/s]	3.7	3.3	3.0	2.5
90 prosentil [cm/s]	6.3	5.9	4.5	3.7
95 prosentil [cm/s]	8.5	7.3	5.4	4.3



Figur 2-2: Rosediagram som viser fordelingen av retninger i kompasset og hastigheter i farge (1)

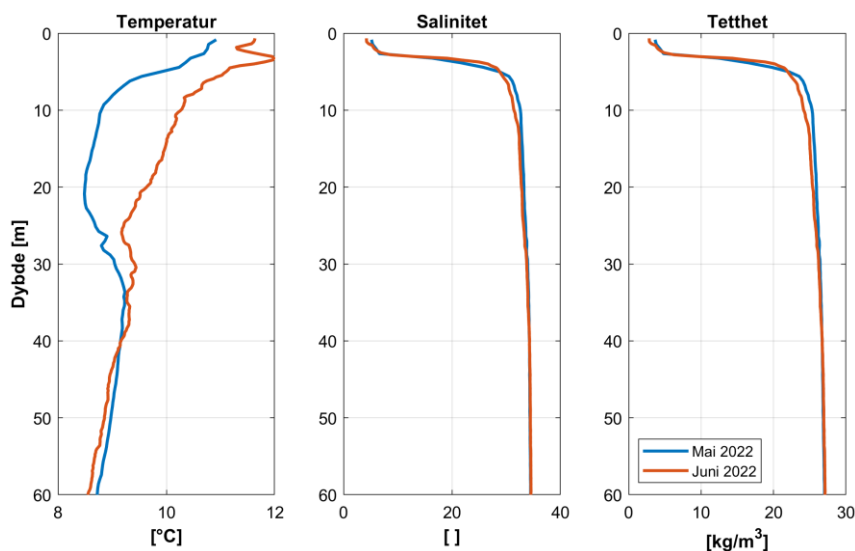


Figur 2-3: Relativ vannskiftning og antall målinger per 15 graders sektor (1)

Hydrografien utenfor steinknuseverket i Sjøfjorden vil variere gjennom året. Det er kun utført CTD målinger sen vår i mai og tidlig sommer i juni. Vanligvis er saltholdigheten lavest i overflaten ved vårfloppen i mai og juni måned.

Resultatene fra CTD målingene viser at salinitet og tetthet er relativt lik i mai og juni måned, se Figur 2-4. Temperaturen fra overflaten og ned til ca. 35 m dybde er noe høyere i juni enn i mai måned. Både i mai og juni er det observert et tydelig brakkvannslag fra overflaten og ned til ca. 5 m dybde. Sprangsjiktet med varmere og spesielt ferskere vann over kaldere og saltere vann er observert mellom 5 m og 10 m dybde. Fra ca. 10 m dybde og ned til 60 m dybde er gradienten i salinitet mindre, mens temperaturen varierer mellom 8 °C og 10 °C.

Resultatene fra hydrografimålingene er brukt til validering av hydrografidata fra NorFjords160, se Appendix A.



Figur 2-4: CTD målinger utenfor steinknuseverket i Sørfjorden. Målinger utført i mai og juni 2022

### 2.3 Modelldata fra NorFjords160

Hydrografimålinger gir et øyeblikksbilde av hydrografien i vannsøylen i punktet målingene er utført. Ved å supplere med modelldata av hydrografi som dekker flere år, kan også månedlige-, sesong- og årlige variasjoner tas hensyn til.

Havforskningsinstituttet sin strømmmodell NorFjords160 (heretter kaldt NF160) har en romlig oppløsning på 160 m og tidsoppløsning på 1 time (4) og (5)). Simuleringsperioden varer fra 01.04.2017 til 07.07.2021. Modellens oppløsning innerst i Sørfjorden og rundt utslippspunktet vil ikke gjengi topografien av sjøbunnen i detalj, men modellen kan allikevel brukes til å gi en generell beskrivelse av strømhastighet og strømretning i fjordområdene og ved utslippspunktet, samt en generell beskrivelse av hydrografien. Informasjon om modellpunkt er gitt i Tabell 2-4, plassering er vist i Figur 1-2

En validering av modellert hydrografi i NF160 mot hydrografimålingene er vist i Appendix A. Valideringen viser at målingene i mai og juni 2022 har et litt ferskere overflate lag ned til ca. 5 m dybde enn hva modellen viser. Det er godt samsvar mellom målt og modellert tetthet fra ca. 5 m og nedover. Målingene ligger godt innenfor spredningen som modellresultatene gir, og det antas at hydrografien i modelldataene representerer den forventede variasjonen i hydrografi bra. Modellresultatene gir derfor et godt grunnlag for å representere månedlig hydrografi utenfor steinknuseverket i Sørfjorden.

Tabell 2-4: Oversikt over modellpunkt (NF160) for hydrografi. Bare modelldata ned til 60 m dybde er rapportert

Parametere	Området	Koordinater (WGS84 desimalgrader)	Beskrivelse	Periode	Måleintervall	Midlingsintervall	Kilde
Hydrografi (temperatur og salinitet)	Sørfjorden	60° 28.5540 N 5° 25.3619 Ø	NF160	01.04.2017 - 01.07.2021	1 h*	-	HI **

\*Alle timesverdiene av hydrografi fra NorFjords160 er i analysene omgjort til døgngjennomsnitt

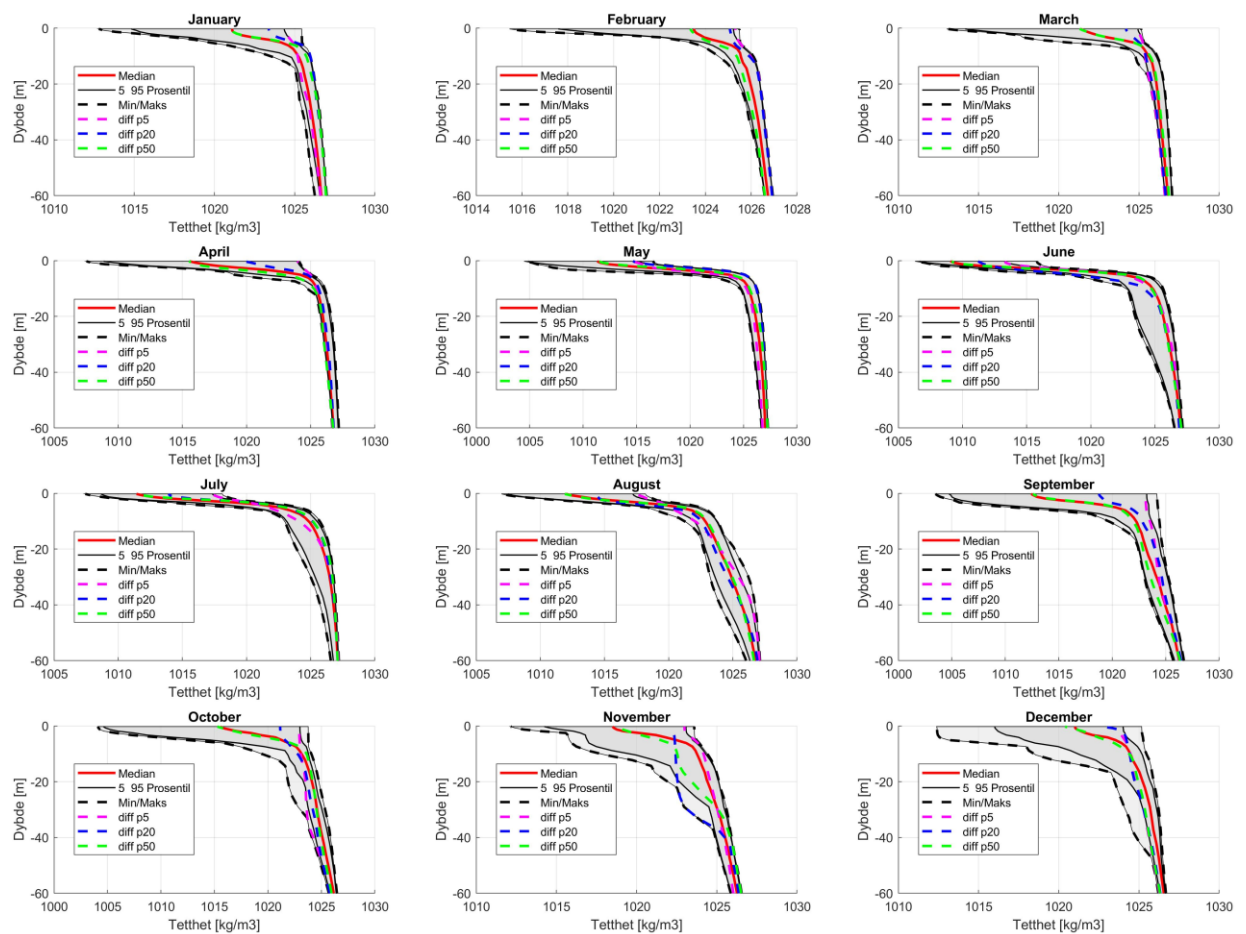
\*\* Havforskningsinstituttet

Månedlig variasjon av hydrografi (basert på daglig gjennomsnitt av tetthet) fra NF160 (2017-2021) ved Steinknuseverket er vist i Figur 2-5. Figuren viser median tetthetsprofil, minimum og maksimum verdier av tetthet, samt 5 og 95 prosentilen av tetthet for alle modelldyp. Tetthetsprofilene som ligger nærmest 5, 20 og 50 prosentilen av tetthetsdifferansen mellom 1 m og 50 m dybde er også vist i Figur 2-5. Dybdeintervallet mellom 1 m og 50 m er valgt fordi røret ikke planlegges dypere enn 50 m.

Modelldata viser at hydrografien i området utenfor steinknuseverket i Sørfjorden varierer gjennom året. Om sommeren er det observert et ganske tynt, men veldig ferskt overflatelag. Spesielt om høsten ser overflatelaget ut til å være tykkere og dermed strekke seg lenger ned i vannsøylen.

En typisk hydrografisituasjon hvor man antar at vannsøylen 50 % av tiden har svakere lagdeling og 50 % av tiden har sterkere lagdeling er gitt som en grønn linje i Figur 2-5 for hver kalendermåned. Denne er funnet ved å bruke tetthetsprofilen som ligger nærmest 50 prosentilen av tetthetsdifferansen mellom 1 m og 50 m dybde.

En hydrografiprofil med svakere lagdeling er funnet ved å bruke tetthetsprofilen som ligger nærmest 5 prosentilen av tetthetsdifferansen mellom 1 m og 50 m dybde, vist som lilla linje i Figur 2-5, heretter benevnt «5 prosentil hydrografiprofil». Dette antas å tilsvare en hydrografisituasjon hvor vannsøylen ca. 5 % av tiden vil ha svakere lagdeling en denne profilen, og dermed større sjanse for høyere innlagring eller gjennomslag. «20 prosentil hydrografiprofilen» er også vist i Figur 2-5, sammen med minimum, maksimum, 5 prosentilen og 95 prosentilen av tetthet for hvert modelldyp.



Figur 2-5: Månedlig tetthetsprofil (2017-2021), basert på døgnerverdier, utenfor steinknuseverket i Sørfjorden fra NF160. Rød linje: median tetthet per modelldyp, svart heltrukket- og stiplet linje: 5 og 95 prosentil, samt minimum og maksimum verdier per modelldyp, lilla linje: tetthetsprofilen som ligger nærmest 5 prosentil av tetthetsdifferansen, blå linje: tetthetsprofilen som ligger nærmest 20 prosentilen av tetthetsdifferansen, grønn stiplet linje: tetthetsprofilen som ligger nærmest 50 prosentilen av tetthetsdifferansen

### 3 Marint miljø og nedbørsdata

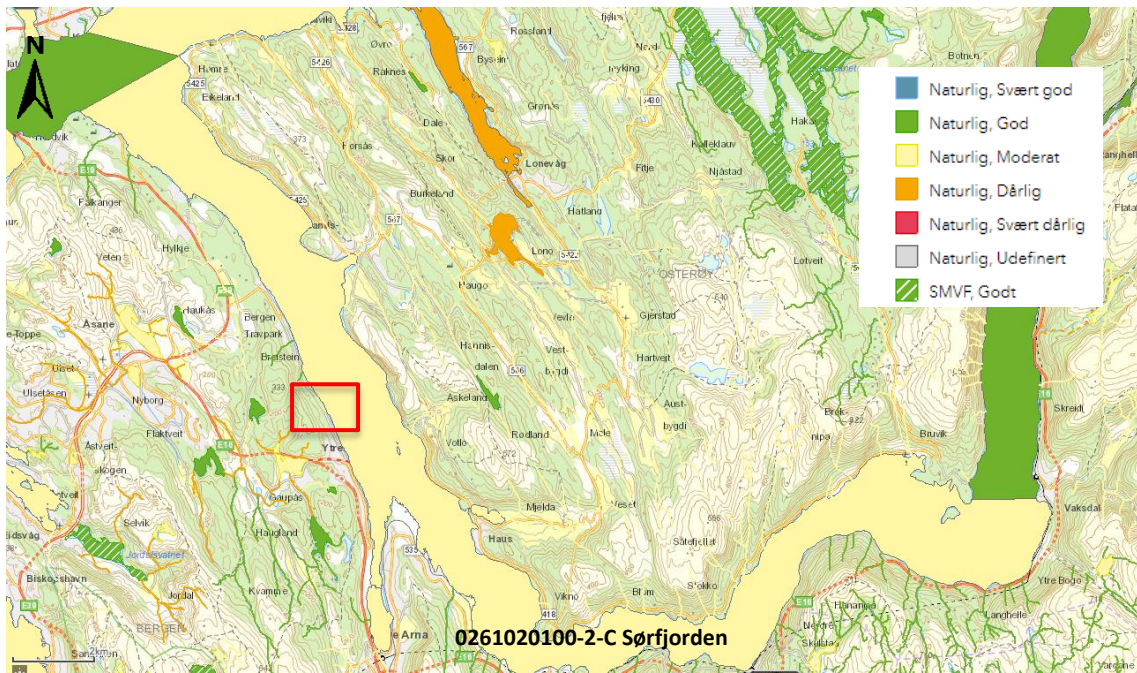
Informasjon om naturmangfold, naturtyper, arter og nedbør er hentet fra nasjonale databaser og det er ikke utført feltarbeid i forbindelse med denne rapporten. Informasjonen i databasene er ikke utfyllende, men tilgjengelig informasjon i databaser kan benyttes som et støtteverktøy for å gjøre helhetlige vurderinger. Følgende databaser er brukt for informasjon i videre underkapitler: vann-nett (6), naturbasekart (7), artskart (8), fiskeridirektoratet kart (9), lakseregisteret (10), vannmiljø (11) og meteorologisk institutt (12). KU i forbindelse med utvidelse av Arna Steinknuseverk fra 2015 (13) og andre kilder er også benyttet som grunnlag.

#### 3.1 Vannmiljø iht. vannforskriften

Etter vannforskriften §§ 4-6 er miljømål for overflatevann og grunnvann at tilstanden skal beskyttes mot forringelse, forbedres og gjenopprettes med sikte på at vannforekomstene skal ha minst god økologisk og god kjemisk tilstand.

Opplysninger om vannforekomsten er hentet fra Vann-Nett database pr. juli 2022 (6). Planlagt utslipp ligger innenfor vannforekomst Sørfjorden (ID: 0261020100-2-C), økoregion Nordsjøen Nord, i vannregion Vestland og vannområde Voss-Osterfjorden, se Figur 3-1 for utstrekning av vannforekomst. Kommuner tilknyttet vannforekomsten er Bergen, Vaksdal og Osterøy. Vanntype i området for utslipp er registrert med ferskvannspåvirket beskyttet fjord, og saltholdighet 18-30. Økologisk tilstand er vurdert til moderat med høy presisjon og kjemisk tilstand dårlig med lav presisjon. Påvirkning på vannforekomsten er oppgitt med diffus avrenning fra byer /tettsteder (nærings- og organisk forurensning), og utslipp fra fiskeoppdrett (kjemisk-, nærings- og organisk forurensning). Det er også industriutslipp og punktutslipp fra renseanlegg. Ved Garnes, ca. 2 km lengre sørøst for planlagt utslippsområde for Arna Steinknuseverk, ligger avløpsrenseanlegg Hagardsviken, Garnes, Ytre Arna med tillatelse for utslipp av ca. 9000 pe pr. 2015 (se også Vann-Nett for detaljerte opplysninger). Området er også med i resipientovervåking av fjordsystemene rundt Bergen og det finnes derfor lange tidsserier med ulike marine data i området. I Vann-Nett er det registrert moderat tilstand for kvalitetselementene klorofyll a, bunndyrsindeks og nitrat og nitritt pr. august 2022.

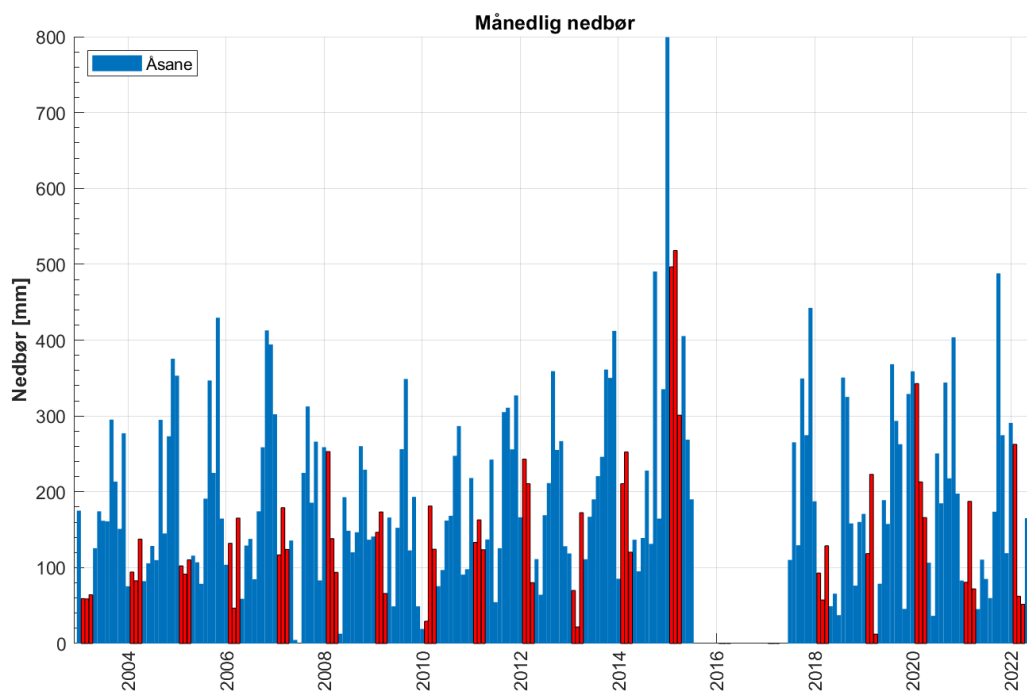
I forbindelse med utvidelse av Arna Steinknuseverk er det tidligere utført en KU for naturmangfold i 2015. I denne rapporten er det også vurdert biologisk mangfold i sjø og forurensning i sjøbunnsedimenter. For naturtyper i sjø er disse i KU vurdert som middels til stor verdi (13).



Figur 3-1: Vannforekomst kystvann «0261020100-2-C Sør fjorden», med økologisk tilstand moderat (gul farge) Ferskvannsføremster er også vist for økologisk tilstand. Rød firkant viser område for planlagt utslipp til fjord. Kilde Vann-nett pr. juli 22.

### 3.2 Nedbørsdata

Siden utslippsmengden fra dagbruddet og fjellanlegget i hovedsak er styrt av nedbørmengder er det lastet ned nedbørsdata fra Meteorologisk Institutt sin målestasjon i Åsane (12). Månedlig akkumulert nedbør er vist per kalendermåned fra 2003 til 2022 i Figur 3-2. Månedene februar til april (14), hvor bestanden av torskelarver er antatt å være på sitt høyeste, er markert med rødt.



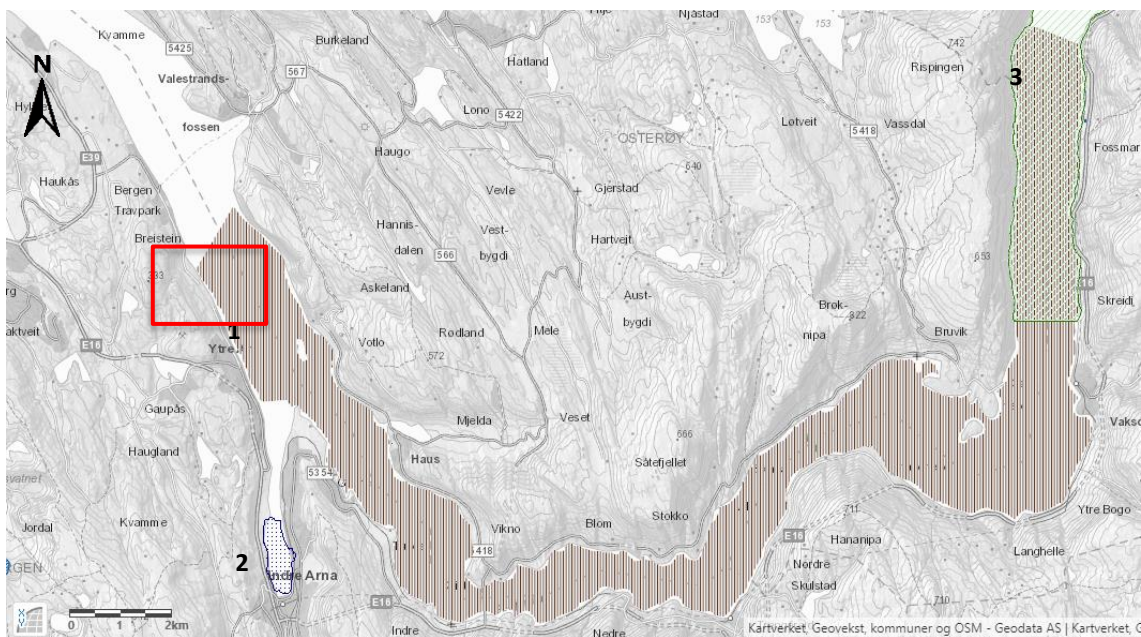
Figur 3-2 Månedlig nedbør fra Meteorologisk Institutt sin måler i Åsane (stasjonsnummer 50810) fra januar 2018 til januar 2022 (12). Data mangler i perioden fra 2015 til 2017. Måneder fra februar til april, gyteperioden for torsk, er markert med rød farge (13).

### 3.3 Marine naturtyper og økologiske funksjonsområder

I naturbase (7) er det registrert viktig naturtype i Arnavågen; «Fjorder med naturlig lavt oksygeninnhold i bunnvannet», med verdi B-viktig. Oksygenfrie forhold er tidvis registrert fra ca. 17 m dyp og dypere, se Figur 3-3.

I Lakseregisteret (10) er området i fjorden nordover fra Vaksdal vist som lakseførende strekning del av nasjonal laksefjord «Fjordene rundt Osterøy». Elva Vosso er registrert som nasjonalt laksevassdrag og har også en bestand av sjøørret. Daleelva i Vaksdal og Storelva med utløp i Arnavågen er begge registrert som lakseførende strekning, men ikke nasjonale laksevassdrag. Dette betyr at gytelaks vandrer inn og ut Sjørfjorden, og laksesmolt vandrer ut. I tillegg vil sjøørret kunne oppholde seg i fjordene over tid.

I Kystnære fiskeridata (15) er det registrert et gytefelt for kysttorsk sør for 62°, med verdi B-viktig (regionalt viktig). Gytefeltet dekker store deler av Sjørfjorden og ligger i område for planlagt utslipp, se Figur 3-3. Gytefeltet er vurdert å ha middels egg tetthet og høy retensjon (tilbakeholdelse), ref. Havforskningsinstituttet. Kysttorskten gyter vanligvis i perioden februar til april, gytingen foregår oftest på 40 til 60 m dybde i temperatursjikt på rundt 4-6 grader. For at en fjord skal holde på sin egen lokale kysttorsk, er det viktig at egg og larver blir værende inne i fjorden. Eggene klekker etter om lag to-tre uker, og torskelarven er da omtrent 4 mm lang og har en plommesekk som gir næring den første uken. Etter ytterligere to-tre måneder bunnslår yngelen på grunt vann øverst i tang- og tarebeltet (0-20 m), og de kan da være nesten 5 cm store.



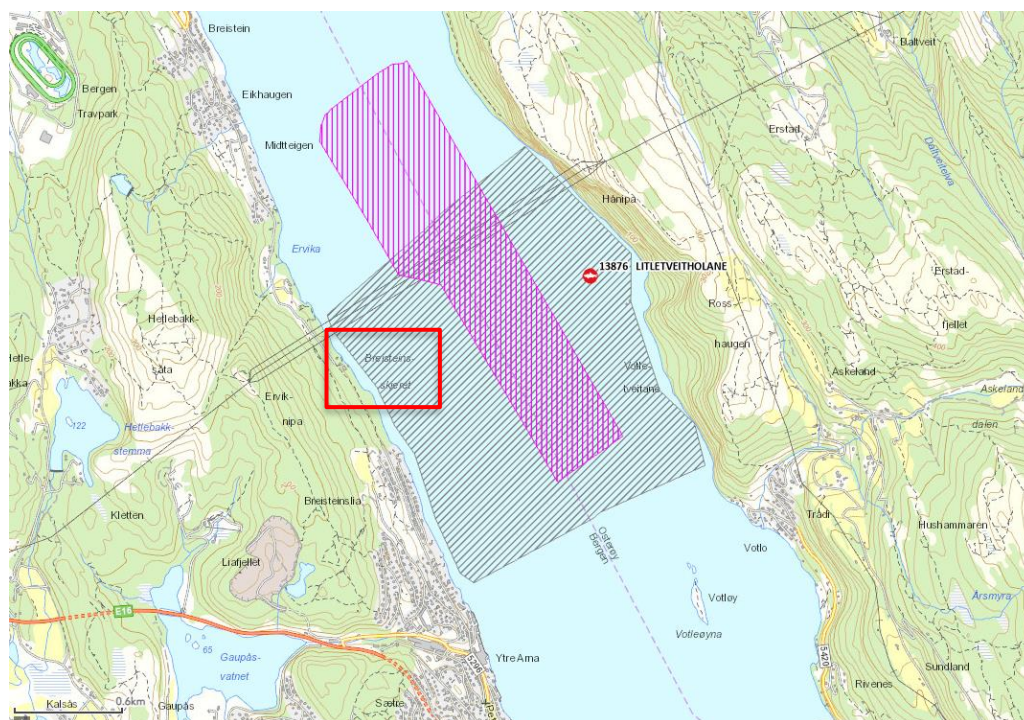
Figur 3-3 Naturtyper og økologiske funksjonsområder i Sjørfjorden, 1: grå skravur- gytefelt for torsk, 2: blå skravur-naturtype «fjorder med naturlig lavt oksygeninnhold i bunnvannet», 3: grønn skravur-nasjonal laksefjord «Fjordene rundt Osterøy». Interesseområdet er markert med rødt. Kilde: Naturbasekart pr. juli 2022



### 3.4 Fiskeri og akvakultur

Registreringer i fiskeridirektoratet kart viser område for passive redskap med fiske av lange (jan.-jun.) og lyr (hele året) ved området for planlagt utslipp, samt reke-trålfelt (hele året) i dypområdet. Dette betyr at området også er et viktig funksjonsområde for artene det drives fiske etter.

Akvakulturlokalitet Litletveitholane for oppdrett av laks /ørret ligger på andre siden av fjorden og rundt 1,5 km fra utslippsområdet, se Figur 3-4. Det er også registret fire andre akvakulturlokaliteter innenfor vannforekomst Sør fjorden.



Figur 3-4 Sør fjorden, grå skravur- fiskeplasser passive redskap, lilla skravur-reke-trålfelt. Kilde: Fiskeridirektoratet, kystnære fiskeridata pr. juli 2022

### 3.5 Rødlisterarter tilknyttet sjø

Flere rødlistede fugler er registrert i artskart i nærområdet til planlagt utslipp, samt laks, se

Tabell 3-1. Fra KU i 2015 (13) er det ikke registret rødlistearter men vanlige arter i strandsonen og i sjø ved nærområde til planlagt utslipp.

Tabell 3-1 Rødlisterarter med marin tilknytning i området ved utslipp og nærområder. CR: kritisk truet, EN: sterkt truet, VU: sårbar, NT: nær truet. Kilde: Artskart 2021, pr. juli 2022.

Norsk navn	Latinsk navn	Rødlisterstatus
hettemåke	<i>Chroicocephalus ridibundus</i>	CR
storspove	<i>Numenius arquata</i>	EN
makrellterne	<i>Sterna hirundo</i>	EN
fiskemåke	<i>Larus canus</i>	VU
ærfugl	<i>Somateria mollissima</i>	VU
gråmåke	<i>Larus argentatus</i>	VU
svartand	<i>Melanitta nigra</i>	VU
laks	<i>Salmo salar</i>	NT
tjeld	<i>Haematopus ostralegus</i>	NT
storskarv	<i>Phalacrocorax carbo</i>	NT
rødstilk	<i>Tringa totanus</i>	NT

### 3.6 Miljøgifter i utslippsvannet (partikler)

Prøvetaking av overvannet fra Arna Steinknuseverk (16) viser at det har et forhøyet innhold av arsen, kobber, nikkel, sink og nitrogen. Sammenlignet med tidligere år er det hovedsakelig nitrogenkonsentrasjonene i utslippet som har økt. Sprengstoff kan være en kilde til nitrogen og andre forbindelser.

Fra undersøkelser av sjøbunnsediment i dypområdet utenfor utslipp, St 1, ble det i 2015 påvist forhøyede verdier av antracen og  $\Sigma$ PCB i tilstandsklasse III-moderat, samt TBT-forvaltningsmessig i tilstandsklasse IV-dårlig, på sjøbunnen innenfor utslippets influensområder. Tilstandsklasser med grenseverdier for forurensning av sediment i sjø er vurdert etter veileder M-608 (17). Denne stasjonen inngår i Byfjordundersøkelsen med lange tidsserier (18).

## 4 Oppsett og inputdata til utslippsmodellering

For å beregne innlagring og fortykning med Visual Plumes trengs informasjon om:

- Rørledningens diameter,
- utslippsmengde,
- vanddybde og hvordan utslippsledningen er orientert i forhold til strømretningen,
- salinitet og temperatur på utslippsvannet,
- lagdeling i vannsøylen/resipienten (profil av saltholdighet og temperatur),
- strømhastighet i vannsøylen/resipienten.

Tabell 4-1 gir en oversikt over inngangsdataene gitt i modellen.

### Rørdimensjon

Dimensjonen på utslippsrøret påvirker utslippsvannets hastighet ut av røret og dermed blandingsprosessen i det utslippsvannet kommer ut av røret. Mindre diameter på røret vil øke utslippsvannets hastighet ut av røret og dermed gi en økt innblandingen og fortykning. Utslippet har dermed en tendens til å bli innlagret dypere i vannsøylen. Hastigheten ut røret må ikke bli for stor da dette kan føre til erodering av sjøbunnen og skader på røret.

Et rør med indre diameter på 300 mm brukt i innlagringsmodellen. Dette tilsvarer størrelsen på røret som per i dag brukes til å håndtere dagens utslipp. Da dagbruddet ikke skal utvides antas det at samme dimensjon kan brukes til utslipp i Sørfjorden.

### Utslippsmengde

Utslippsmengdene fra steinknuseverket vil variere med hensyn til mengden nedbør, da det i hovedsak er nedbørsvann som pumpes ut av bruddet og fjellanlegget. Pumpene som brukes kan per i dag pumpe ut ca. 50 m<sup>3</sup>/time (ca. 14 l/s) fra fjellanlegget ved mye nedbør. Det er valgt å modellere tre scenarier for utslippsmengde:

- 4 l/s (lite utslipp)
- 10 l/s (middelshøyt utslipp)
- 14 l/s (høyt utslipp)

### Utslippsdybde og rørets orientering

Utslippsdybden er ikke per i dag planlagt og flere dybder er derfor undersøkt. Det er valgt å ta utgangspunkt i 30 m, 40 m og 50 m som alternative utslippsdybder. Røret bør vinkles mot ca. 45°, som tilsvarer vinkelrett på den dominerende strømretningen. Ved å legge utslippsrøret 90° i forhold til den dominerende strømretningen, reduserer man muligheten for at strømmen går inn mot avløpsrøret og bremser opp utslippsvannet.

### Utslippsvannets tetthet

Utslippet er ferskvann med en tetthet på 1000 kg/m<sup>3</sup>, med en antatt temperatur på 10°C året rundt.

### Hydrografi (temperatur, salinitet og tetthet)

Modellscenarioer med typisk tetthetsprofiler (50 prosentil hydrografiprofil) og tetthetsprofiler med svakere lagdeling er modellert (se Kapittel 2.3 for beskrivelse av prosentil hydrografiprofiler). Hydrografien brukt i modellkjøringene er utelukkende hentet fra NF160, bestående av 4 år (2017-2021) med modelldata.

### Strømhastighet i resipienten

Strømhastigheten i innlagringsmodellen er basert på strømmålingene som er utført av Multiconsult i mai og juni 2022 (1). Resultatene fra målingene viser at strømmen utenfor steinknuseverket i Sørfjorden generelt er svak og følger topografien langs fjorden. Det er ikke utført målinger under 40 m dybde, men strømmen ved 5 m dybde er antatt å være tilnærmet lik 40 m dybde. Det er valgt å sette innlagringsmodellen opp med lik strømhastighet på 1.5 cm/s i hele vannsøyla da målingene viser relativt liten forskjell avhengig av vanddyb. Strømhastigheten på 1.5 cm/s tilsvarer 30 prosentilen av målte strømstyrker, hvilket vil si at det 30 % av tiden ble målt strømhastigheter under 1.5 cm/s, mens det 70 % av tiden ble målt strømhastigheter over 1.5 cm/s.

### Diffusor

Innlagringsmodellen er kjørt uten diffusor på utslippsrøret.

Tabell 4-1: Inngangsdata til Visual Plumes. Tabellen viser de forskjellige parameterverdiene som er valgt for de forskjellige modellkjøringene

Inngangsdata	
Dyp på utslippsledning	Kote -30.0 m, 0.5 m over bunn
	Kote -40.0 m, 0.5 m over bunn
	Kote -50.0 m, 0.5 m over bunn
Rørdiameter – indre diameter	150 mm
	300 mm
Temperatur på utslippsvann	10 °C
Salinitet på utslippsvann	0 psu (ferskvann)
Utslippsmengde	14.4 m <sup>3</sup> /time ≈ 4 l/s ≈ 14 400 l/time
	36 m <sup>3</sup> /time ≈ 10 l/s ≈ 36 000 l/time
	50 m <sup>3</sup> /time ≈ 14 l/s ≈ 50 000 l/time
Strøm i resipienten (30 prosentil)	1.5 cm/s
Hydrografi/Lagdeling*	Hydrografi profil (5 prosentil)
	Hydrografi profil (10 prosentil)
	Hydrografi profil (20 prosentil)
	Hydrografi profil (30 prosentil)
	Hydrografi profil (40 prosentil)
	Hydrografi profil (50 prosentil)

\*Prosentandel av tiden man antar mindre lagdeling enn gitt hydrografiprofil

## 5 Resultater fra Visual Plumes

Figur 5-2 til Figur 5-3 viser utslippsstrålens bane og innlagringsdybde for en utslippsmengde på 14 l/s (høyt utslipp) ved 30 m, 40 m og 50 m dybde ved en lite lagdelt vansøyle (10 prosentil hydrografi profilen). Figur 5-4 til Figur 5-6 viser innlagringsdybde for plumesenteret og ytterkant av plumen, per kalendermåned for en utslippsmengde på 14 l/s ved 30 m, 40 m og 50 m dybde ved forskjellige lagdelinger.

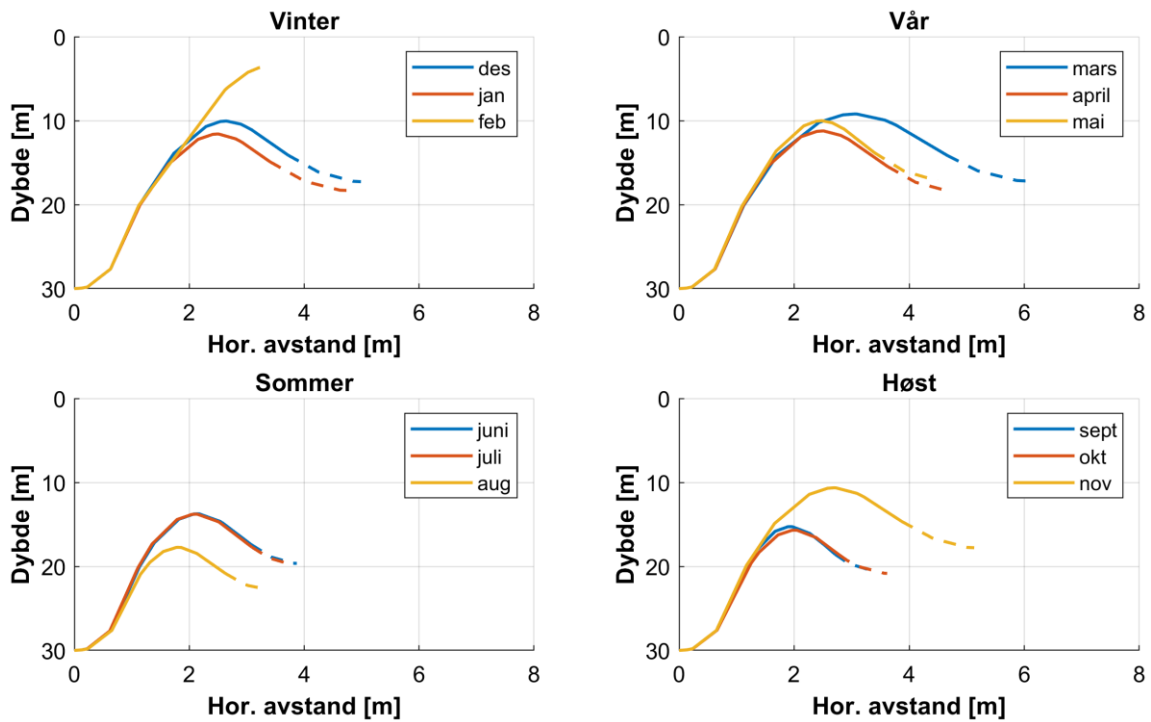
Dybde på plumesenteret og ytterkant av plumen, antall ganger fortykning (primærfortynning) og horisontal utstrekning av plumen ved innlagring er gitt fra Tabell 5-1 til Tabell 5-3 for en utslippsmengde på 14 l/s ved 30 m, 40 m og 50 m dybde ved en lite lagdelt vansøyle (10 prosentil hydrografi profilen).

Resultatene viser at utslippsvannet stiger oppover i vannsøylen og i all hovedsak innlagres fra ca. 10 m til 25 m dybde over utslippspunktet. Et utslipp ved 30 m dybde, kan føre til gjennomslag til overflaten i februar om maksimalt utslipp på ca. 14 l/s sammenfaller med lite lagdeling i vannsøylen. Det er ikke modellert gjennomslag til overflaten ved en utslippsdybde på 40 m eller 50 m, selv med høy utslippsmengde og lite lagdeling i vannsøylen.

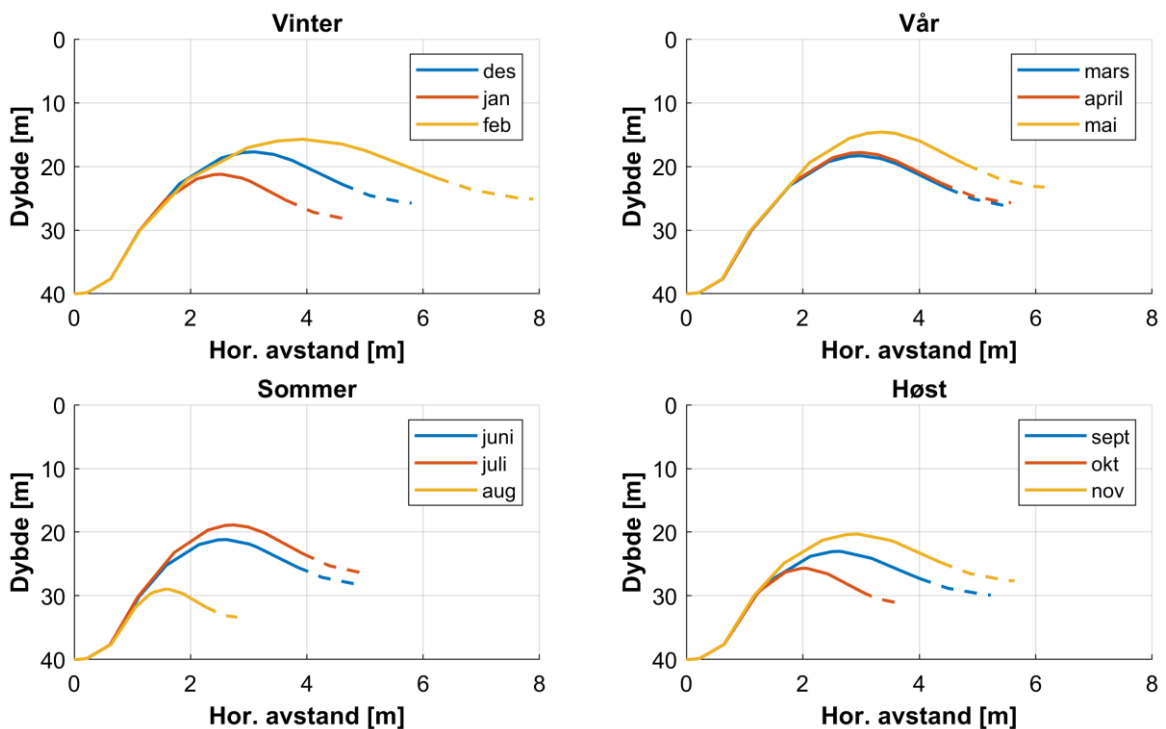
Modelleringen viser at utslippet stort sett innlagres innen 6 m horisontal distanse fra utslippspunktet. Utslippsvannet vil etter innlagring følge hovedstrømsretningene og derfor veksle mellom sørøstlig og nordvestlig retning ved innlagringsdybde.

Plumesenteret ved et utslipp på 14 l/s og liten lagdeling fortyknes fra 100 til 500 ganger alt etter hvilken måned og utslippsdybde som blir vurdert.

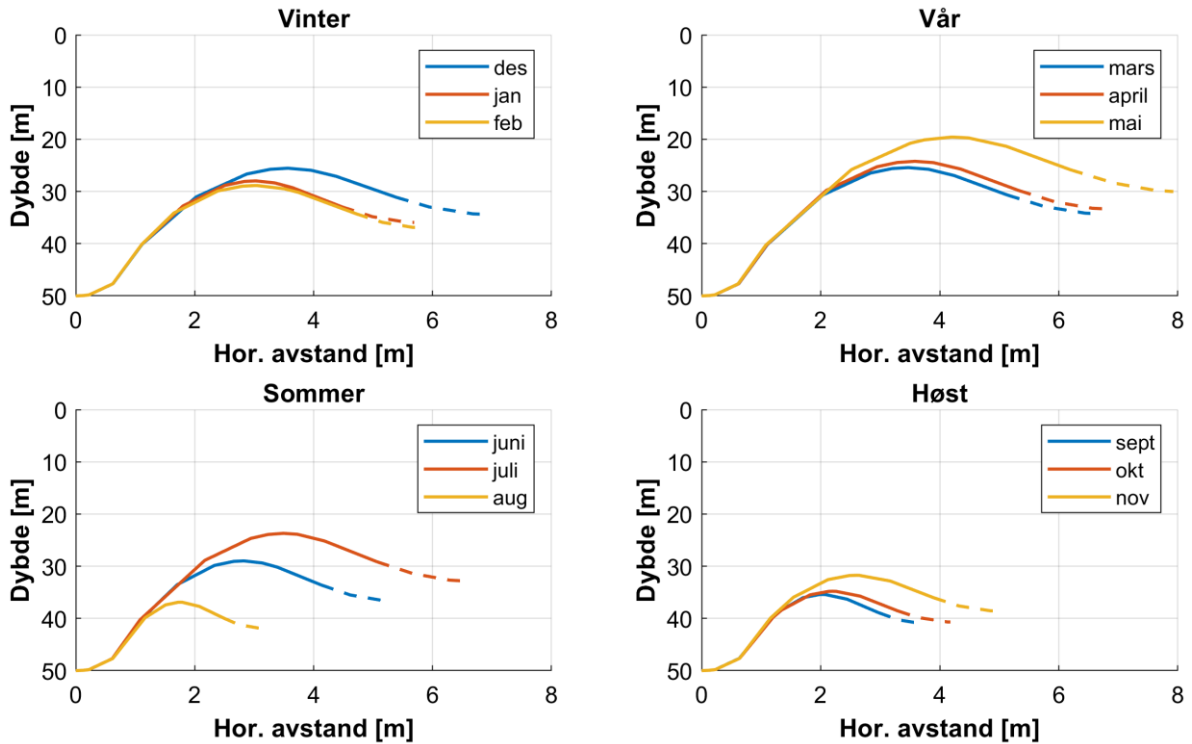
Figur 5-7 viser innlagring ved to forskjellige rørdimensjoner (150 mm og 300 mm) for en høy utslippsmengde og liten lagdeling og Figur 5-8 viser innlagring ved tre forskjellige utslippsmengder (4 l/s, 10 l/s og 14 l/s) ved liten lagdeling. Innlagringsdybde endrer seg lite om man halverer rørdimensjonen fra 300 mm til 150 mm. Også utslippsmengdene på 4 l/s, 10 l/s og 14 l/s har mindre betydning for innlagringen og innlagringsdypet til plumesenteret endrer seg med ca. 5 m dybde om man går fra 14 l/s til 4 l/s.



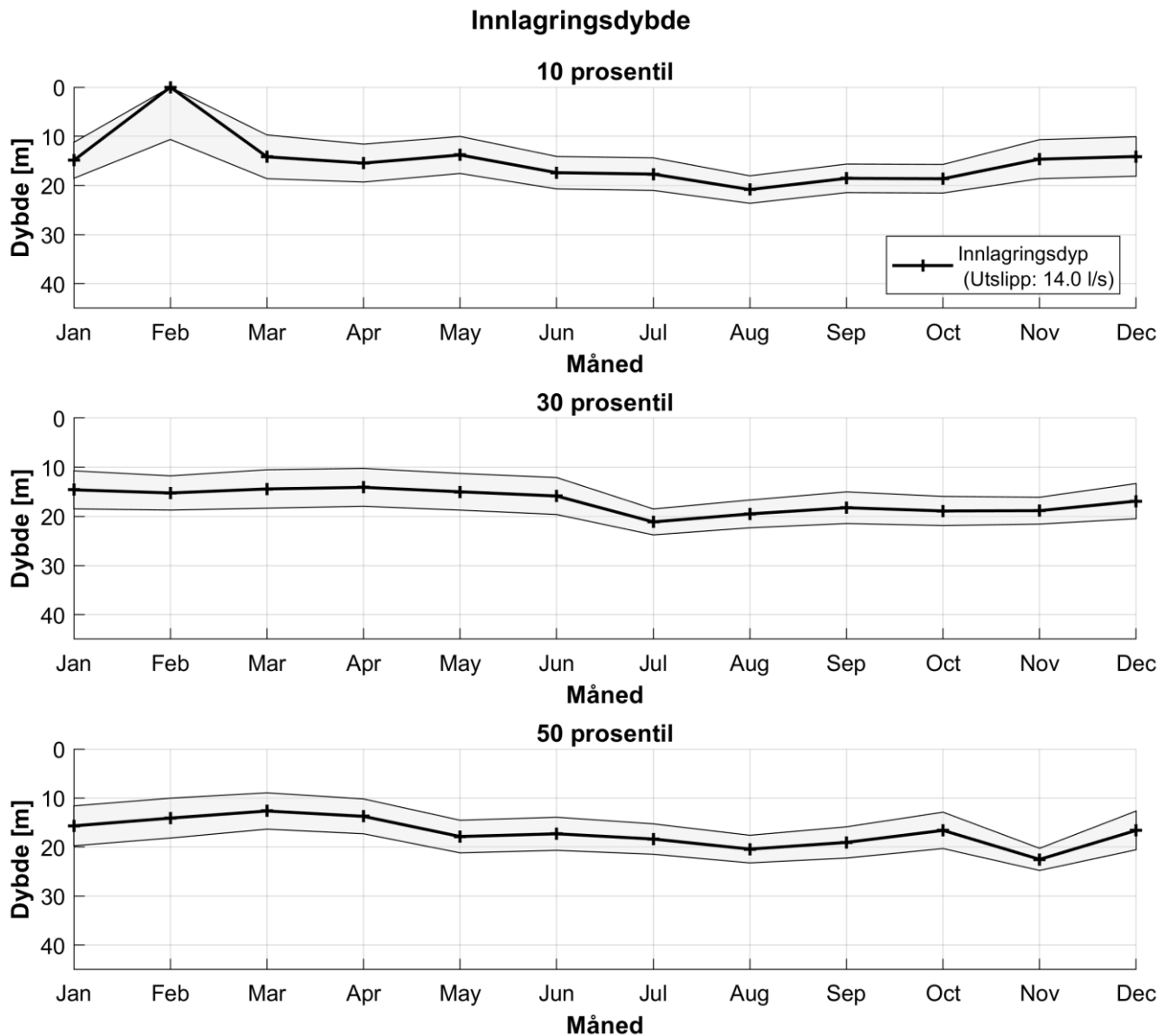
Figur 5-1: Utslippsstråle for et utlipp på 14 l/s ved 30 m dybde gitt for de fire årstidene. Modelleringen er basert på en 10 prosentil hydrografiprofil, strømhastighet på 1.5 cm/s og rørdiameter på 300 mm. Grensen mellom heltrukken linje og stiplet linje angir innlagringsdyb. Stiplet linje indikerer hvor plumen synker under likevektsnivå



Figur 5-2: Utslippsstråle for et utlipp på 14 l/s ved 40 m dybde gitt for de fire årstidene. Modelleringen er basert på en 10 prosentil hydrografiprofil, strømhastighet på 1.5 cm/s og rørdiameter på 300 mm. Grensen mellom heltrukken linje og stiplet linje angir innlagringsdyb. Stiplet linje indikerer hvor plumen synker under likevektsnivå

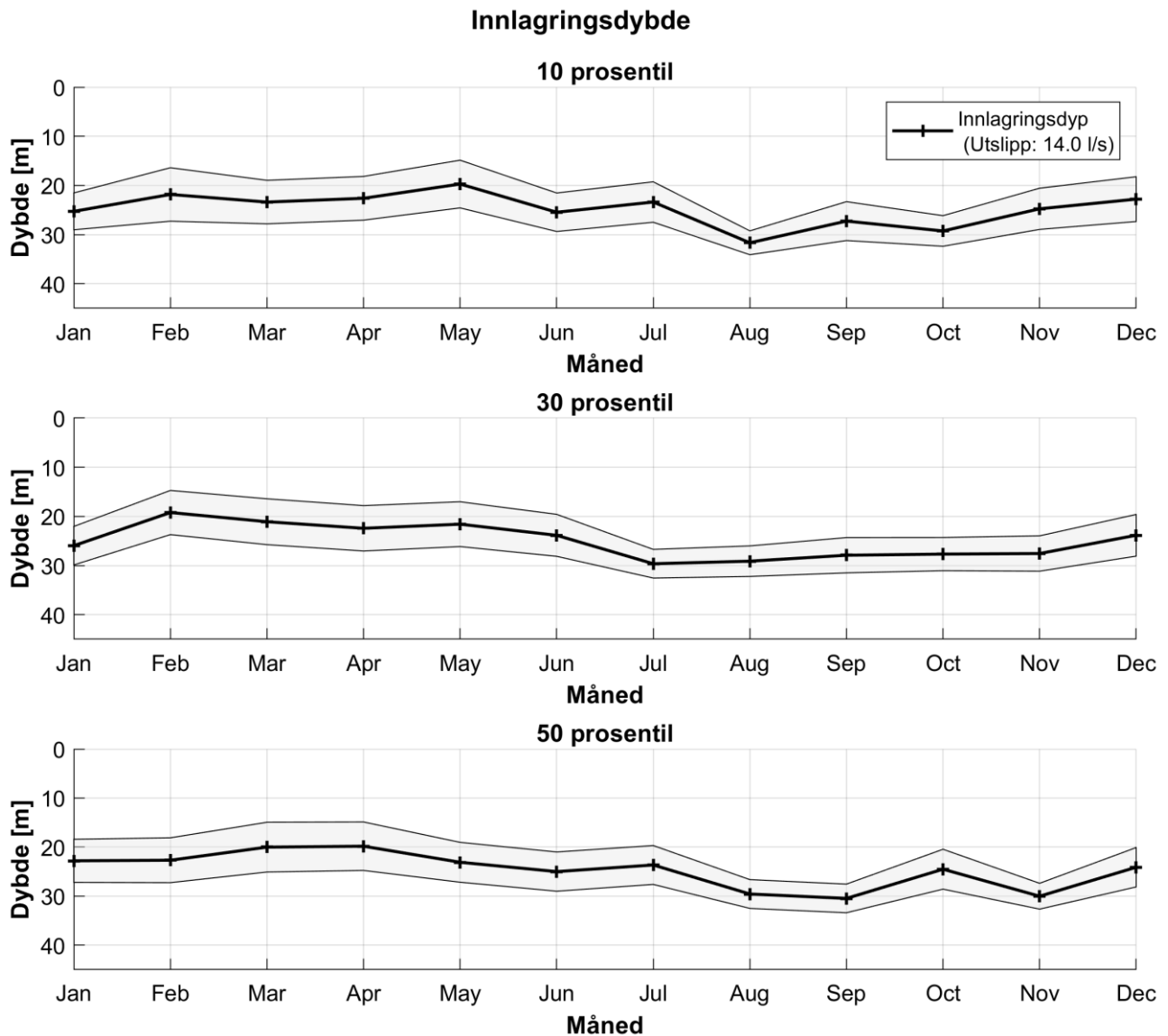


Figur 5-3: Utslippsstråle for et utslipp på 14 l/s ved 50 m dybde gitt for de fire årstidene. Modelleringen er basert på en 10 prosentil hydrografiprofil, strømhastighet på 1.5 cm/s og rørdiameter på 300 mm. Grensen mellom heltrukken linje og stiplet linje angir innlagringsdyp. Stiplet linje indikerer hvor plumen synker under likevektsnivå

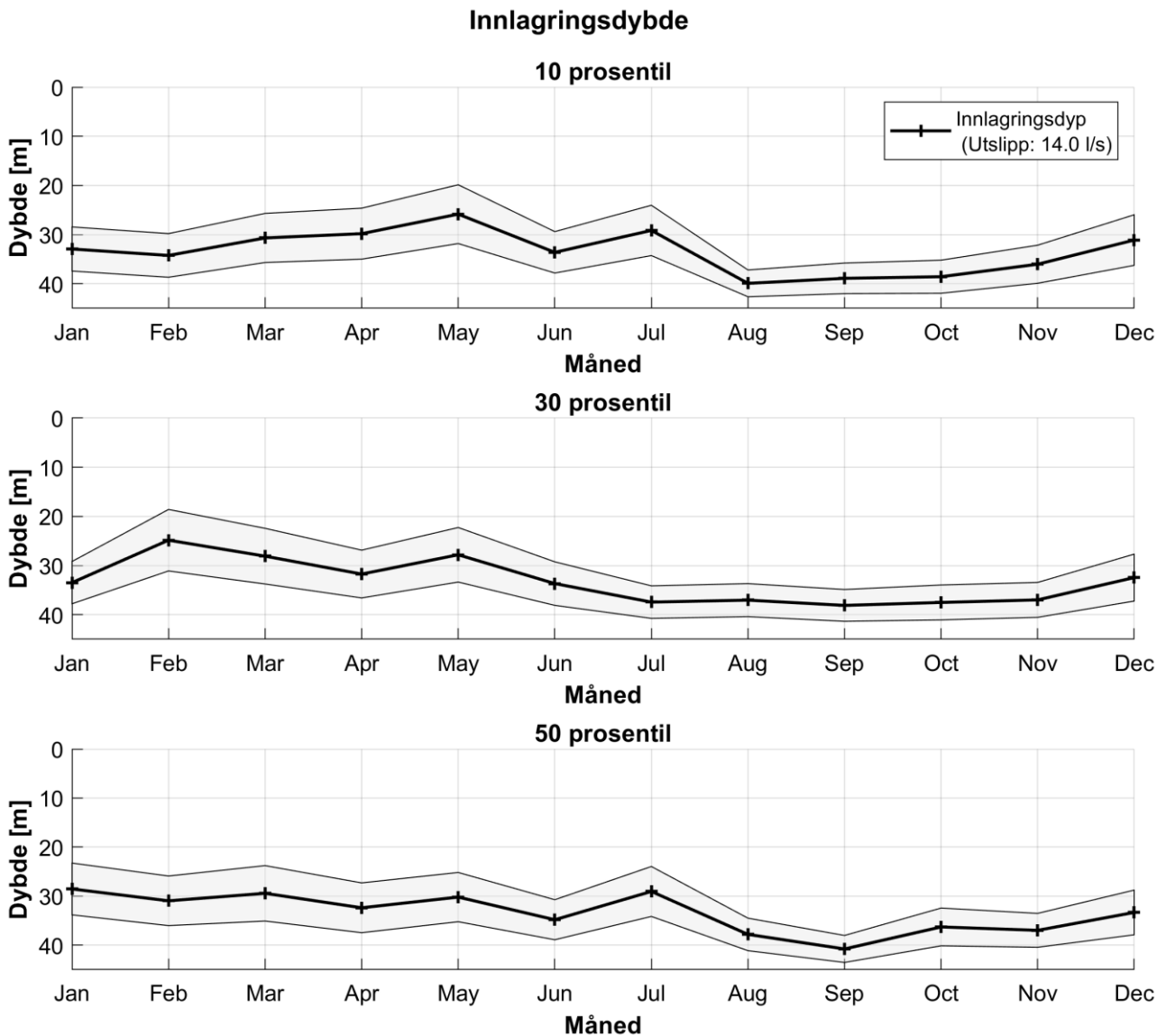


Figur 5-4: Innlagringsdybde (plumesenteret) for et utslipp på **30 m dybde** med en utslippsmengde på **14 l/s**, for månedlige hydrografiprofiler (**10, 30 og 50 prosentil**). Skravert området viser største diameter til plumen i vertikal utstrekning (ytterkant av plumen). Strømhastighet: **1.5 cm/s**. Rørdiameter: **300 mm**





Figur 5-5: Innlagringsdybde (plumesenteret) for et utslipp på **40 m dybde** med en utslippsmengde på **14 l/s**, for månedlige hydrografiprofiler (**10, 30 og 50 prosentil**). Skravert området viser største diameter til plumen i vertikal utstrekning (ytterkant av plumen). Strømhastighet: **1.5 cm/s**. Rørdiameter: **300 mm**



Figur 5-6: Innlagringsdybde (plumesenteret) for et utslipp på **50 m dybde** med en utslippsmengde på **14 l/s**, for månedlige hydrografiprofiler (**10, 30 og 50 prosentil**). Skravert området viser største diameter til plumen i vertikal utstrekning (ytterkant av plumen). Strømhastighet: **1.5 cm/s**. Rørdiameter: **300 mm**

Tabell 5-1: Innlagringsdybde, antall ganger fortykning og horisontal utstrekning ved innlagring ved utslipp på **30 m dybde**. Verdier gitt per kalendermåned og for utslippsmengder på **14 l/s**, en **10 prosentil hydrografiprofil** og **1 cm/s** strøm. Grønn markering indikerer innlagring

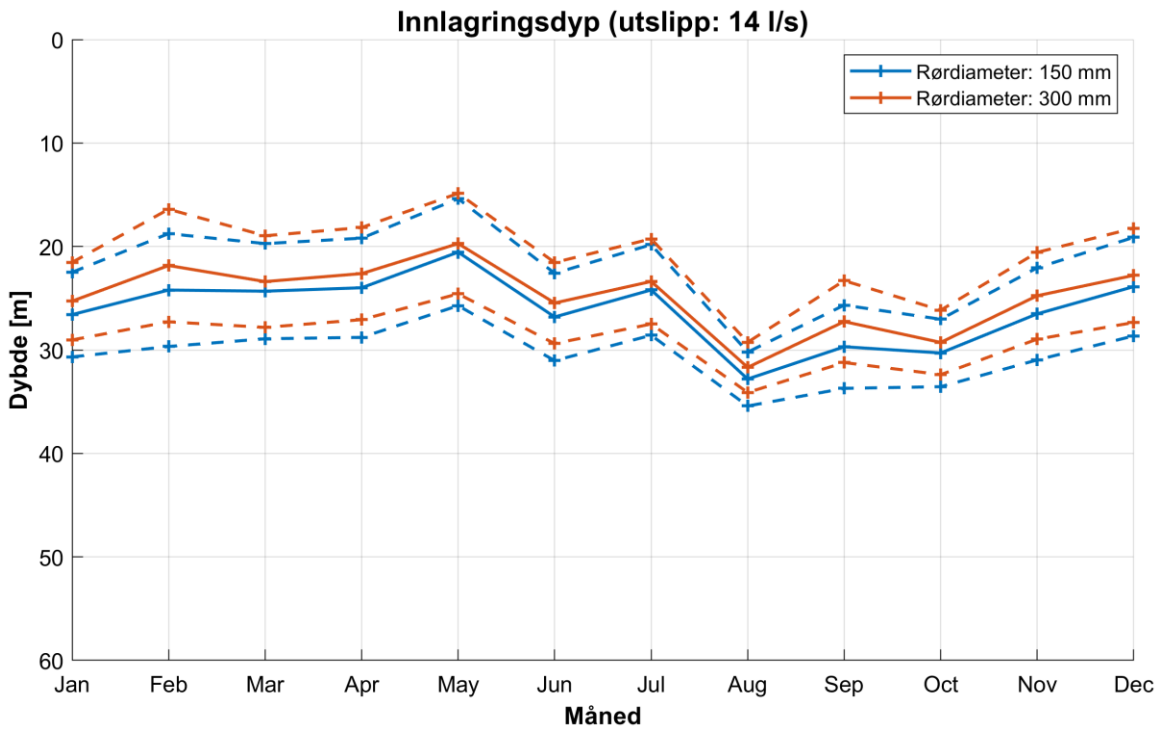
		Dybde på plumen [m]			Antall ganger fortyknet [x fortyknet]		Horisontal utstrekning [m]
		Plumesenter	Øvre ytterkant av plumen	Nedre ytterkant av plumen	Plumesenter	Ytterkant av plumen	Plumesenter
Utslippsmengde: 15.4 l/s	Januar	14.9	11.2	18.6	216.7	213.0	3.4
	Februar	0.0	0.0	10.7	322.1	312.5	3.2
	Mars	14.2	9.7	18.6	219.7	221.	4.7
	April	15.5	11.6	19.3	225.6	236.3	3.6
	Mai	13.8	10.0	17.6	252.3	254.2	3.4
	Juni	17.4	14.1	20.7	216.7	187.3	3.1
	Juli	17.7	14.4	21.0	248.0	191.7	3.1
	August	20.8	18.0	23.6	167.1	120.9	2.6
	September	18.6	15.7	21.5	179.4	159.2	2.7
	Oktober	18.6	15.7	21.5	147.9	145.5	2.8
	November	14.7	10.7	18.6	193.0	195.3	3.9
	Desember	14.1	10.1	18.1	204.7	206.1	3.7

Tabell 5-2: Innlagringsdybde, antall ganger fortykning og horisontal utstrekning ved innlagring ved utslipp på **40 m dybde**. Verdier gitt per kalendermåned og for utslippsmengder på **14 l/s**, en **10 prosentil hydrografiprofil** og **1 cm/s** strøm. Grønn markering indikerer innlagring

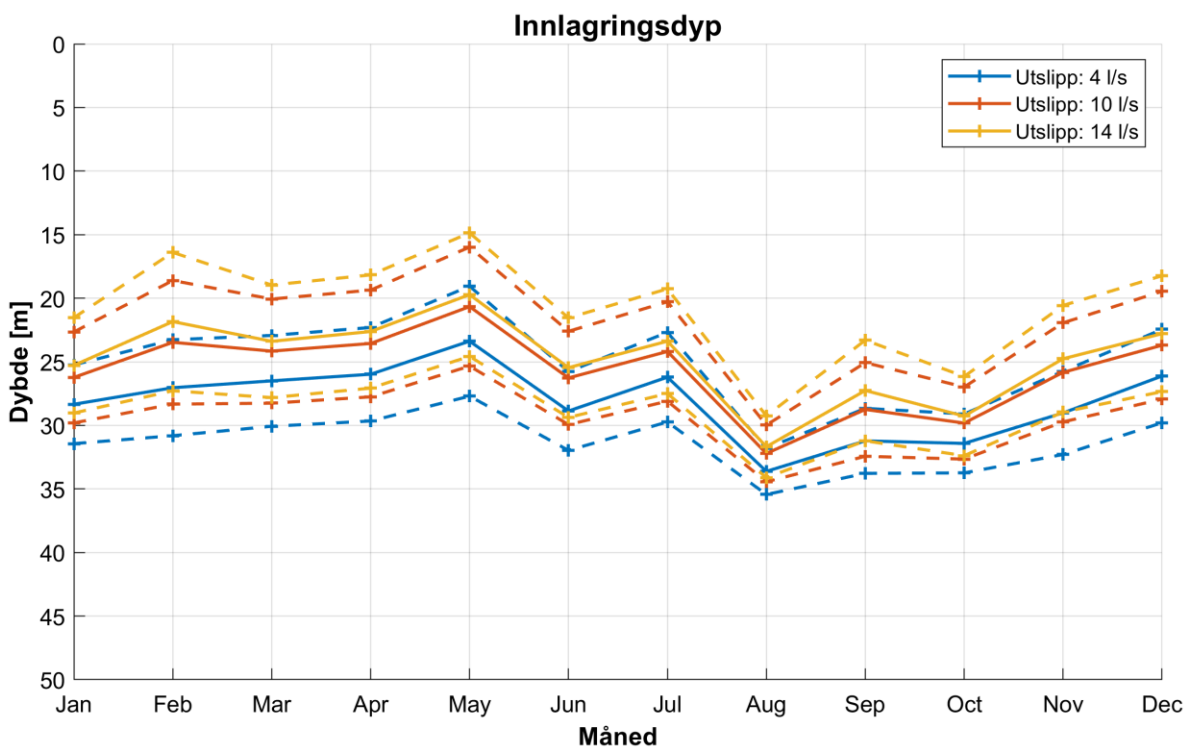
		Dybde på plumen [m]			Antall ganger fortyknet [x fortyknet]		Horisontal utstrekning [m]
		Plumesenter	Øvre ytterkant av plumen	Nedre ytterkant av plumen	Plumesenter	Ytterkant av plumen	Plumesenter
Utslippsmengde: 15.4 l/s	Januar	25.3	21.5	29.0	188.3	189.7	3.6
	Februar	21.8	16.4	27.3	476.6	362.0	6.2
	Mars	23.4	19.0	27.8	236.7	238.3	4.5
	April	22.6	18.2	27.1	273.2	306.7	4.4
	Mai	19.7	14.9	24.6	308.7	311.0	4.8
	Juni	25.5	21.5	29.4	222.0	236.1	3.8
	Juli	23.4	19.3	27.5	230.3	232.1	3.9
	August	31.7	29.3	34.1	100.6	103.0	2.3
	September	27.3	23.3	31.2	284.6	189.0	4.0
	Oktober	29.3	26.2	32.4	121.5	122.4	3.0
	November	24.8	20.6	29.0	321.7	248.5	4.4
	Desember	22.8	18.2	27.3	247.5	249.5	4.6

Tabell 5-3: Innlagringsdybde, antall ganger fortykning og horisontal utstrekning ved innlagring ved utslipp på **50 m dybde**. Verdier gitt per kalendermåned og for utslippsmengder på **14 l/s**, en **10 prosentil hydrografiprofil** og **1 cm/s** strøm. Grønn markering indikerer innlagring

		Dybde på plumen [m]			Antall ganger fortyknet [x fortyknet]		Horisontal utstrekning [m]
		Plumesenter	Øvre ytterkant av plumen	Nedre ytterkant av plumen	Plumesenter	Ytterkant av plumen	Plumesenter
Utslippsmengde: 25.7 l/s	Januar	32.9	28.4	37.4	292.8	305.6	4.5
	Februar	34.3	29.8	38.7	251.3	295.4	4.7
	Mars	30.7	25.7	35.7	387.6	359.7	5.1
	April	29.8	24.6	35.0	416.1	393.7	5.3
	Mai	25.9	19.9	31.8	440.3	515.4	6.2
	Juni	33.6	29.4	37.8	284.8	282.4	4.1
	Juli	29.2	24.0	34.3	382.6	406.1	5.1
	August	39.9	37.2	42.7	147.0	134.1	2.5
	September	38.9	35.8	42.0	198.7	158.2	3.0
	Oktober	38.6	35.2	42.0	253.0	168.8	3.3
	November	36.0	32.2	39.9	178.4	179.9	3.9
	Desember	31.1	26.0	36.3	286.1	288.6	5.4



Figur 5-7: Innlagringsdybde (plumesenteret) og ytterkant av plumen for et utslipp på 40 m dybde med en utslippsmengde på 14 l/s, for månedlige hydrografiprofiler (10 prosentil). Strømhastighet: 1.5 cm/s. Rørdiameter: 150 mm og 300 mm



Figur 5-8: Innlagringsdybde (plumesenteret) og ytterkant av plumen for et utslipp på 40 m dybde med en utslippsmengde på 4 l/s, 10 l/s og 14 l/s, for månedlige hydrografiprofiler (10 prosentil). Heltrukket linje viser plumesenter, stiplet linje viser ytterkant av plume. Strømhastighet: 1.5 cm/s. Rørdiameter: 300 mm

## 6 Diskusjon

Strømhastighetene er generelt lave i hele vannsøylen og utslippsvannet vil følge strømmen ved innlagringsdyp i strømmens retning. Gjennomsnittsstrømmen ligger på 3 cm/s, noe som potensielt kan frakte fortynnet utslippsvann ca. 1.3 km inn eller ut fjorden gjennom en halv tidevannssyklus på 12 timer. Des lenger bort fra utslippspunktet vannmassene er transportert, desto større vil fortynningen være.

I Kystnære fiskeridata er det registrert et regionalt viktig gytefelt (B-verdi), for kysttorsk sør for 62° nord. Gytefeltet dekker store deler av Sørfjorden og overlapper område for planlagt utslipp. Kysttorsk gyter vanligvis i perioden februar til april, og gytingen foregår oftest på 40 til 60 m dybde i temperatursjikt på rundt 4-6 grader. Etter tre-fire måneder etter klekking bunnslår yngelen på grunt vann øverste i tang- og tarebeltet (0–20 m), og kan da være nesten 5 cm store. Dersom utslipp innlagres dypere enn 20 meter, antas det å gi minst påvirkning med tanke på gytefelt, torskelarver og partikkelpåvirkning i øvre vannlag. Sjøområdet ved utslipp fungerer også som en transportkanal og beiteområde for laks og sjøørret, og for utvandring av laksesmolt som er en rødlisteart.

Relativ vannutskiftning, Figur 2-3, viser at strømmen følger land i sørøstlig og nordvestlig retning, og det er derfor liten sannsynlighet for at utslippet vil kunne påvirke akvakulturlokalitet som ligger på motsatt side av fjorden.

I naturbase er det registrert viktig naturtype i Arnavaågen; «Fjorder med naturlig lavt oksygeninnhold i bunnvannet», med verdi B-viktig, men denne naturtypen forventes ikke å bli påvirket av tiltak da avstand er over 5 km.

Økologisk tilstand i fjorden er moderat med høy presisjon og kjemisk tilstand i fjorden er dårlig med lav presisjon. I Vann-Nett er det registrert moderat tilstand for kvalitetselementene klorofyll a, bunndyrsindeks og nitrat og nitritt pr. august 2022.

Prøvetaking av overvannet fra Arna Steinknuseverk (16) viser at det har et forhøyet innhold av arsen, kobber, nikkell, sink og nitrogen i prøvene nedstrøms anlegget. Sammenlignet med tidligere år er det hovedsakelig nitrogen i utslippet som har økt. Sprengstoff kan være en kilde til nitrogen og andre forbindelser.

Det er ikke kjent hvilke stoffer utslippsvannet vil inneholde, men det antas at prøvetakingen fra Arna Steinknuseverk gir en pekepinn på stoffsammensetningen. Sørfjorden er allerede en svært belastet fjord (Miljøovervåkningsprogram Sørfjorden) og det vil derfor være viktig at det legges til rette for tiltak som kan redusere forurensing i fjorden.

Innlagringsmodelleringen viser at ved å legge utslippet til 50 m vil det i hovedsak innlagres dypere enn 20 m, hvilket antas å gi minst påvirkning med tanke på gytefelt, torskelarver og partikkelpåvirkning i øvre vannlag. Ingen av de modellerte situasjonene viser gjennomslag til overflaten når utslippet legges på 50 m dyp.

Det bør gjøres egne vurderinger mht. rensing av utslippsvannet eller andre tiltak for å redusere risiko for forurensing.

## 7 Referanser

1. Multiconsult 2022: *Strømmålinger NCC Arna steinknuseverk 17.06.2022. Rapport no. 10224464-01-RIMT-RAP-001.*
2. Frick, W.E., Roberts, P.J.W., Davis, L.R., Keyes, J, Baumgartner, D.J. and George, K.P., 2001. *Dilution Models for Effluent Discharges, 4th Edition (Visual Plumes). Environmental Research. Division, U.S. Environmental Protection Agency, Athens Georgia, US.*
3. Berge, J.A., Schaanning, M.T., Staalstrøm, A., 2018. *Utslipp til sjø – kan enkle modeller gi tilstrekkelig grunnlag for vurdering av spredning, fortykning og surhetsgrad? Vann. 2018, 53 (1) 15-30, Norsk vannforening.*
4. L. Asplin, J. Albretsen, I.A. Johnsen, and A.D Sandvik, 2020, *The hydrodynamic foundation for salmon lice dispersion modeling along the Norwegian coast, Ocean Dynamics, 70, 1151–1167.*
5. Jon Albretsen og Lars Asplin, 2021. *Havforskningsinstituttet. Hvilken betydning har oppløsning for kyst- og fjordmodeller? Validering og representasjonsberegninger av strømmodeller med eksempler fra Sulafjorden, Møre og Romsdal (ISSN: 1893-4536).*
6. vann-nett.no.
7. naturbasekart.no.
8. artskart.artsdatabanken.no.
9. fiskeridir.no.
10. lakseregisteret.fylkesmannen.no.
11. vannmiljo.miljodirektoratet.no.
12. Meteorologisk institutt (2022): *frost.met.no. API med meteorologisk data fra Meteorologisk institutt.*
13. *Rådgivende biologer. Utvidelse av Arna Steinknuseverk i Bergen kommune. Konsekvensutredning for naturmangfold, 2015.*
14. *Rådgivende Biologer 2017: Ny E16 og jernbane Arna – Stanghelle. Sørfjorden og Veafjorden. En hydromorfologisk beskrivelse. Rapport nr. 2427. ISBN 978-82-8308-356-9.*
15. portal.fiskeridir.no.
16. *Asplan Viak 2020: Arna steinknuseverk, Miljøovervåking av vann, Årsrapport 2019. Utgitt: 01.10.2020 Versjon: 01. Oppdragsnummer: 537688-1.*
17. *Miljødirektoratet. Veileder M-608/2016. Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota-revidert 30.10.2020.*
18. *Rådgivende biologer. Resipientovervåking av fjordsystemene rundt Bergen 2017-2020. Årsrapport 2020.*

## Appendix A.

### Validering av modelldata fra NorFjords160 fra Havforskningsinstituttet

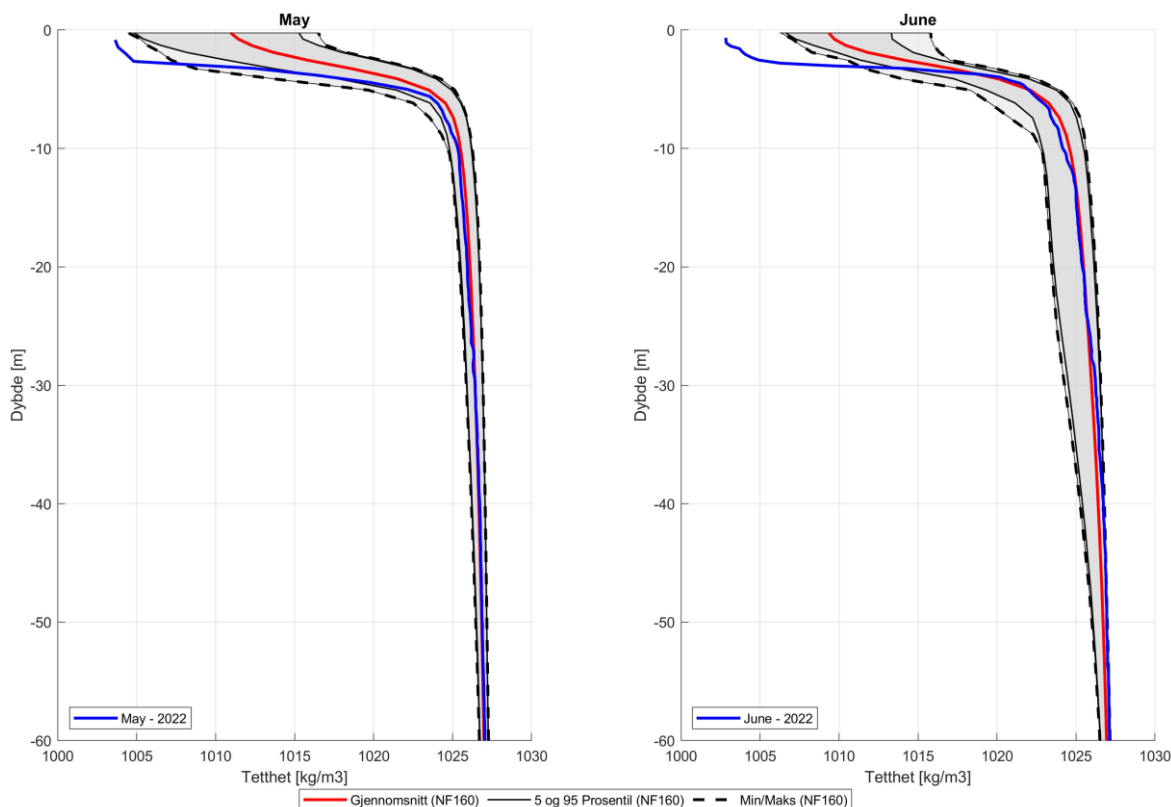
Tetthets-, salinitets- og temperaturprofiler fra CTD målinger og NF160 er sammenlignet. Figur A 1 til Figur A 3 viser daglig gjennomsnitt av all modelldata fra mai og juni måned (2017-2021), samt CTD målinger fra mai og juni måned i 2022.

Det er godt samsvar mellom målt tetthet og modellert tetthet (NF160) fra ca. 5 m og nedover. Målingene ligger nær gjennomsnittlig modellert tetthet og godt innenfor tetthetsspredningen gitt i NF160 (2017 til 2021). Målt tetthetsprofil fra overflaten og ned til 5 m dybde viser noe lavere tetthet enn hva modellen gjengir.

Rådgivende Biologers (14) beskrivelse av vannsøylen i Sørfjorden sammenfaller godt med modelldata fra NF160. De beskriver at temperaturen kan variere mye gjennom året, med over 19°C på det varmeste på sommeren og ned mot 2 på det kaldeste ved nyttår. Dypvannet har en stabil temperatur på 8°C. Saliniteten er lavest ved overflaten i mai og juni måned, men brakkvannslaget er vanligvis ikke særlig tykt.

Basert på sammenligningene, mellom modelldata og måldata, antas det at å bruke hydrografidata fra NF160 vil være et godt grunnlag for å kunne si noe om månedlig variasjon i hydrografi utenfor steinknuseverket i Sørfjorden.

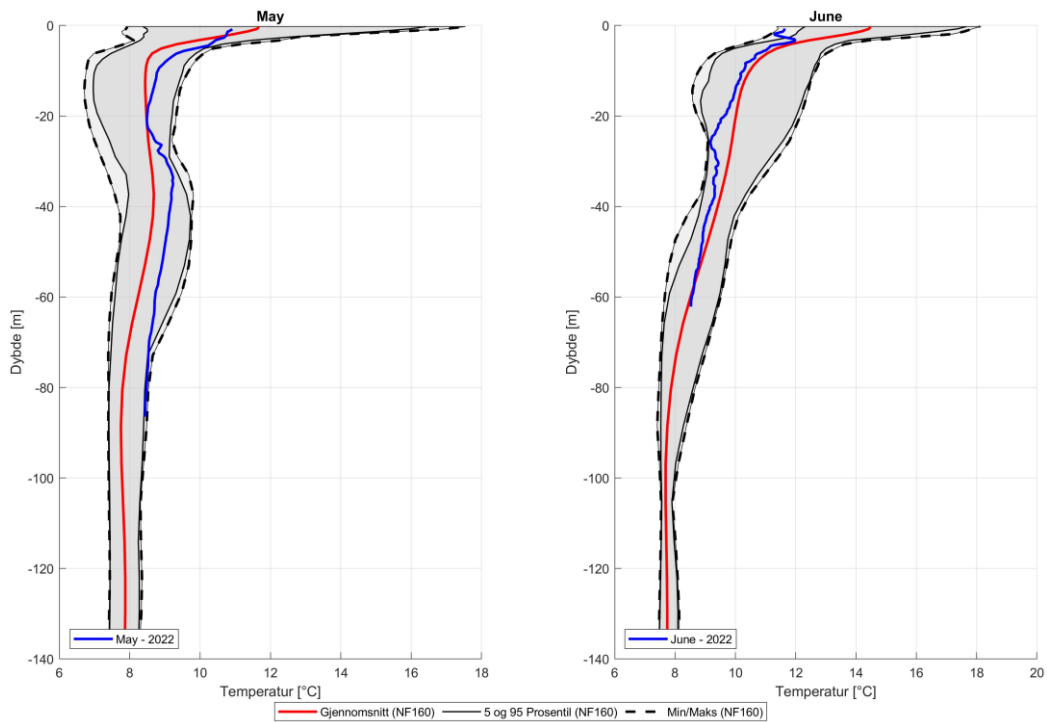
Resultater fra innlagringsmodellering basert på målte CTD data er gitt i Appendix B.



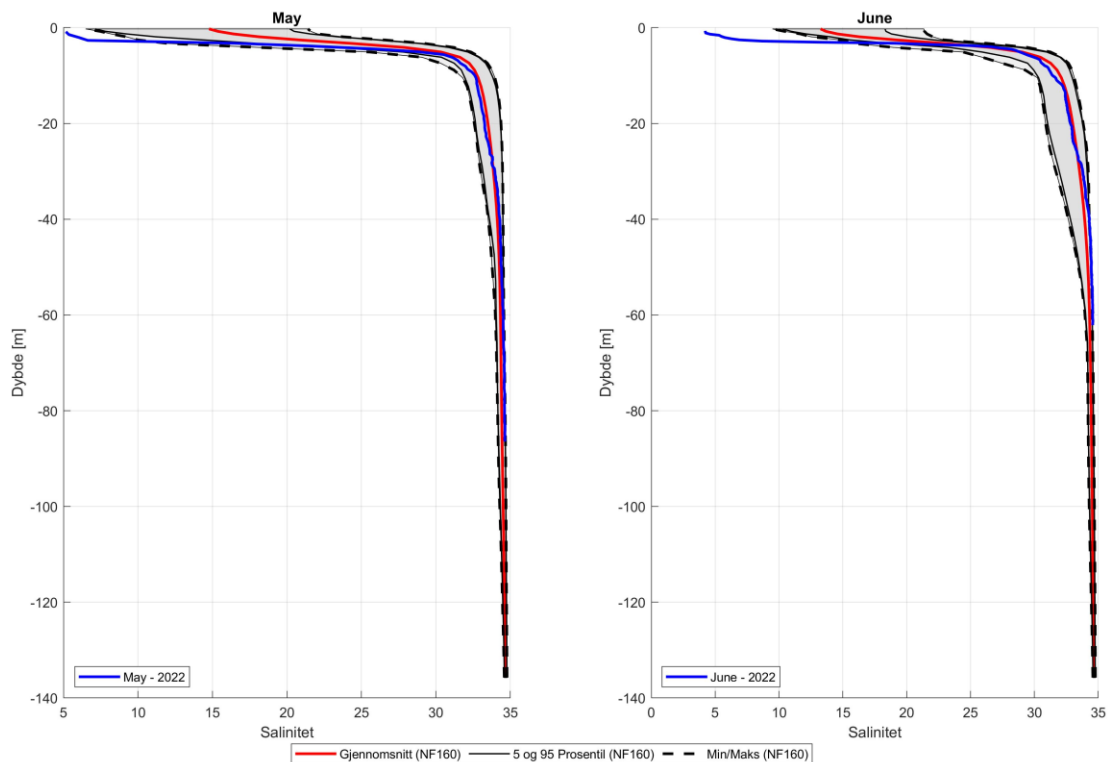
Figur A 1 Tetthetsprofiler fra NF160 daglig gjennomsnitt (rød), prosentil verdier (svarte streker) og maks/min-verdier (stiplede linjer) for mai og juni måned (basert på modelldata for alle årene (2017-2021)), sammen med målinger fra mai og juni 2022 (blå)



## Strømforhold, innlagring og marint miljø i sjø



Figur A 2 Temperaturprofiler fra NF160 daglig gjennomsnitt (rød), prosentil verdier (svarte streker) og maks/min-verdier (stiplete linjer) for mai og juni måned (basert på modelldata for alle årene (2017-2021)), sammen med målinger fra mai og juni 2022 (blå)

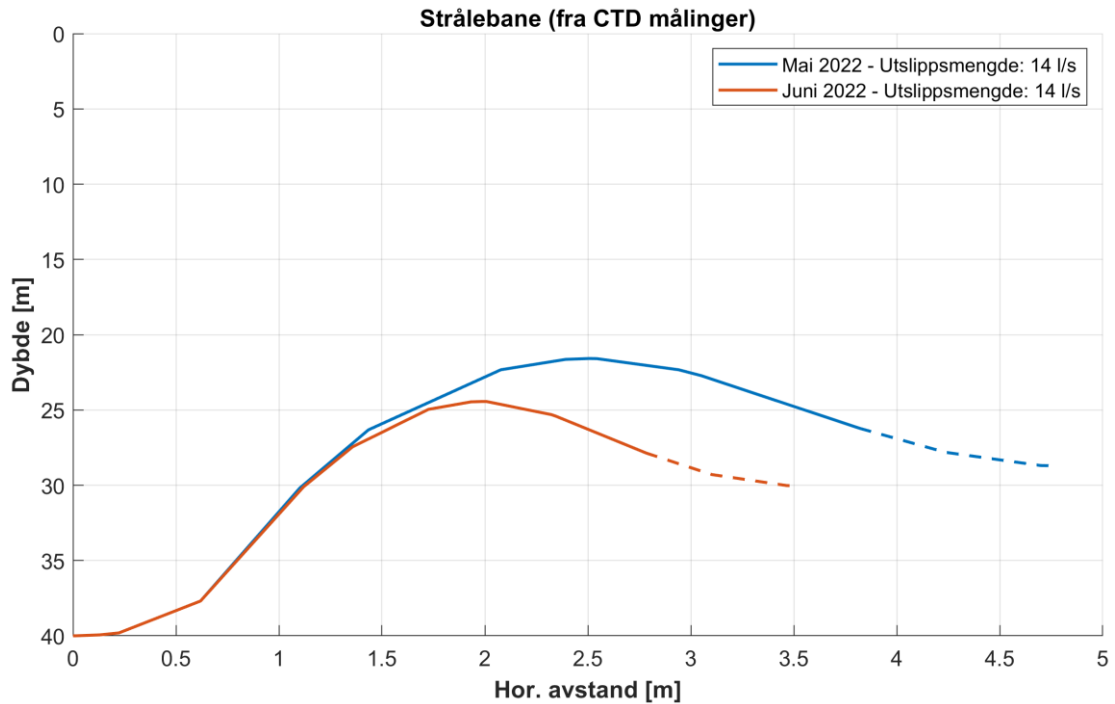


Figur A 3 Salinitetsprofiler fra NF160 daglig gjennomsnitt (rød), prosentil verdier (svarte streker) og maks/min-verdier (stiplete linjer) for mai og juni måned (basert på modelldata for alle årene (2017-2021)), sammen med målinger fra mai og juni 2022 (blå)

## Appendix B.

### Innlagringsmodellering basert på målte data

Innlagringsmodellering (VP resultater) fra målt tetthet i mai og juni 2022. Resultatene i Figur A 4 viser utslippsstrålen ved et utslipp på 14 l/s ved 40 m dybde.



Figur A 4 Utslippsstråle for **CTD målingene** i mai og juni 2022. Utslippet er lagt til **40 m dybde**. Strømhastighet på **1.5 cm/s** og rørdiameter på **300 mm**. Grensen mellom heltrukken linje og stiplet linje angir innlagringsdyp. Stiplet linje indikerer hvor plumen synker under likevektsnivået