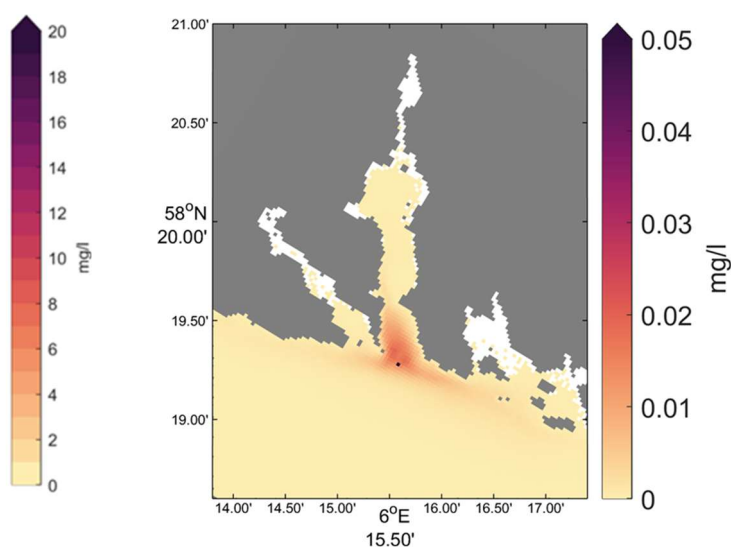
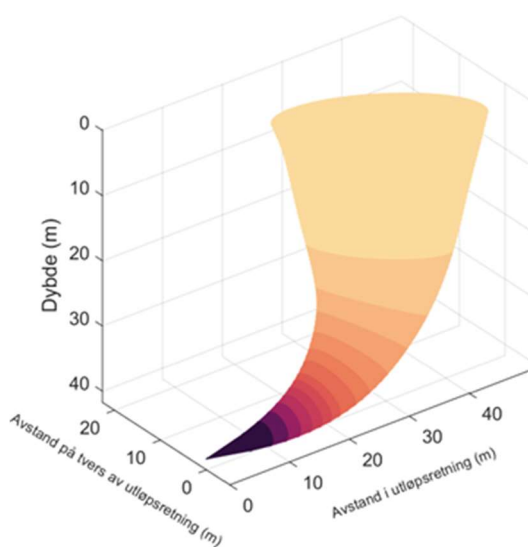


Rekefjord Stone

► Spredningsmodellering utslipp fra nytt renseanlegg

Oppdragsnr.: 52401202 Dokumentnr.: RIM01 Versjon: D01 Dato: 2025-01-17



Oppdragsgiver: Rekefjord Stone
Oppdragsgivers kontaktperson: Helga Lassen Bue
Rådgiver: Norconsult Norge AS, Henrik Wergelandsgate 27, NO-4612 Kristiansand
Oppdragsleder: Hilde C. Tranum
Fagansvarlig: Stig Dalsøren
Andre nøkkelpersoner: Øystein Brandsæter Asserson, Inga Greipsland

D01	2025-01-17	For kommentarer fra oppdragsgiver	STIDAL	OYEASS	HILTRA
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

► Sammen drag

Rekefjord Stone AS er et pukkverk ved Rekefjorden i Sokndal kommune i Rogaland. Pukkverket har i dag utslipp av mineral-partikler i Rekefjorden via direkte utslipp og diffus avrenning, både i fjordens vestlige og østlige del.

Norconsult er engasjert for å foreta vurderinger i forbindelse med etablering av nytt renseanlegg i den vestlige delen av virksomheten. Det er behov for en vurdering av plasseringen til tilhørende utslippspunkt i sjø samt en vurdering av tåle- og utslippsgrense til resipienten.

I dette studiet er det utført modellering som beregner spredning, fortynning og sedimentering av partikkelutslipp i resipienten. Modellresultatene er brukt til å vurdere påvirkning på naturverdier i området fra partikler i sjø samt partikkelsedimentering på sjøbunnen. Påvirkningen er vurdert opp mot typiske terskelnivåer (for begynnende uønskede/skadelige effekter) og bakgrunns-verdier i kystvann. Basert på dette er det gitt en anbefaling av utslippspunktets plassering og utslippsmengde.

Anbefalt utslippsmengde er 400 mg/l fra et utslippspunkt på 50 m dyp i fjordmunningen nær åpen sjø godt utenfor fjordens terskel. En utslippsmengde på 400 mg/l tilsvarer typisk nivå i midlertidige utslippstillatelser for anleggsvirksomhet, f.eks. utslipp av tunnelvann i sjø. Utslippet vil foregå intervallmessig. I tørre perioder vil det kunne være perioder på flere uker uten vann og partikkelutslipp i sjø. I perioder med mye nedbør vil renseanlegget kunne gå i flere uker uten stans, i enkelte tilfeller kanskje flere måneder.

Modellresultatene viser at utslippspunktets plassering sikrer effektiv spredning og fortynning og lite transport av partikler inn i fjorden. Modellresultatene viser også konsentrasjoner av suspenderte partikler i vannmassene godt under konservative grenseverdier for påvirkning på voksen fisk, fiskeegg og -larver. Tykkelsen på partikkel-lag som sedimenterer er også godt under terskelnivå for påvirkning på bløtbunnsfauna. Det er forekomster av viktige naturverdier som tareskog og skjellsand nær utslippspunktet. Det eksisterer ikke terskelnivåer for effekter på tareskog (lystilgang, nedslamming) og fortynning av næring i skjellsand-sedimentene, men gitt lokalisering (f.eks. strøm- og bølgerikt område med lite risiko for at partikler blir liggende på tareblader) og sammenligning med typiske bakgrunns-konsentrasjoner i kystvann vurderes effektene som minimale.

Det er små forskjeller i resultater mellom sensitivtetsstudier med ulike verdier for noen av de mest usikre inngangsparameterne i modelleringen som partiklenes synkehastighet og resuspensjon. Konklusjonene ansees derfor som relativt robuste.

Innhold

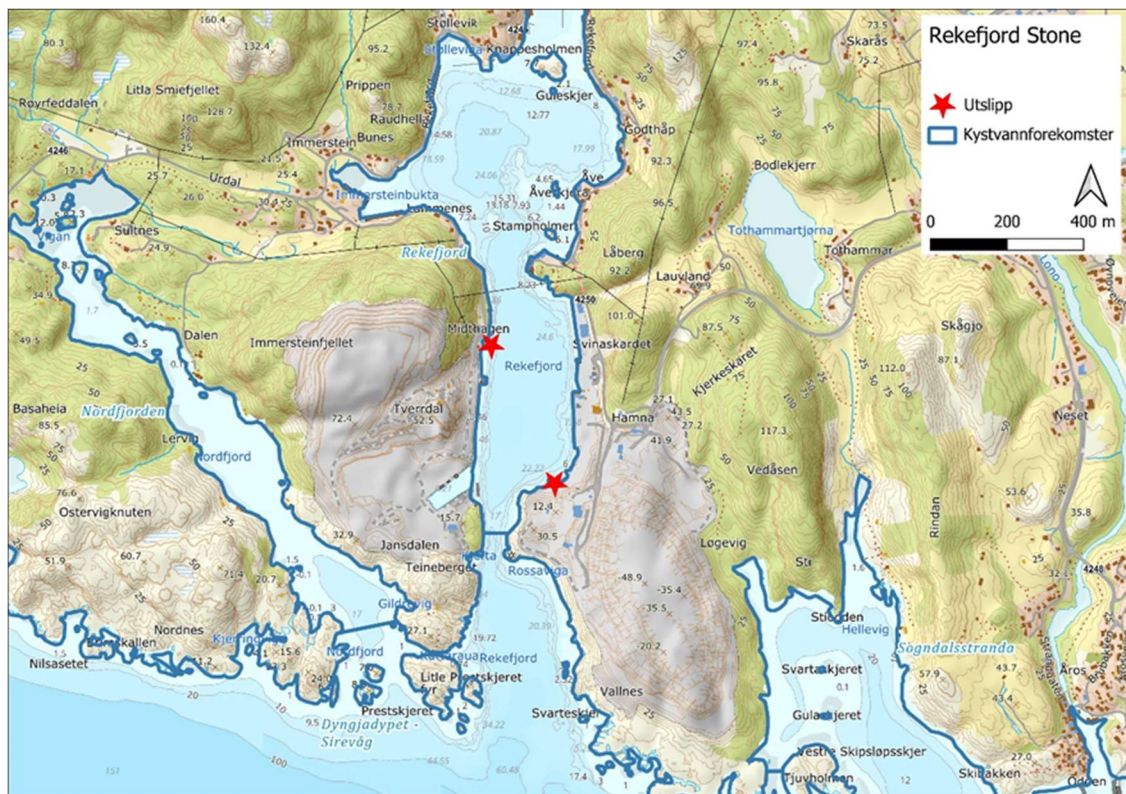
1	Bakgrunn og formål	5
2	Utslipp	6
3	Modellverktøy	10
4	Naturverdier og tålegrenser	13
5	Resultater	16
5.1	Strømforhold og hydrografi	16
5.2	Spredning og fortynning	22
6	Konklusjon	31
7	Referanser	32
	Vedlegg A	34

1 Bakgrunn og formål

Rekefjord Stone AS er et pukkverk ved Rekefjorden i Sokndal kommune i Rogaland. Pukkverket har i dag utslipp av mineral-partikler i Rekefjorden via direkte utslipp og diffus avrenning, både i fjordens vestlige og østlige del (Figur 1).

Norconsult er engasjert for å foreta vurderinger i forbindelse med etablering av nytt renseanlegg i den vestlige delen av virksomheten. Det er behov for en vurdering av plassering av tilhørende utslippspunkt i sjø samt en vurdering av tåle- og utslippsgrense til resipienten.

Dette studiet belyser mulig påvirkning fra partikler i sjø samt partikkelsedimentering på sjøbunnen. Påvirkningen er vurdert opp mot typiske terskelnivåer (for begynnende uønskede/skadelige effekter) og bakgrunns-verdier (nåværende nivåer) i tidligere studier. Vurderingene er gjort basert på modellering som beregner spredning, fortynning og sedimentering av partikkel-utslipp i resipienten. Basert på vurderingene er det gitt en anbefaling av utslippspunktets plassering og utslippsmengde.



Figur 1. Kart over plassering av Rekefjord Stone AS, samt utslippspunkt vest og øst, og nærliggende vannforekomster.

2 Utslipp

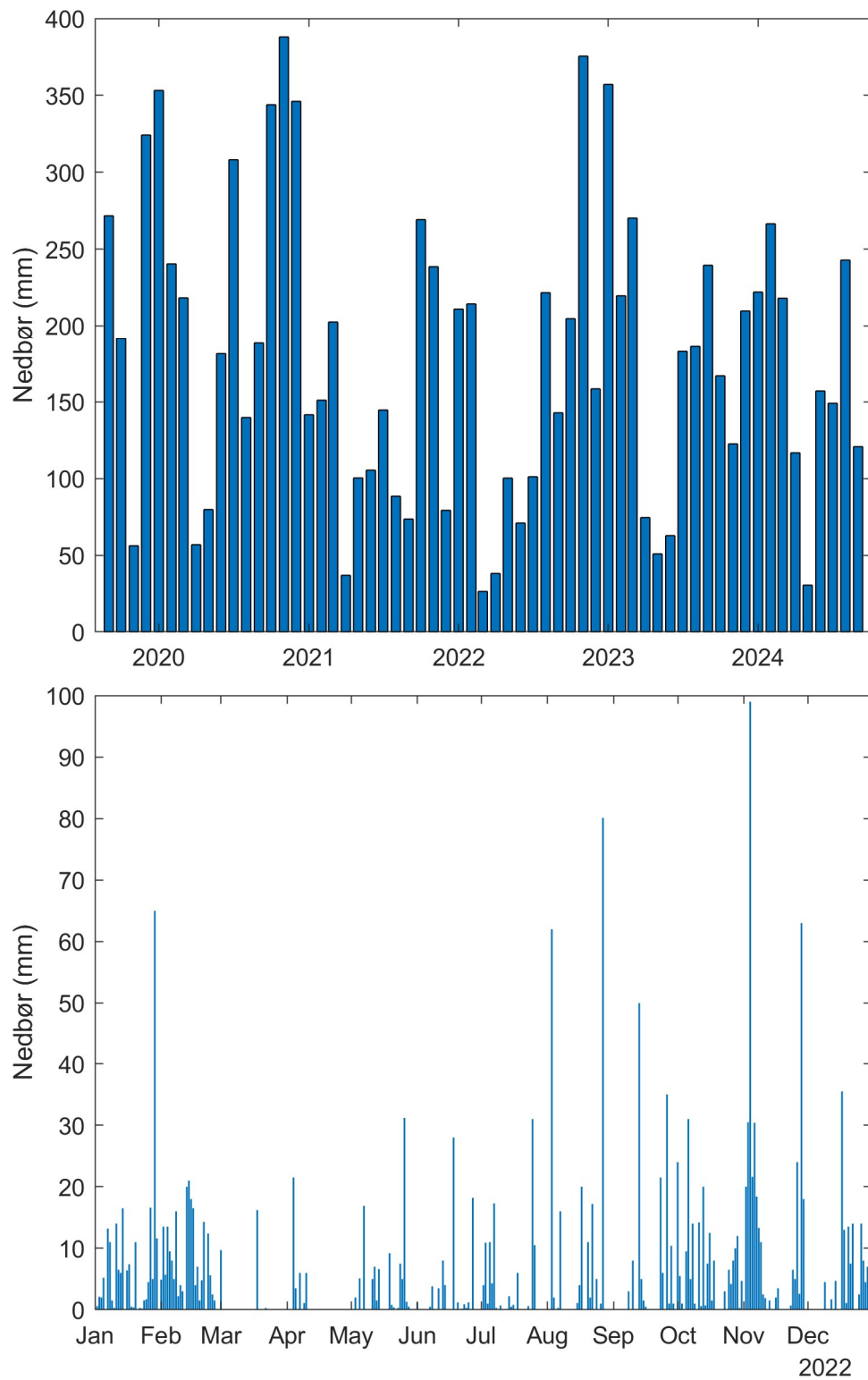
Utslippsgrensen fra renseanleggene på både østlig og vestlig side av fjorden er i utgangspunktet 50 mg/l iht. utslippstillatelsen fra 2025. For den østlige siden representerer dette ingen endring, mens på den vestlige siden utgjør dette en vesentlig reduksjon i tillatt utslipp. Det nye utslippskravet er en medvirkende årsak til at bedriften nå skal anlegge et nytt renseanlegg for prosessvannet i vest. På vestlig side er det per i dag et sedimentasjonsbasseng for deler av anlegget ved virksomhetens nordligste del, men det har begrenset og varierende renseeffekt, med utslipp i sjø fra 450 til 1600 mg/l. Plasseringen av det nye renseanlegget er lenger sør, vist i Figur 2. Det legges opp til gjenbruk av oppsamlet vann til vanning i størst mulig grad, som vil si at utslipp kun vil foregå i perioder hvor nedbørsmengden overgår forbruk + lagringskapasitet. Utslippet vil derfor være intervallbasert. Det blir et stort utjevningsmagasin før renseanlegget. Vannet pumpes fra magasinet inn på renseanlegget. Dette skal driftes av/på, slik at det enten er null eller konstant vannfluks på 80 m³/time inn og ut av anlegget. I tørre perioder vil det kunne være perioder på flere uker uten vann og partikkelutslipp i sjø. I perioder med mye nedbør vil anlegget kunne gå i flere uker uten stans, i enkelte tilfeller kanskje flere måneder.

Sannsynligheten for akkumulering av suspenderte og sedimenterte partikler og påvirkning på naturverdier er størst ved langvarige utslipp, dvs. i perioder med mye nedbør. Spredningsmodellering er derfor gjort for perioden 25. okt. – 30. nov. 2022 som hadde svært mye nedbør sammenlignet med tidsperioder av tilsvarende varighet (Figur 3). Tidsperioden er også valgt fordi det er tilgjengelig hydrografimålinger (NIVA, 2022) som brukes til evaluering av strømmodellen som gir strømfeltene som danner grunnlag for spredningsmodelleringen. I spredningsmodelleringen er det antatt en konstant vannfluks på 80 m³/time i utslippet til sjø i og en partikkel-konsentrasjon i utløpsvannet på 400 mg/l. 400 mg/l tilsvarer typisk nivå i midlertidige utslippstillatelser for anleggsvirksomhet, f.eks. utslipp av tunnelvann i sjø.

Med mål om å begrense påvirkning inne i fjorden er utslippspunktet lagt utenfor fjordens terskel og på 50 m dyp (Figur 4). Med utslipp på et slikt dyp vil man også være under den eufotiske sonen, noe som begrenser begroing og dermed reduserer behovet for vedlikehold og pluggkjøring.



Figur 2: Utsnitt av virksomheten i vest, med nytt renseanlegg inntegnet. Dagens sedimentasjonsbasseng er helt nord i det grønne, markerte området.



Figur 3: Nedbør Jøssingfjorden (måledata fra seklima.met.no). Øverst: Månedstotaler sep. 2019-aug. 2024. Nederst: Døgn-totaler 2022. Modellsimuleringer er gjort for perioden 25. okt. – 30. nov. 2022 som hadde svært mye nedbør sammenlignet med tidsperioder av tilsvarende varighet.



Figur 4: Foreslått plassering av utslippspunkt. Øverst: Kartutsnitt av hele fjorden. Nederst: Fjordens ytterste del. Kartgrunnlag fra kystinfo (www.kystinfo.no).

3 Modellverktøy

Flere modeller er satt sammen og brukt for å modellere spredning av utslippene i resipienten. Strømdata kommer fra simuleringer i den hydrodynamiske modellen NorFjords (Dalsøren, et al., 2020; Asplin, et al., 2020). NorFjords er basert på modellsystemet ROMS (Regional Ocean Modeling System, (Haidvogel, et al., 2008; Shchepetkin & McWilliams, 2005), se f.eks. <http://myroms.org>). Modellen er videreutviklet for norske kyst- og fjordområder, samt nærliggende havområder, av Havforskningsinstituttet (HI) i samarbeid med Meteorologisk Institutt. Modellen er evaluert mot observasjoner ved en rekke lokaliteter i fjorder og langs norskekysten og har bra samsvar med målingene i tid og rom de fleste steder (Asplin, et al., 2020; Dalsøren, et al., 2020; HI, 2021).

I dette studiet er NorFjords-simuleringene satt opp med 32 m x 32 m horisontal oppløsning og 35 vertikale lag (NorFjords32). Modellområdet, dekker Rekefjord og nærområdet (Figur 5). Minimumsdypet i simuleringene er satt til 2 m. Minimumsdypet og oppløsningen gjør at kystlinjer og bunntopografi i noe grad gattes. Simuleringene egner seg best til å studere det overordnede bildet og ikke detaljer inne i små vikene og sund. Rand- og initialbetingelser er hentet fra et data-arkiv fra NorFjords160, med 160 m x 160 m store beregningsruter som er kjørt opp av HI. Modellområdet i arkivet omfatter kyst- og fjordområdene fra Grimstad til Stavanger. NorFjords32 simuleringer ble gjort for perioden 15. okt.-30. nov. 2022 (bakgrunn for valg av tidsperiode er gitt i kap. 2). Resultater for 25. okt.-30. nov. 2022 er brukt i diskusjonen av hydrografi og strømforhold og som inngangsdata til modeller for spredning av utslipp beskrevet nedenfor. Oppspinnings-perioden var dermed på 10 døgn (dvs. simuleringsstart 15. okt. 2022), ettersom det hovedsakelig er god vannutveksling i aktuelt område, ansees dette som tilstrekkelig lang tid og strømfeltene fra NorFjords32 er i liten grad preget av tilstanden ved simuleringsstart som er hentet fra NorFjords160 med grovere oppløsning. Det er mulig med grunnere minimumsdyp eller simuleringer for flere tidsperioder, men da vil simuleringstiden og kostnad på det nasjonale tungregneanlegget der simuleringene gjøres øke. En horisontal oppløsning på 32 x 32 m er den høyeste som er tilgjengelig for NorFjords og simuleringene er regnekrevene.

For å undersøke hvordan utløpsvannet innblandes og spres tett inntil utslippspunktet, ble modellverktøyet Effluent benyttet. Effluent (Sævik, 2023) er en beregningspakke for simulering av spredning av utslipp fra avløpsrør. Den underliggende modellen og det teoretiske grunnlaget er basert på Visjet-modellen (Lee & Chu, 2003). Modellen løser ligningene for bevaring av masse, momentum og volum. En turbulent stråle/plume ekspanderer i resipienten samtidig som det skjer innblanding av omkringliggende sjøvann. Innblandingen drives av hastighetsforskjellen mellom plumen og det omgivende sjøvannet. Beregningene avsluttes når plumen når overflaten eller når nær samme tetthet som omgivende vannmasser (innlagring). Videre spredning og fortykning er da i liten grad lenger styrt av plumens utgangsenergi og oppdrift, men styrt av strømforhold, turbulens og sjiktning i resipienten.

Inngangsdata om utslippet i Effluent er volumfluks, utslippsmengder, temperatur, saltholdighet, rørdiameter, dybde og retning (Tabell 1). Modellen glatter som nevnt bunntopografien noe slik at den er noe grunnere ved utslippspunktet enn i virkeligheten. Utslippspunktet i simuleringene er derfor på 41 m dyp som er grunnere enn tiltenkt dyp på 50 m. Simuleringene gir derfor en konservativ beregning av hvor høy utslippet stiger i vannsøylen. Siden det består av ferskvann, får det en betydelig oppdrift i møte med saltvannet i resipienten. Det er antatt at temperaturen til utløpsvannet er tilnærmet lik lufttemperaturen da det har en betydelig oppholdstid i et åpent sedimentasjonsbasseng før det går via renseanlegg til sjø. Modellen trenger også opplysninger om de fysiske forholdene i resipienten, og i til dette er resultater fra strømmodellen NorFjords32 brukt (Tabell 2).

Tabell 1: Inngangsdata om utslippet brukt i spredningsmodelleringen.

Tidsperiode	Dybde (m)	Volumfluks (m ³ /time)	Temperatur (°C)	Saltholdighet (psu)	Diameter ved utløp (mm)	Retning utløp i forhold til horisontalplanet (°)	Retning utløp
25.10-30.11 2022	41	80	10 (nær gj. snitt luft temperatur Lista fyr okt.-nov 2022, seklima.met.no)	0,5 (Ferskvann)	150	0	sørøst

Tabell 2: Inngangsdata for resipienten brukt i spredningsmodelleringen.

Temperatur	Saltholdighet	Strøm
NorFjords32 modell Timesverdier 25.10-30.11 2022	NorFjords32 modell Timesverdier 25.10-30.11 2022	NorFjords32 modell Timesverdier 25.10-30.11 2022

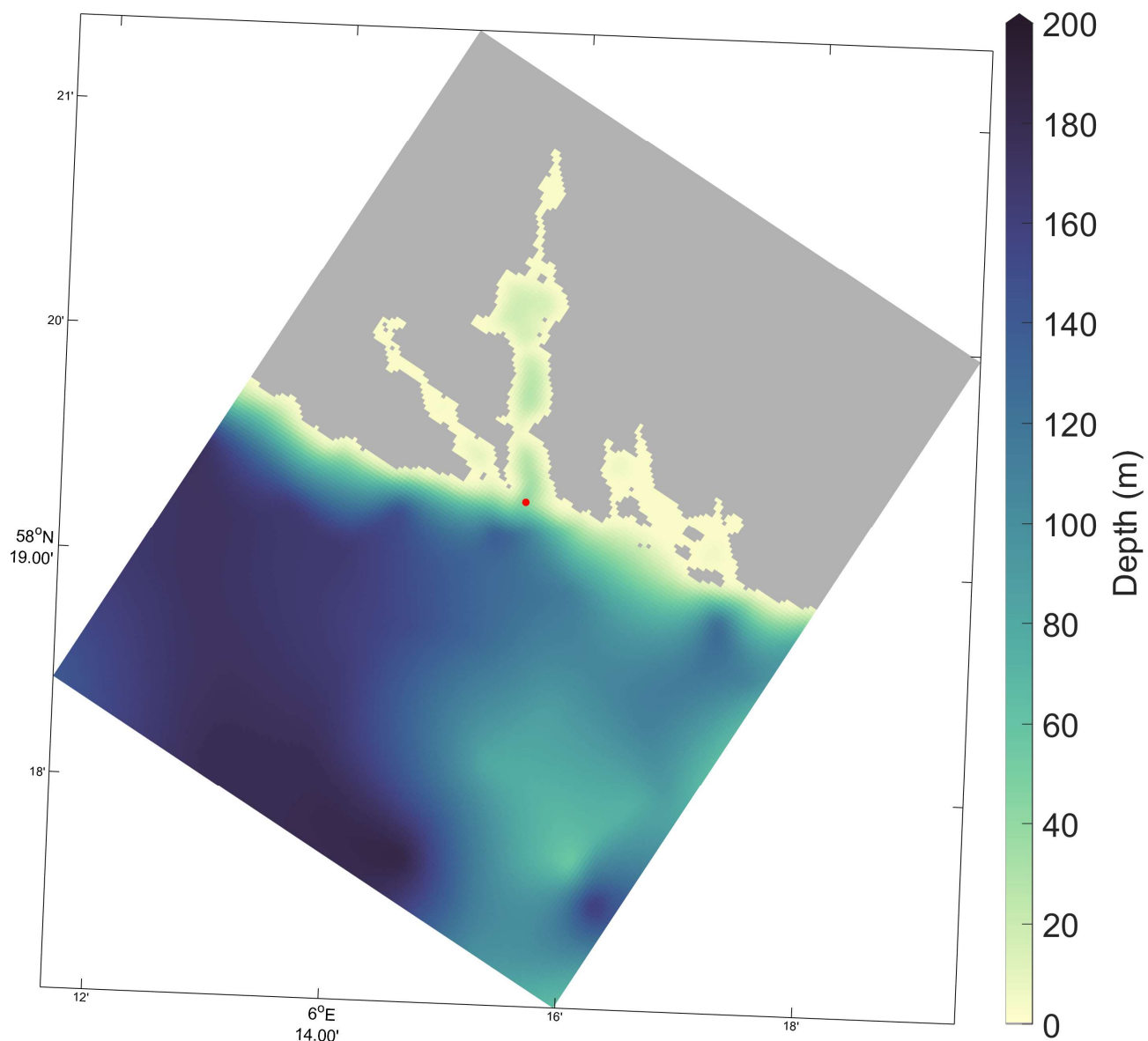
For å studere videre spredning og fortykning etter innlagring/overflategjennomtrengning dvs. modellering på større skala ble HIs standard verktøy for spredningsmodellering LADiM (Lagrangian Advection and Diffusion Model) brukt (Ådlandsvik, 2019). LADiM er tidligere anvendt til spredningsvurderinger for en rekke problemstillinger knyttet til drift av kjemiske komponenter, plast, partikler og biologisk materiale (Carvajalino-Fernández, et al., 2020a; Huserbråten, et al., 2019; Huserbråten, et al., 2022; Sandvik, et al., 2021; Ådlandsvik, 2019; Norconsult, 2023b; Norconsult, 2022b; Norconsult, 2022a; Norconsult, 2023a; Norconsult, 2023c).

LADiM ble satt opp til å modellere spredning av fiktive partikler som hver representerer en mengde utslipp. Det ble sluppet ut 442 partikler hver time med en gaussisk fordeling i innlagrings-dypet (mellom spredningsplumenes vertikale yttergrenser). Horisontalt ble det gjort en forenkling ved at alle partiklene ble lagt i posisjonen til plumens senterlinje ved innlagring/overflategjennomtrengning. Hver partikkel ble også utsatt for en liten ekstra bevegelse horisontalt ("random walk"). Dette er en vanlig metode som kompenserer for havets diffusive egenskaper. NorFjords 32-simuleringene med timesverdier av strøm og turbulent blanding ble brukt som inngangsdata for å beregne partikkeltransport i LADiM. LADiM-simuleringene har derfor i prinsippet samme horisontal og vertikal oppløsning som NorFjords simuleringene. I tillegg til horisontal transport inkluderes vertikal forflytning ut fra oppvelling/nedsynking og vertikal turbulens.

I tillegg til vertikal transport forårsaket av strømforholdene har partiklene i utslippet en synkehastighet. Det er de fine partiklene i leir- (< 2 µm) og siltfraksjonen (2-63 µm) som har størst spredningspotensiale. Større partikler vil på grunn av sin form og høyere vekt, sedimentere forholdsvis raskt (tidligere studier (SINTEF, 2018) viser typisk innenfor en radius av 50 m) og har derfor lavt spredningspotensiale. Det er antatt en synkehastighet for partikler 0,1 mm/s som er en typisk verdi brukt i tidligere studier for mineralpartikler med gj. snitt størrelse 30 µm (SINTEF, 2018; Norconsult, 2023b; Norconsult, 2023c). Gitt mulige forskjeller i partikkel-egenskaper og størrelsesfordeling/gjennomsnittsstørrelse er det også gjort sensitivitetsstudier med synkehastigheter som er faktor 4 lavere/høyere.

I områder med sterk strøm vil det kunne foregå resuspensjon av sedimenterte partikler. Tidligere studier (NIVA, 2005) har vist at det må betydelige bunnstrømmer til for å generere resuspensjon. I tillegg til

strømforholdene har type substrat stor betydning for graden av resuspensjon (Carvajalino-Fernández, et al., 2020a). Det er også en opsjon i modellen for å legge inn resuspensjon av partikler når skjærspenningen (τ_c) ved bunnen er over en valgt grenseverdi. Resuspensjon er sterkt avhengig av turbulens, og modellen med horisontal oppløsning på 32 x 32 m klarer ikke å fullt ut å gjenskape bunnprofil, ruhet, mm. for å beregne realistisk turbulens. Modellen som dekker et stort område, har ikke informasjon om substrattyper og det er derfor gjort simuleringer med ulike verdier for resuspensjon (hhv. $\tau_c = 0.2$ Pa i basis-simulering og $\tau_c = 0.10$ og 0.5 Pa i sensitivitetsstudier) for å dekke mulig utfallsrom (NIVA, 2005).



Figur 5: Modellområde og bunntopografi i NorFjords32 simuleringene. Rød prikk viser utslippspunktet.

4 Naturverdier og tålegrenser

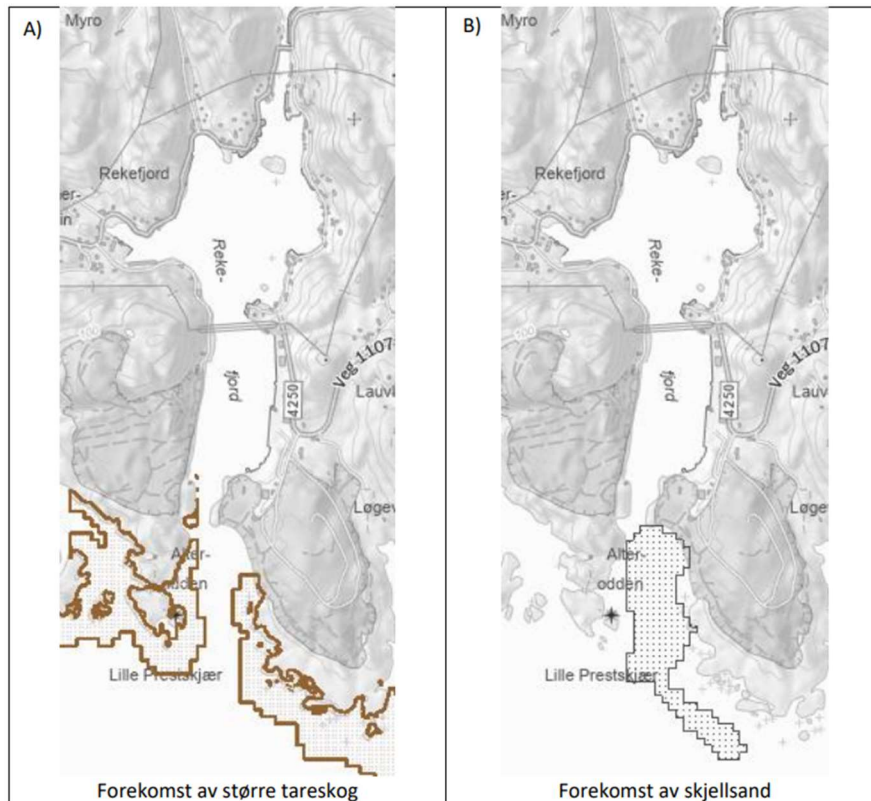
Databasen Naturbase ([Naturbase kart \(miljodirektoratet.no\)](https://naturbase.kart.miljodirektoratet.no)) er benyttet til å hente ut informasjon om naturverdier i området. Utenfor fjorden er det registrert en større forekomst av taesko (ID: BM00102260) (Figur 6 A). Forekomsten inngår i en stor sammenhengende taeskoeforekomst, fra Egersund i nord til Berefjord i sør. Den har fått verdi «svært viktig». Forekomsten ligger nær et gyteområde for torsk, som øker verdien ytterligere.

I Naturbase ligger det også inne forekomst av skjellsand på bunnen utenfor Rekefjorden, i vannforekomst Dyngjadypet-Sirevåg (Figur 6 B). Forekomsten er i kategorien «større enn 100 000 kvm, men mindre enn 200 000 kvm», og inneholder skjellsand med modellert skjellinnhold større enn 50%. Forekomsten er modellert, men ikke verifisert i felt. NIVAs prøvetaking i 2022 (stasjon Rek4) viste at sedimentet her var svært grovkornet, og hadde innslag av skjellrester, som samsvarte med den modellerte forekomsten i Naturbase. Skjellsand er dannet av delvis nedbrutte kalkskall fra marine organismer. Habitatet er gjerne rikt på bløtbunnsfauna, og fungerer som gyte- og oppvekstområder for flere arter av fisk (DN Håndbok 19-2001.). Skjellsand regnes som en ikke fornybar ressurs innenfor overskuelige tidsrammer.

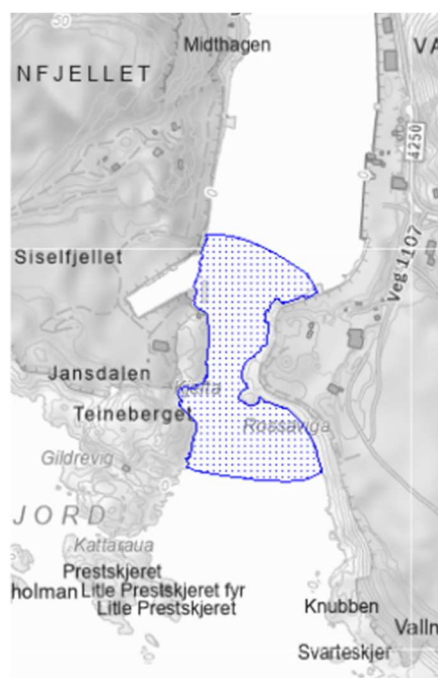
I Naturbase er det også registrert «sterk tidevannsstrøm» i det aktuelle området (Figur 7), selv om det angitt at det er usikkert om dette er et område av interesse, og at datasettet ikke er oppdatert og fullstendig ([Naturbase faktaark](#)). Ved passasje av trange sund slik som i munningen til Rekefjorden vil hastigheten i vannmassene øke. Effekten av tidevannspådriv forsterkes, men tidevannsforskjellene er små på Sør-Vestlandet så karakteristikken sterk tidevannsstrøm er muligens noe upresis. Sterk strøm rett utenfor og innenfor munningen til Rekefjorden skyldes nok summen fra alle pådriv (ferskvannsavrenning, vind, tidevann, trykkgradienter kyst-fjord, etc.) pluss innsnevring horisontalt og vertikalt (terskel). Områder med sterke strømmer er ofte isfrie om vinteren, og kan være gunstig som overvintringsområder for enkelte fuglearter (<https://www.hi.no/hi/radgivning/marine-naturverdier-og-tiltak-i-kystsonen/marint-biologisk-mangfold/sterke-tidevannsstrømmer>).

Det er ikke registrert område for anadrome laksefisk eller gyteområde for fisk inne i fjorden eller rett utenfor. Nærmeste gyteområde er Siragrunnen. Imidlertid er det observert laks i Rekefjord ifølge Artskart, men siste observasjon er tilbake til 1997. Laks er oppført som nært truet i Rødlisten (Hesthagen, et al., 2021). Utover laks er det ikke gjort andre observasjoner av truede arter som er registrert i Artskart. Imidlertid antas at hummer finnes gitt at det finner sted hummerfiske (NIVA, 2022). Hummer er oppført som sårbart i Rødlisten (Tandberg, et al., 2021).

Det er heller ikke observasjoner av fremmede arter i fjorden, basert på Artskart.



Figur 6. Registrerte forekomster av tareskog (A) og skjellsand (B) i området ved Rekefjord, hentet fra Naturbase (figuren er hentet fra (NIVA, 2022)).



Figur 7. Inntegning av tidevannsstrøm i Rekefjord, hentet fra Naturbase.

I vannmassene kan partikler påvirke plankton og fisk ved fortynning av næring, redusert lysgjennomstrømning og direkte fysisk påvirkning. Utover direkte påvirkning, kan fisk vise en adferdsrespons ved å unngå vann med høyt partikkelinnhold. Det vil være stor variasjon i hvilke konsentrasjoner som gir effekter i en resipient ut fra blant annet eksponeringstid, partikkelkarakteristikk, bakgrunns-konsentrasjoner og vannmassenes fysiske forhold. Basert på tidligere studier (DNV GL, 2021; NGI, 2022; Norconsult, 2019; Norconsult, 2023c) vil typiske grenseverdier for partikkel-konsentrasjoner være:

- 3 mg/l: Nedre grense for påvirkning over lengre perioder for effekter på egg og larver, og atferdsmessig respons på fisk
- 5 mg/l: Subletale effekter på egg, larver og delvis unnvikelse voksen fisk (>48 timers påvirkning trolig nødvendig for egg og larver)
- 8 mg/l: Total unnvikelse voksen fisk. Irreversible effekter/påbegynnende letale effekter på egg og larver (>24 timers påvirkning trolig nødvendig for egg og larver)

For å forhindre negativ effekt på vannforekomsten bør konsentrasjon i vannsøylen hovedsakelig ikke overstige 3 mg/l. Etter vår vurdering bør det kunne aksepteres at et mindre areal inntil land tidvis har nivåer på 3 mg/l, og også noe over dette. Selv om fisken da vil unngå nettopp dette området, kan den svømme forbi og innover i fjorden.

Mengden totalt suspenderte partikler i Rekefjorden er maksimalt 2,7 mg/l ved målingene høsten 2022 (NIVA, 2022). Dette er akkurat under nivået på 3 mg/l i grenseverdier som vist over. NIVA vurderte i 2022 for Rekefjord at «*det er en viss mulighet for at man har en atferdsmessig respons hos fisk assosiert med nedbørsepisodene*» (NIVA, 2022).

Faunaen på hardbunn kan bli påvirket av nedslamming. Floraen på hardbunn, dvs. tang og tare, kan bli påvirket både gjennom nedslamming og ved redusert lysgjennomstrømning i vannet. Fordi makroalger ikke inngår som et kvalitetselement for sedimentasjon, er det ikke så mye data på forholdet mellom mengden partikler og effekt. Generelt anses alger å være sensitive ovenfor nedslamming i eufotisk sone. I nærheten av foreslått utslippspunkt er det en større forekomst av tareskog (Figur 6 A), med verdi «svært viktig». Det er viktig å unngå negative effekter på denne forekomsten.

Bunnmiljøet på bløtbunn vil kunne påvirkes av sedimentasjon av partikler. Både nedslamming som sådan og fortynning av næring kan påvirke bunnfaunaen. Bløtbunnsfauna omfatter virvelløse dyr som lever i områder med leire, mudder og sandholdig bunn. Artene graver seg ned i bunnsubstratet eller lever på sedimentoverflaten. Sedimentering kan føre til at bunnfauna blir mer eller mindre begravd og kan ha negativ påvirkning på næringsopptaket hos filtrerende dyr. Rapportert terskelverdi for effekter i tidligere studie var på 6,5 mm sediment (Smit, et al., 2007). Andre filtrerende arter som skjell og østers vil også være følsomme for økte mengder suspenderte partikler (NIVA, 2022). Det samme gjelder skalldyr (NIVA, 2022), spesielt dersom nedslammingen er så stor at det tetter gjellene. Skalldyr har imidlertid som villfisk evnen til å forflytte seg ved høye partikkelmengder og redusert næringstilgang. I nærheten av foreslått utslippspunkt er det registrert skjellsand. Mht. skjellsand er det uttak av sand og endring av strømforholdene som er regnet som de største truslene (DN Håndbok 19-2001). I dette tilfellet vil en evt. påvirkning være at substratet endres, slik at det opprinnelige substratet fortynnes. Skjellsandforekomstene finnes oftest der det er mye strøm i vannet, og hvor fine partikler ikke vil sedimentere.

5 Resultater

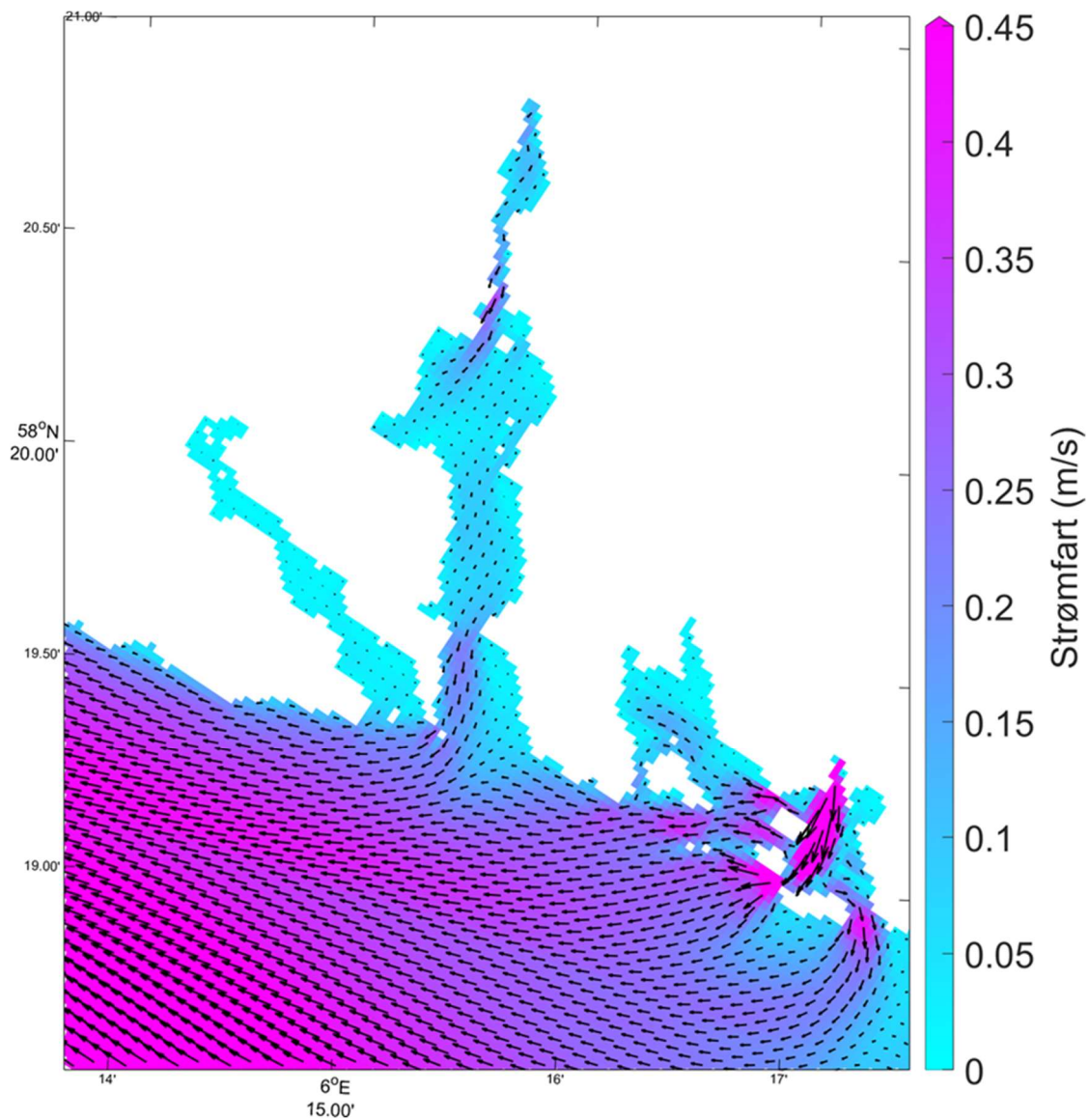
5.1 Strømforhold og hydrografi

Figur 8 viser midlet strøm og saltholdighet ved overflaten 29. nov. 2018. Det er kraftig strøm i åpen sjø hvor den Norske Kyststrømmen er dominerende pådriv mesteparten av tiden. Kyststrømmen langs norskekysten er i stor grad styrt av ferskvannstilførsel fra Østersjøen og fastlands-Norge. Dette vannet blandes med nordsjøvann og atlantisk vann, og strømmer langs norskekysten som en kileformet strøm med relativt lav saltholdighet. Kyststrømmen vil også stort sett være bestemmende for sprednings-retning og fortynning i hele dybdeintervallet 0-50 m hvor utslippet forventes innlagret. Det kan tidvis allikevel forekomme transport i andre retninger forårsaket av andre pådriv, særlig nær overflaten der ferskvannsavrenning og vind kan være styrende. Påvirkning fra ferskvannsavrenning fra elver på strømfeltet i overflaten (Figur 8) er tydelig i nærheten av utløpet til Sokna og i Rekefjorden. Det sees også på at saltholdigheten er lavere i disse områdene (Figur 9).

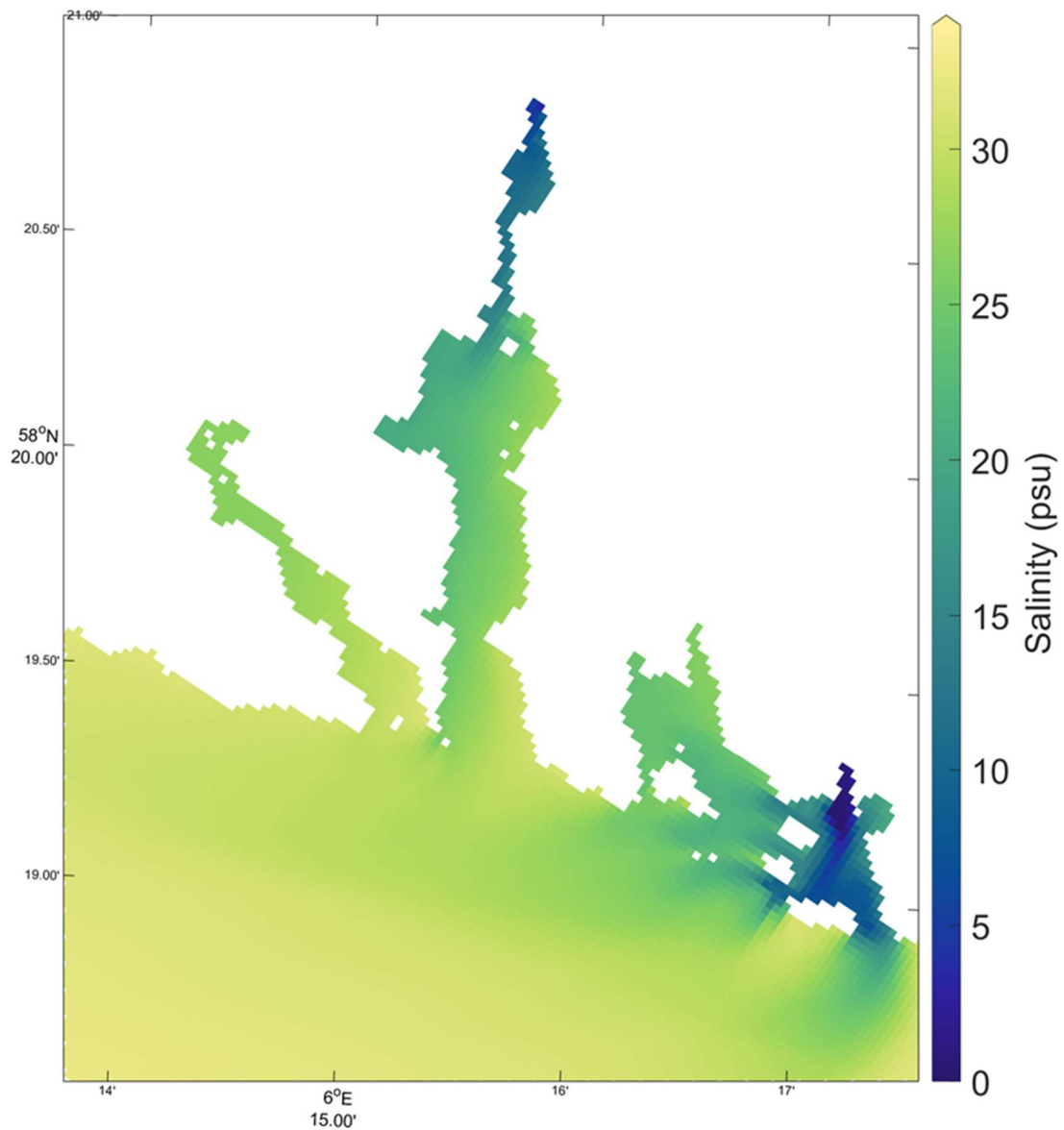
Figur 10 viser sammenligning av modellert og observert (NIVA, 2022) temperatur og saltholdighet ved stasjonen Rek7 som ligger nær foreslått utslippspunkt (Figur 11). Sammenligning ved andre utvalgte målepunkter (Figur 11) er vist i vedlegg A. Målingene er utført over noen minutter ved at en CTD senkes og heves gjennom hele vannsøylen. Modell-resultatene det sammenlignes med er fra nærmeste hele time. Dette og gitt tidsoppløsning på inngangsdata i modellen som f.eks. ferskvannsavrenning (døgnlign) og meteorologi (hver 3. time), gjør at modellen i utgangspunktet er bedre på tidsmidler enn å reprodusere tilnærmede øyeblikksbilder i deler av vannsøylen (f.eks. nær overflaten) der det er mye variabilitet. Modellen glatter også bunntopografien slik at den har en noe grunnere terskel enn den reelle og det vil også påvirke de modellerte hydrografiprofilene nær overflaten. Gitt dette og faktorer som at f.eks. vind er fra værvarslingsmodeller som tidvis har noe avvik fra reel vind er det overordnet middels-god overenstemmelse mellom modell og målinger. Det er ikke uventet noe større forskjeller nær overflaten enn dypere ned. Forskjellen mellom modell og målinger er opptil ca. 1,5 °C for temperatur og noen få psu for saltholdighet med unntak av nær overflaten der forskjellene i saltholdighet tidvis er noe større. NorFjords modell systemet bruker observert vannføringsdata fra de store elvene i NVEs elvenett som inngangsdata for elveavrenning. I modellområdet er det kun Sokna man har data fra i dette datasettet/data for observert vannføring. Elvetilførselen innerst i Rekefjorden som er av viktighet er satt lik den i nærliggende Jøssingfjorden da det er omtrent samme størrelser på tilhørende nedbørfelter. Denne tilnærmingen kan trolig også forklare noe av avvikene nær overflaten.

Figur 12 viser profiler av strøm, saltholdighet og temperatur ved foreslått utslippspunkt. I tillegg til utslippets egenskaper (utgangshastighet og tetthet) er innblanding og innlagring av utslippsvannet avhengig av sjiktningen (dvs. vertikal variasjon i tetthet bestemt av saltholdighet og temperatur) og strømforholdene. Utslippsvannet som er ferskvann, vil initielt være lettere enn resipientvannet og stige og fortynnes inntil det får samme egenvekt som omgivende vannmasser (innlagres). Ved svak vertikal sjiktning i resipienten vil utløpsvannet kunne trenge helt opp til overflaten. Strømprofilene viser at det overordnet er moderat-til høy strømfart ved utslippspunktet noe som indikerer effektiv spredning og fortynning. Høyest strømfart er nær overflaten der ferskvannspåvirkning og vind er av stor betydning. Strømrosen ved overflaten viser hyppigst retning mot vest-nordvest og strømfartene er da ofte høye, dvs. at det er stor påvirkning fra kyststrømmen (Figur 13). Nest hyppigst er transport med en tydelig sørlig komponent (Figur 13), dvs. ut fjorden, i perioder hvor ferskvannsavrenning og evt. vind og til en viss grad tidevannspåvirkning er styrende. På 10 og 20 m dyp er det til dels en kompenserende strøm i motsatt retning av typisk retning for kyststrømmen. Mens det på 30-40 m er en del variabilitet i strømretning, men noe rettet i fjordens retning (Figur 13). Strømfartene i

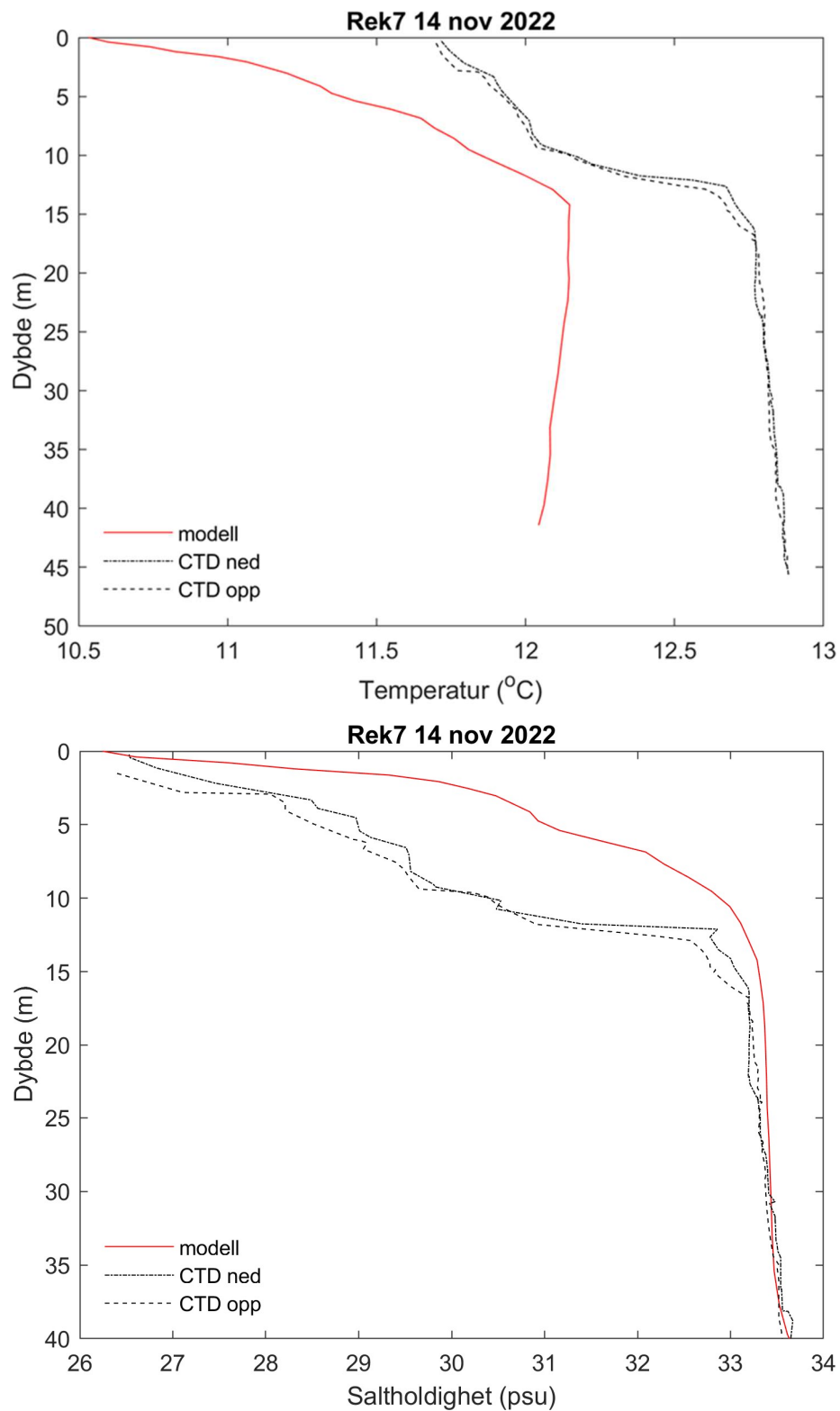
dybdeintervallet 10-40 m er lavere enn ved overflaten (Figur 13), men også her såpass store at dette sammen med variabiliteten i retning gir muligheter for god spredning og fortykning.



Figur 8: Gjennomsnittlig strømfart i Norfjords32 29 nov. 2022. Piler angir strømretning og lengden på piler og farger angir strømfart.



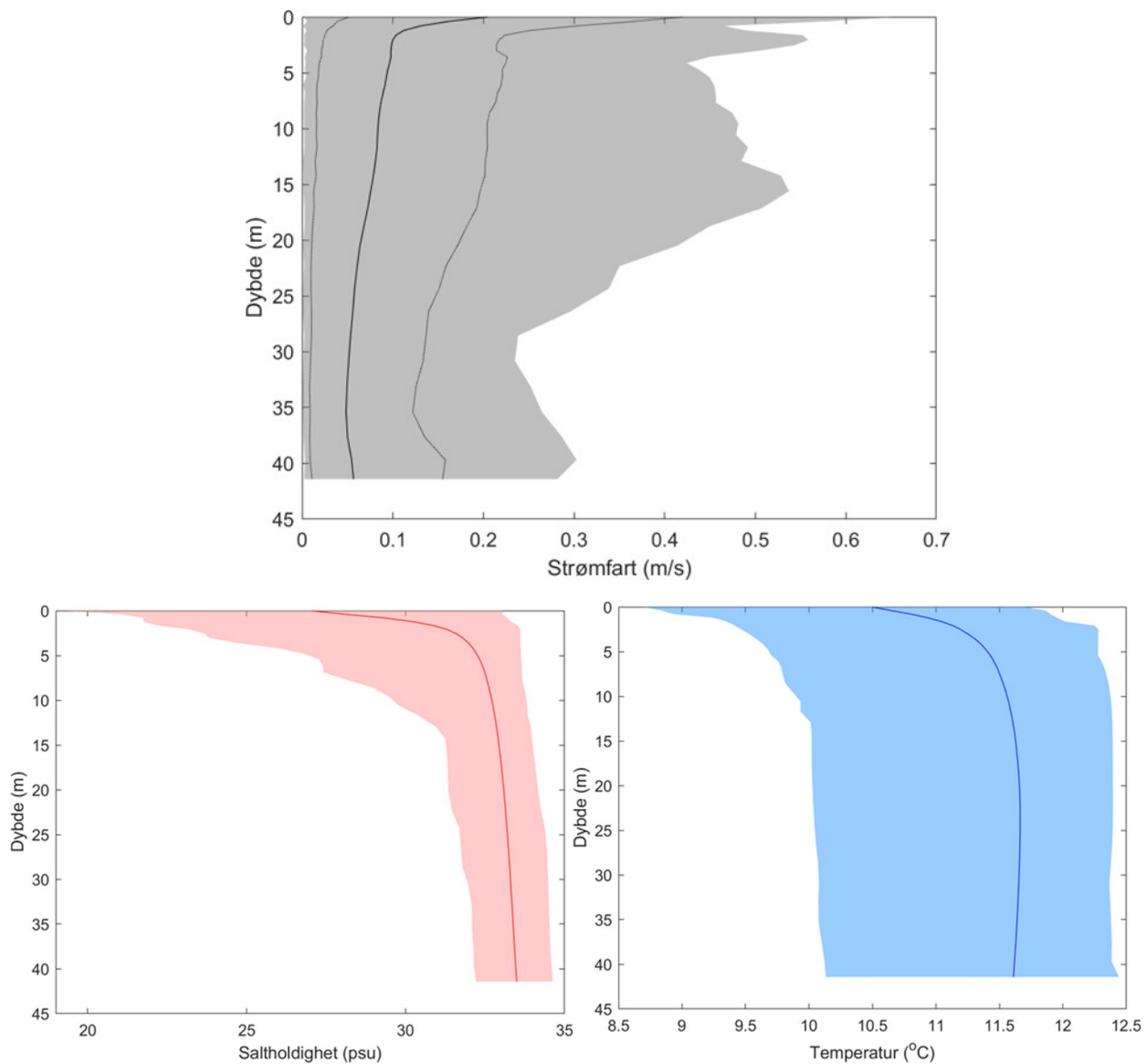
Figur 9: Gjennomsnittlig strømfart i Norfjords32 29 nov. 2022. Piler angir strømretning og lengden på piler og farger angir strømfart.



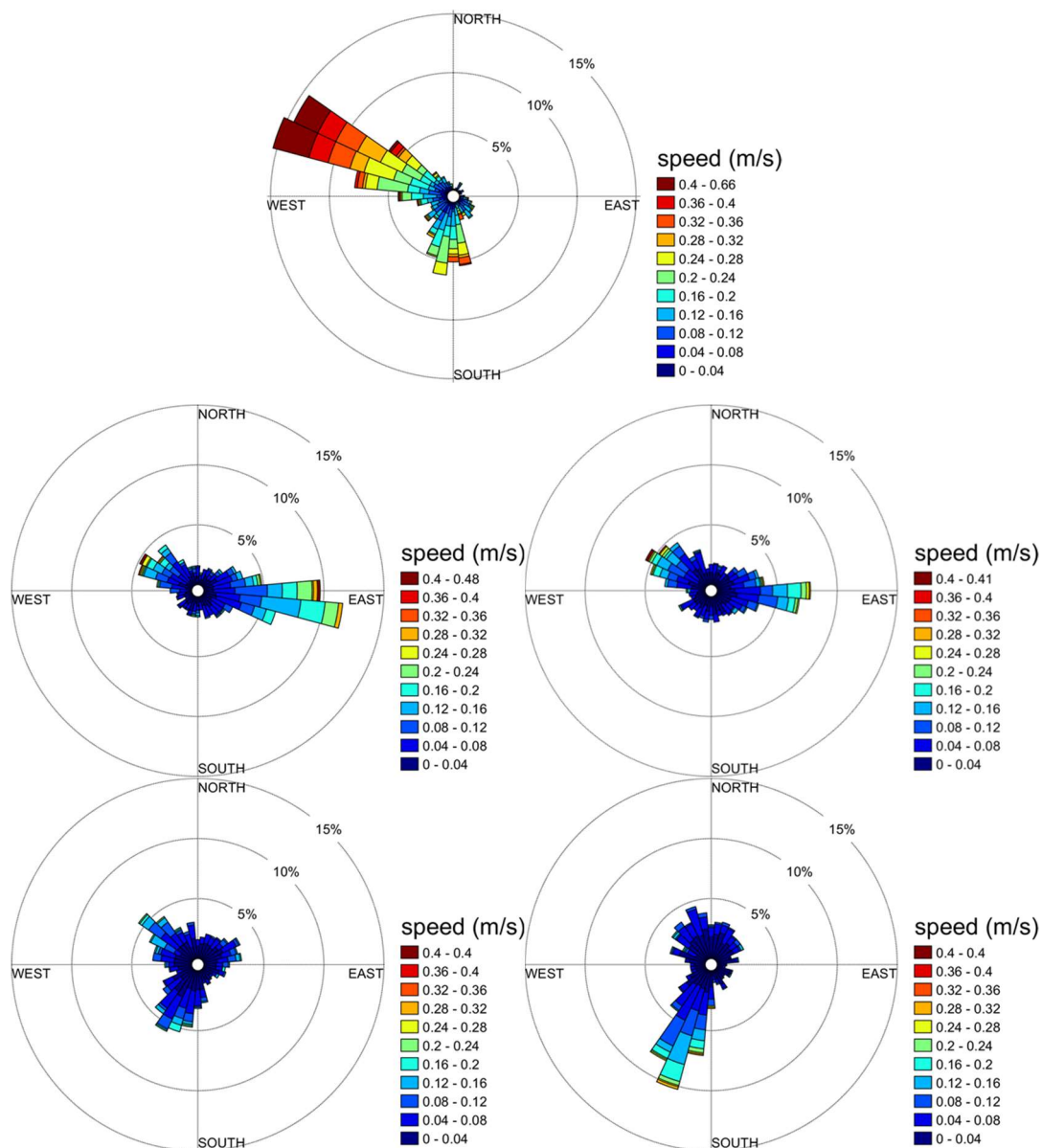
Figur 10: Sammenligning CTD målinger og NorFjords32 modell resultater for målepunktet Rek7 (Figur 11).



Figur 11: Lilla prikker: Utvalgte målelokaliteter der CTD målinger (ref) av saltholdighet og temperatur er sammenlignet med modellresultater. Røde prikk: Foreslått utslippspunkt.



Figur 12: Øverst: Profiler fra NorFjords32 modellen ved foreslått utslippspunkt (Figur 4). Basert på timesdata for perioden 25. okt.-30 nov. 2022. Linjer viser middelvei og skraverte områder spennet av verdier fra minimum til maksimum. Øverst: Strøm. Nederst: Hydrografi.

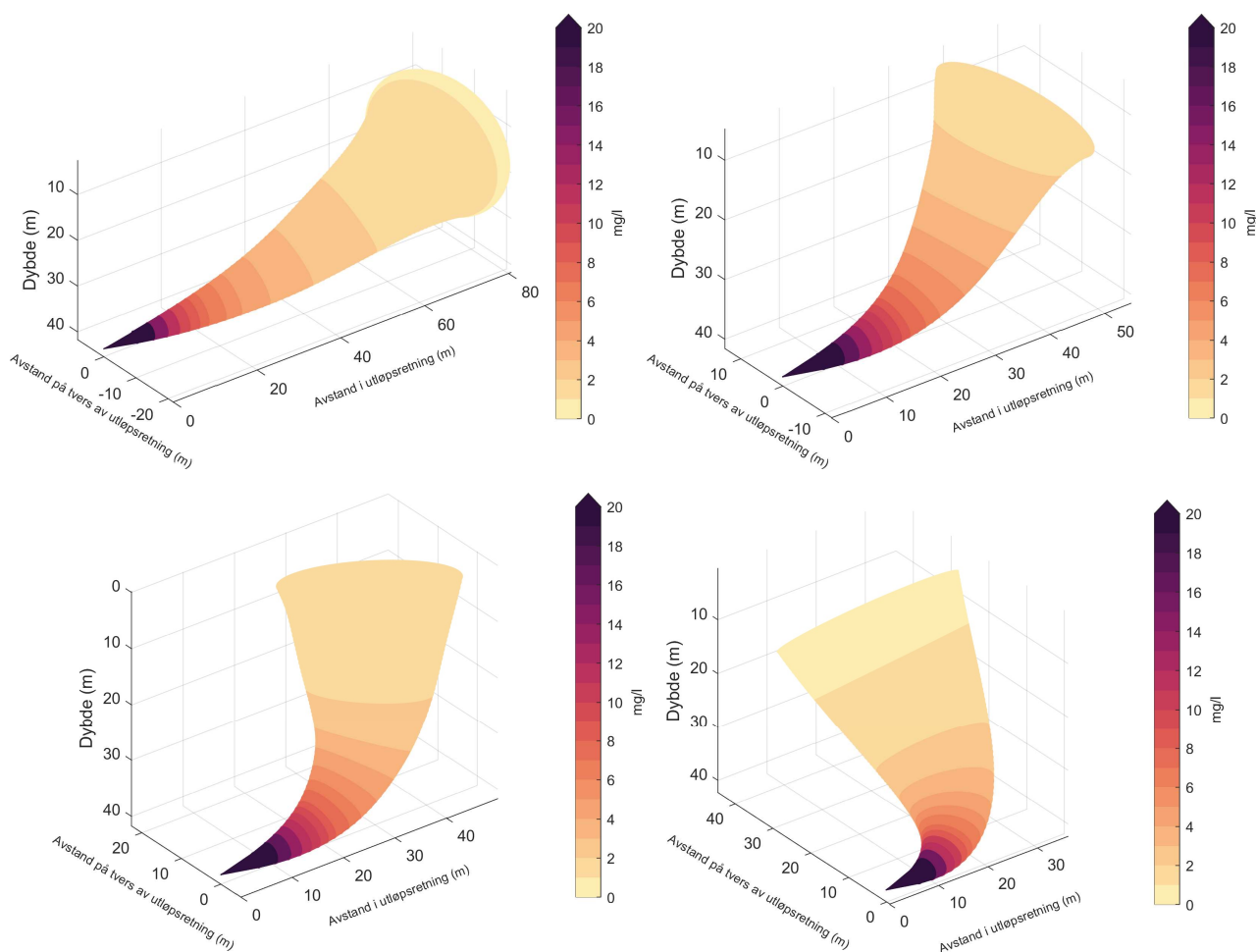


Figur 13: Strømroser (strømfart, retning og prosentvis andel av tiden for 10° intervaller) ved utslippspunkt fra NorFjords32 på angitte dyp basert på timesdata for perioden 25. okt-30 nov. 2022. Øverst: Overflaten. Midten venstre: 10 m dyp. Midten høyre: 20 m dyp. Nederst venstre: 30 m dyp. Nederst høyre: 40 m dyp.

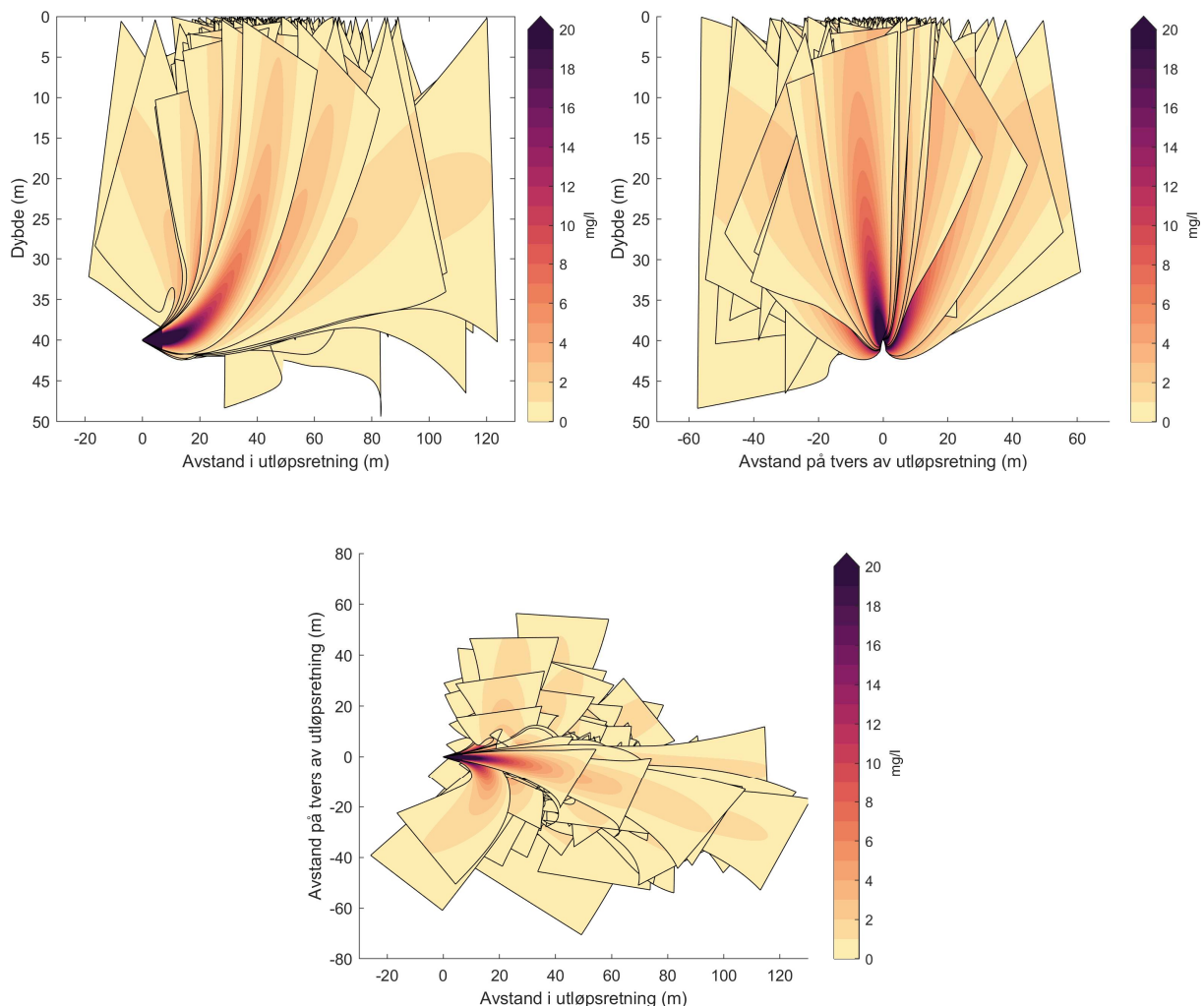
5.2 Spredning og fortykning

Figur 14 og Figur 15 viser spredning av utslippsvannet fram til innlagring/overflategjennomtrenging beregnet med Effluent. Utslippsvannet er ferskvann som er betydelig lettere enn omgivende vann i resipienten og utslippsvannet vil stige inntil det oppnår samme tetthet som vannet i omgivelsene eller når overflaten. I denne fasen er synkehastighetene til partiklene ansett som neglisjerbare i forhold til vertikalhastighetene i store deler av plumen. Denne tilnærmingen samt at modellen glatter bunntopografien og derfor er grunnere ved foreslått utslippspunkt (bunndyp i modell 41 m mot 50 i virkeligheten) gjør at den gir et konservativt

anslag for hvor høyt partiklene stiger i vannsøylen. Det er svært effektiv fortynning i de nærmeste meterne til utløpet der utslippsvannet med høy utgangshastighet møter strømfeltet i resipienten og det genereres turbulens og effektiv innblanding av omgivende sjøvann. I 10 m avstand fra utløpet er middelkonsentrasjonen over plumens tverrsnitt typisk redusert med ca. en faktor 20 (dvs. fra 400 mg/l til ca. 20 mg/l). Videre fortynning er noe langsommere, da plumen mister horisontalt momentum forårsaket av utgangshastigheten. Prosessen styres av oppdriften (vertikalt momentum) og tilhørende hastighetsforskjeller mellom plume og vann i omgivelsene. Ved innlagring/overflategjennomtrengning, oftest noen titalls meter i horisontal distanse fra utslippspunktet, er fortynningen en faktor flere hundre. Middelkonsentrasjonen på tvers av plumen er da typisk mindre enn 2 mg/l, slik at man allerede er under svært konservativ nedre grense på 3 mg/l for påvirkning på fisk (kap. 4). Utslipet når overflaten ca. 45 % av tiden, men som nevnt ovenfor er det da oppnådd en høy grad av fortynning og lave konsentrasjoner. Konsentrasjonsnivåene i plumen er størst i plumenes senterlinje og avtar gradvis til den er lik omgivelsene ved plumenes yttergrenser (Figur 15). Fokus her er på bidraget fra dette utslippet isolert, så bakgrunnsnivået er satt til null. Konsentrasjonen i plumen vil i realiteten ikke kunne fortynnes ned til et lavere nivå enn bakgrunnsnivået, men det eksisterer ikke nok målinger i området til å anslå bakgrunnsverdier. Typiske bakgrunnsnivåer av suspenderte partikler i upåvirket kystvann er 0,5-1 mg/l, men kan overstige dette ved mye elveavrenning.



Figur 14: 3D oversikt av gjennomsnittlig konsentrasjon over utvalgte plumers tverrsnitt. Øverst venstre: Utslipp 1. nov. 2022 kl. 12. Øverst høyre: Utslipp 10. nov. 2022 kl. 12. Nederst venstre: Utslipp 20. nov. 2022 kl. 12. Nederst høyre: Utslipp 1. nov. 2022 kl. 12.



Figur 15: Vertikale (2 øverste rader) og horisontalt (nederste rad) snitt av spredning av utløpsvann i resipient fram til innlagring/overflategjennomtrengning. Resultater for hver time i perioden 25. okt.-30 nov. 2022 er vist.

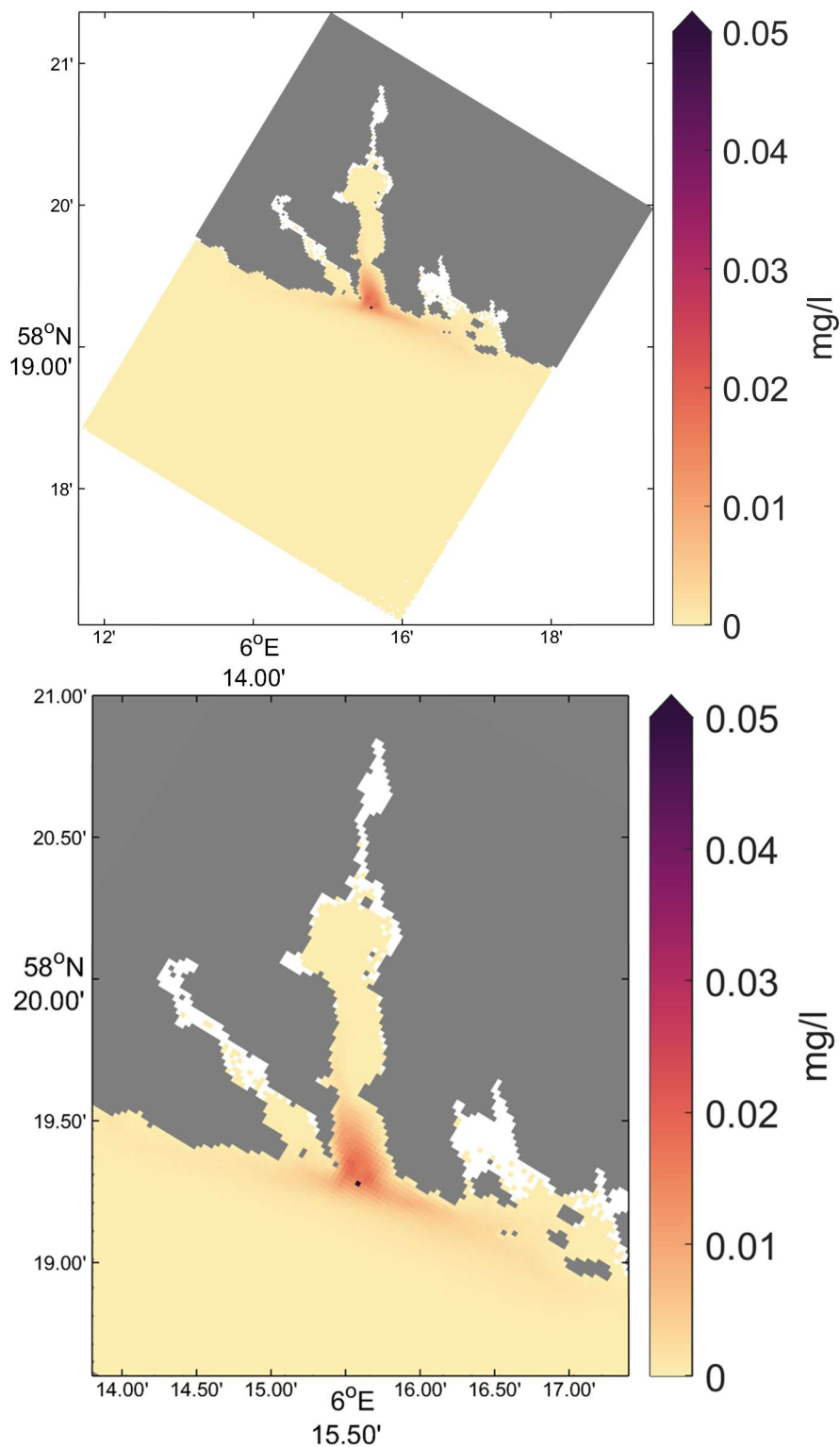
Figur 16-18 viser konsentrasjoner i vannsøylen etter innlagring/overflategjennomtrengning. Det er effektiv spredning og ikke tegn til akkumulering etter innlagring/overflategjennomtrengning. Mye av utslippet fanges av kyststrømmen og transporteres ut av modellområdet. Med unntak av i utslippets nærområde (nærmeste titalls meter) er middelkonsentrasjoner av suspenderte partikler i vannsøylen mindre enn 0,05 mg/l (i enkeltområder og -perioder forekommer høyere konsentrasjoner, men også disse når et begrenset nivå (Figur 18)). Middelkonsentrasjonen er godt under foreslått grenseverdi på 3 mg/l for påvirkning på fisk (kap. 4).

Mht. tareskog vil noe av randsonen kunne bli gjenstand for økte partikkelkonsentrasjoner (Figur 17). Mengden partikler i det aktuelle område som utslippet bidrar med, er imidlertid bare omtrent 0,02 mg/l (Figur 17). Gitt typiske bakgrunnsnivåer i kystvann (0,5-1 mg/l) vil den økte partikkelmengden neppe kunne redusere lysgjennomstrømmingen i den grad at det gir negativ effekt på fotosyntesen. Nedslamming kan i teorien også dekke til tarebladene med partikler, som vil være skadelig. I Naturbase er det angitt at tareskogforekomsten befinner seg på et «svært bølgeeksponert til middels bølgeeksponert område», og at

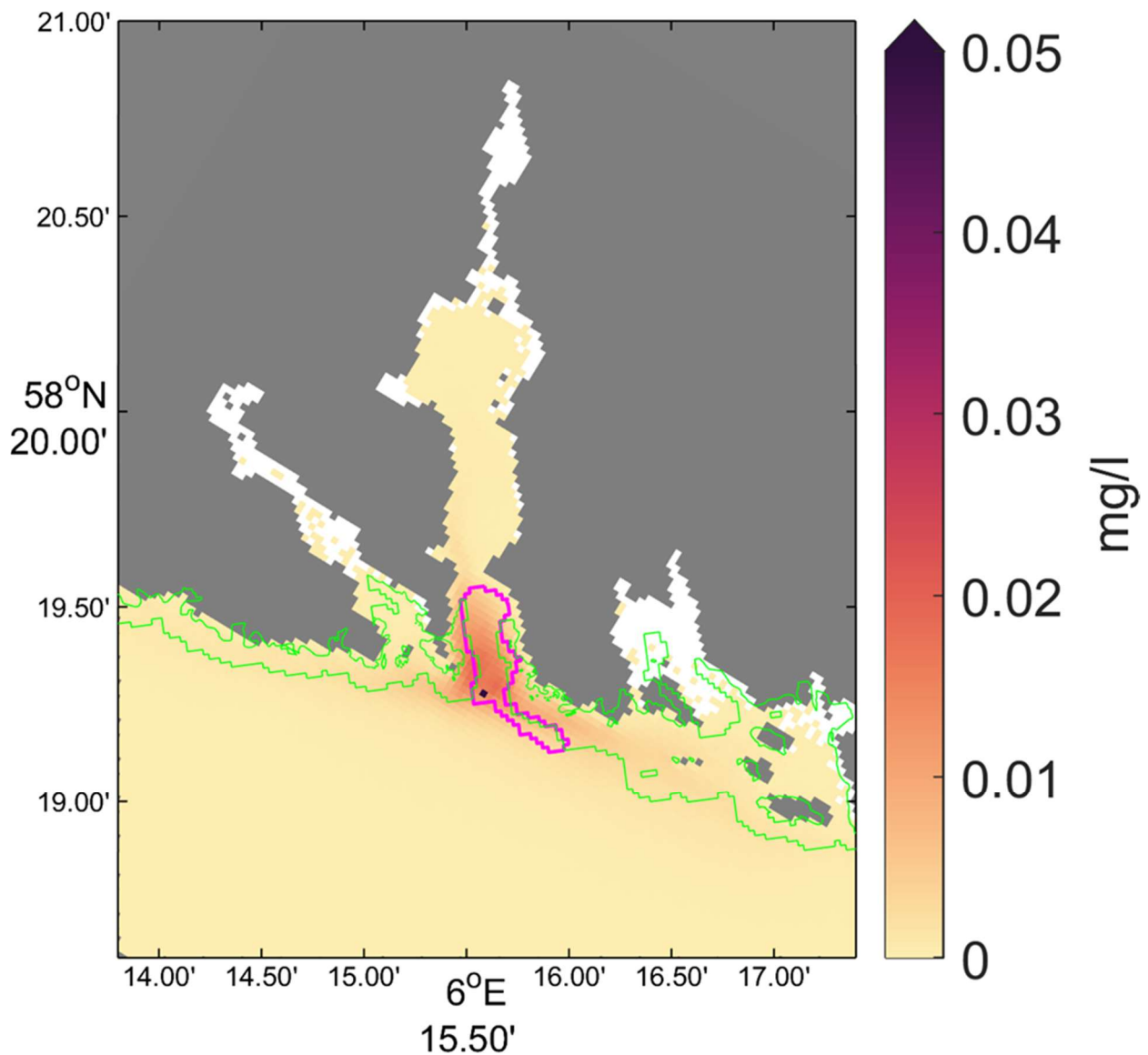
den aktuelle vannforekomsten tilhører «åpen, eksponert kyst». Strømodelleringen viser også moderat til høy strømfart i området. Vi antar at det derfor ikke er sannsynlig at partikler vil bli liggende oppå bladene. Generelt er tettheten av tare maksimal på 5 - 10 m dyp, mens den så avtar raskt videre nedover på dypet (Christie m.fl., 2014). Med utslippspunkt på 50 m dyp viser modelleringen svært begrensede økninger i partikkelkonsentrasjoner såpass høyt i vannsøylen. Som nevnt i kap. 4 finnes det ikke noen terskelverdi for effekt av partikler på stortare.

Tykkelsen på laget med sedimenterte partikler er maksimalt ca. 0,1 mm etter en drøy måned med kontinuerlige utslipp (Figur 19). Dette er langt under terskelverdi på 6,5 mm for effekter på bløtbunnsfauna i tidligere studie (Smit, et al., 2007). Terskelverdien har ikke noen rate, men er basert på «akutt» nedgraving, noe som gjør grensen konservativ når man vurderer den opp mot sedimenteringen i løpet av en drøy måned. Ut fra den lave sedimentasjonen forventes heller ikke vesentlig fortynning av næringen i sedimentene. Det kan riktignok bli noe akkumulering hvis det går kort tid mellom periodene med utslipp. Men stor variasjon i strøm og hydrografi (kap. 5.1) i en så åpen lokalitet gjør også at sedimentasjonen forflytter seg over tid.

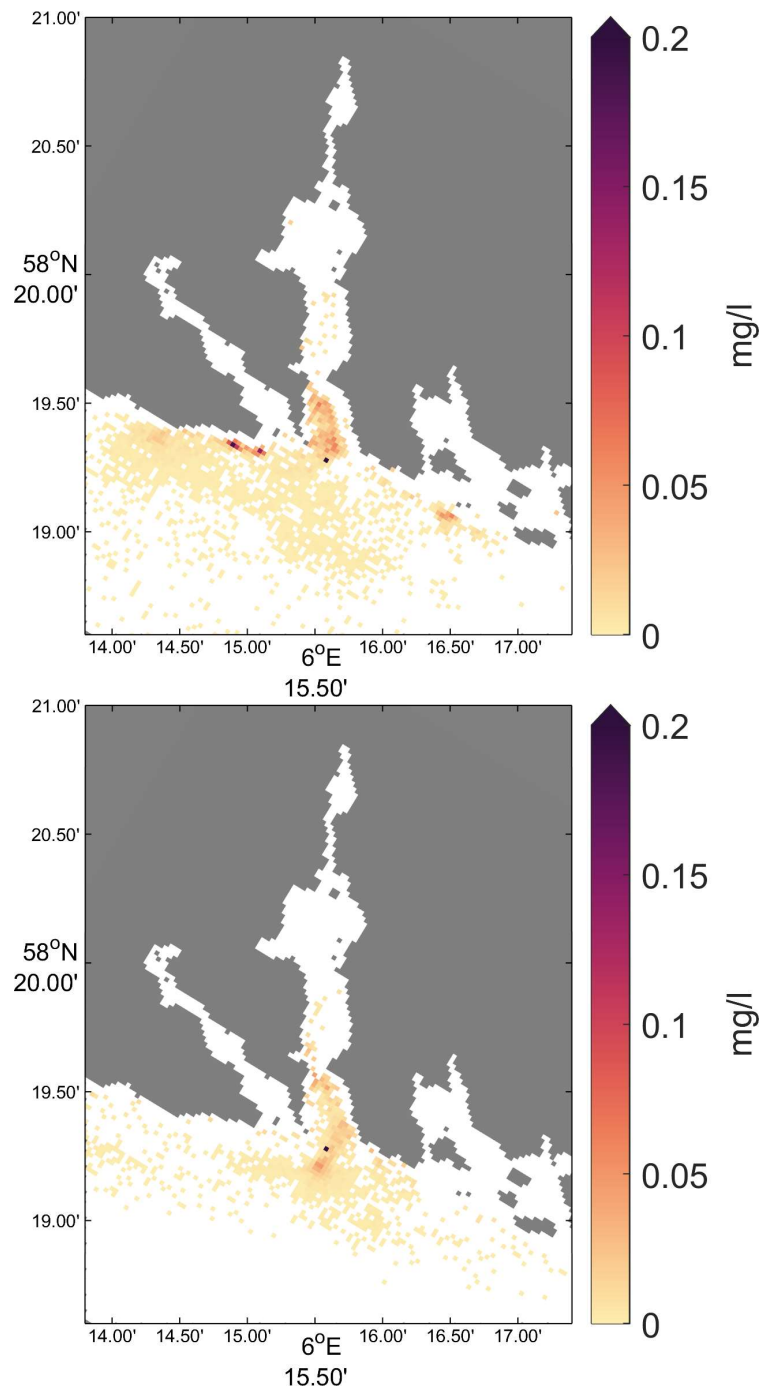
Figur 20 viser tykkelsen på sedimentert lag for sensitivitetsstudier, som på grunn av usikkerheter i synkehastigheter og resuspensjon gir mulige utfallsrom. Det er kun små forskjeller i resultatene. Det samme gjelder for fordeling og mengder suspendert partikler i vannmassene (ikke vist). Konklusjonene rundt påvirkning er derfor robuste også når noen av de mest usikre inngangsparameterne i simuleringene endres.



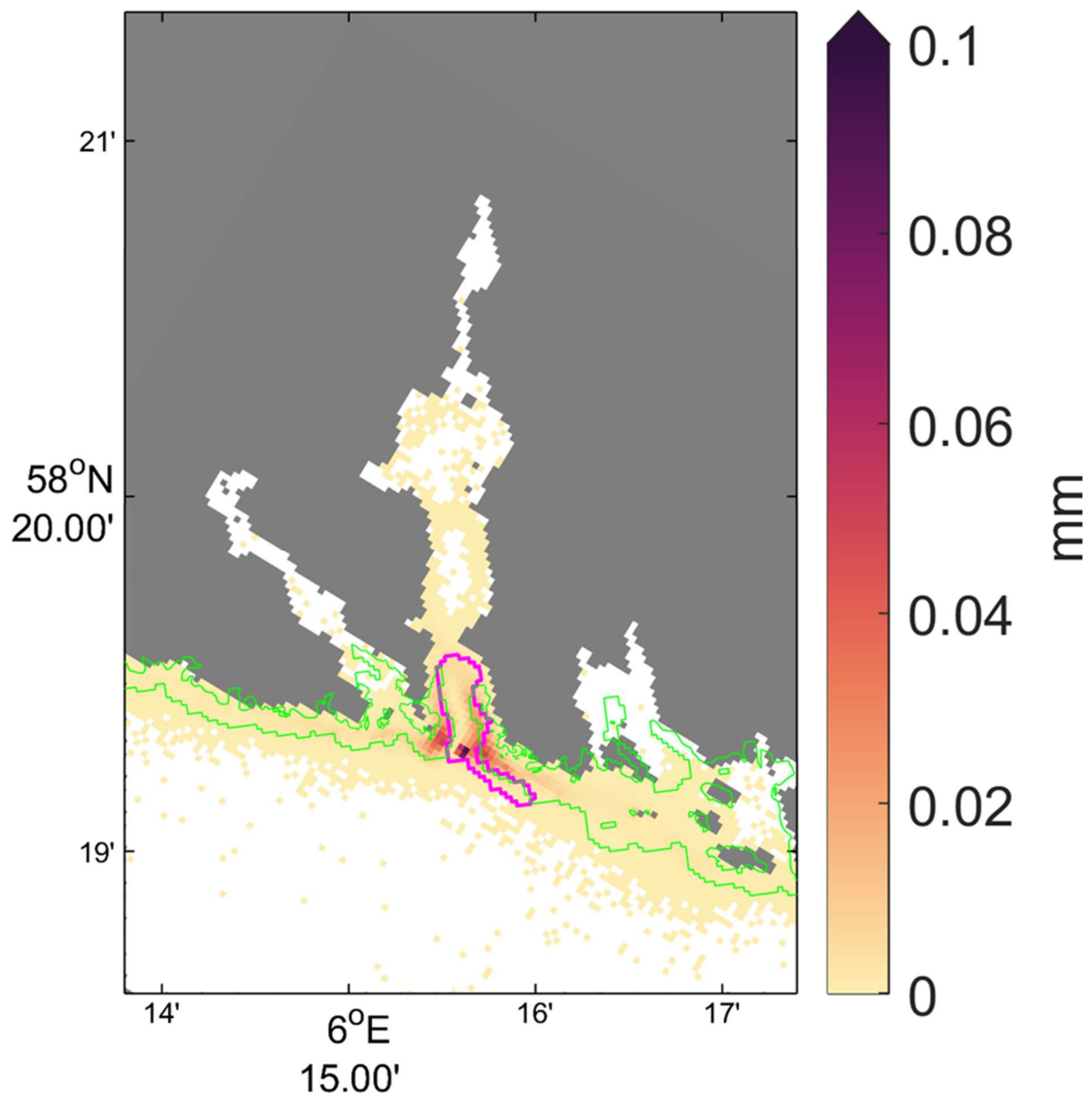
Figur 16: Utslippet bidrag til suspenderte partikler etter innlagring/overflategjennomtrengning. Middel-konsentrasjon i vannsøylen i 32 x 32 m gridceller er vist og basert på timesdata fra LADiM simulering for perioden 25. okt-30 nov. 2022. Øverst: Hele modellområdet. Nederst: Zoomet inn på Rekefjorden og nærliggende kystområder.



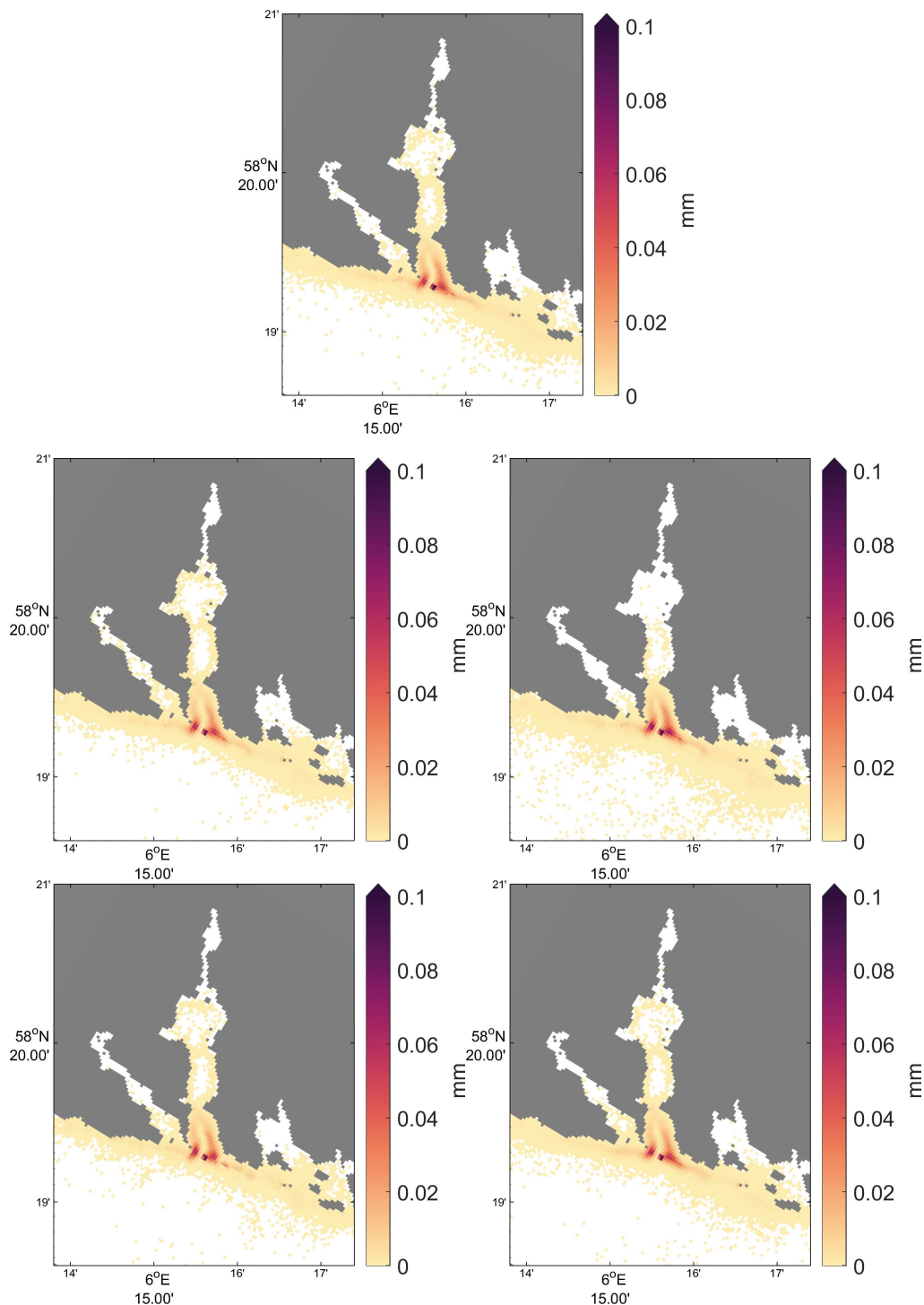
Figur 17: Utslippets bidrag til suspenderte partikler i vannmassene etter innlagring/overflategjennomtrengning. Middelkonsentrasjon i vannsøylen i 32 x 32 m gridceller er vist og basert på timesdata fra LADiM simulering for perioden 25. okt-30 nov. 2022. Grønne polygoner viser avgrensninger for områder med tareskog. Rosa polygon avgrensning for område med skjellsand.



Figur 18: Utslippet bidrag til suspenderte partikler etter innlagring/overflategjennomtrengning. Middel-konsentrasjon i vannsøylen i 32 x 32 m gridceller er vist. Øverst: Øyeblikksbilde 14 nov. 2022 kl. 10. Nederst: 28. nov. 2022 kl. 10.



Figur 19: Tykkelsen på sedimentert partikkellag i 32 x 32 m gridceller ved slutten av slutten av LADiM simulering for perioden 25. okt-30 nov. 2022. Grønne polygoner viser avgrensninger for områder med tareskog. Rosa polygon avgrensning for område med skjellsand.



Figur 20: Tykkelsen på sedimentert partikkellag i 32 x 32 m gridceller ved slutten av slutten av LADiM simulering for perioden 25. okt-30 nov. 2022. Øverst: Basis simulering (synkehastighet 0,1 mm/s, skjærspenning resuspensjon 0,2 Pa). Midten venstre: Sensitivitetsstudie med lav partikkel synkehastighet (0,025 mm/s). Midten høyre: Sensitivitetsstudie med høy partikkel synkehastighet (0,4 mm/s). Nederst venstre: Sensitivitetsstudie med lav skjærspenning for partikkel resuspensjon (0,1 Pa). nederst høyre: Sensitivitetsstudie med høy skjærspenning for partikkel resuspensjon (0,5 Pa).

6 Konklusjon

Den anbefalte utslippsmengden er 400 mg/l fra et utslippspunkt på 50 m dyp i fjordmunningen, nær åpen sjø godt utenfor fjordens terskel. En utslippsmengde på 400 mg/l tilsvarer typisk nivå i midlertidige utslippstillatelser for anleggsvirksomhet, f.eks. utslipp av tunnelvann i sjø.

Modellresultatene viser at utslippspunktets plassering sikrer effektiv spredning og fortynning og lite transport av partikler inn i fjorden. Modellresultatene viser også konsentrasjoner av suspenderte partikler i vannmassene godt under konservative grenseverdier for påvirkning på voksen fisk, fiskeegg og -larver. Tykkelsen på partikkel-lag som sedimenterer er også godt under terskelnivå for påvirkning på bløtbunnsfauna. Det er forekomster av viktige naturverdier som tareskog og skjellsand nær utslippspunktet. Det eksisterer ikke terskelnivåer for effekter på tareskog (lystilgang, nedslamming) og fortynning av næring i skjellsand-sedimentene, men gitt lokalisering (f.eks. strøm- og bølgerikt område med lite risiko for at partikler blir liggende på tareblader) og sammenligning med typiske bakgrunnskonsentrasjoner i kystvann vurderes effektene som minimale.

Det er små forskjeller i resultater mellom sensitivtetsstudier med ulike verdier for noen av de mest usikre inngangsparameterne i modelleringen, som partiklenes synkehastighet og resuspensjon. Konklusjonene ansees derfor som relativt robuste. Konklusjonene er gjeldende for utslippsmengder og løsninger angitt i denne rapporten. Ved vesentlige endringer i utslippskonsentrasjoner, vannmengder, rørdimensjoner, lokalisering og dyp på utslippspunkt eller størrelsesfordeling partikler bør nye vurderinger gjøres.

7 Referanser

DNV GL, 2021. *Borg havn utbedring av farled: Dokumentasjon på påvirkning i gyteperiode på kystorsk, samt utredning av vannutskiftning*, Høvik: DNV GL.

Ådlandsvik, B., 2019. *LADiM documentation*. [Internett]

Available at: <https://ladim.readthedocs.io>

[Funnet 25 juni 2022].

Asplin, L., Albretsen, J., Johnsen, I. A. & Sandvik, A. D., 2020. The hydrodynamic foundation for salmon lice modeling along the Norwegian coast. *Ocean Dynamics*, 70(10.1007/s10236-020-01378-0).

Carvajalino-Fernández, M. A. et al., 2020a. Effect of substrate type and pellet age on the resuspension of Atlantic salmon faecal material. *Aquaculture Environment Interactions*, 12(<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111685>), pp. 117-129.

Dalsøren, S. B., Albretsen, J. & Asplin, L., 2020. New validation method for hydrodynamic fjord models applied in the Hardangerfjord, Norway. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 246(<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.107028>).

Haidvogel, D. B. et al., 2008. Ocean forecasting in terrain-following coordinates: formulation and skill assessment of the Regional Ocean Modeling System. *J. Comput. Phys.*, 227 (2008), pp. 3595-3624, 10.1016/j.jcp.2007.06.016.

Hesthagen, T. et al., 2021. *Hesthagen, T., Wienerroither, R., Bjelland, Fisker: Vurdering av laks Salmo salar for Norge. Rødlista for arter 2021.*, Artsdatabanken: <http://www.artsdatabanken.no/lister/rodlisrodlisterforarter/2021/8149>. Nedlastet 07.11.2024.

HI, 2021. *hi.no*. [Internett]

Available at: <https://www.hi.no/hi/nyheter/2021/januar/sette-trafikklys-fargar-pa-fjordmodell>

[Funnet 10 6 2022].

Huserbråten, M. B. O., Eriksen, E., Gjøsæter, H. & Vikebø, F., 2019. Polar cod in jeopardy under the retreating Arctic sea ice.. *Commun. Biol.* 2, 407(<https://doi.org/10.1038/s42003-019-0649-2>).

Huserbråten, M. B. O., Hattermann, T., Broms, C. & Albretsen, J., 2022. Trans-polar drift-pathways of riverine European microplastic. *Scientific Reports*, 3016(<https://doi.org/10.1038/s41598-022-07080-z>).

Lee, J. H. W. & Chu, V. H., 2003. *Turbulent jets and plumes*. 1 red. New York: Springer, <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0407-8>.

NGI, 2022. *Innseiling Borg havn. Naturmiljø risiko*, Oslo: NGI.

NIVA, 2005. *Beregning av muligheten for oppvirvling av deponerte sedimenter på dypt vann i Bekkelagsbassenget under en dypvannsfornyelse*, Oslo: NIVA.

NIVA, 2022. *Vurderinger vedrørende utslipp av suspendert stoff fra Rekefjord Stone*, Rapport: L.NR. 7791-2022.

Norconsult, 2019. *Rv. 13 Sande og Nesvik nye ferjekaier, Hjelmeland. Vurdering av spredning av finstoff fra utfyllingsmasser*, Sandvika: Norconsult.

Norconsult, 2022a. *Modellering og vurdering av utslippsscenarioer 2030*, Sandvika: Norconsult.

Norconsult, 2022b. *Vurdering av spredning av avløpsvann fra nytt renseanlegg og økologiske konsekvenser*, Kristiansand: Norconsult.

Norconsult, 2023a. *E39 Rogfast E03. Miljørisikovurdering av utlekkingspotensiale fyllitt*, Dokument nr.: NO-187-YM.

Norconsult, 2023b. *Spredning av finpartikler fra utfylling ved Krågøy*, doknr.: 5144240-NO-190-YM.

Norconsult, 2023c. *Vurdering av spredning av mineralpartikler i sjø ved mudring og utfylling i SHA4 og SHA5 i Havneavsnitt Nord*, doknr.: 52110063-RIM07.

Norconsult, 2023c. *Vurdering av spredning av mineralpartikler i sjø ved mudring og utfylling i SHA4 og SHA5 i Havneavsnitt Nord*, dok.nr.: 52110063 RIM-07.

Sævik, P. N., 2023. Effluent: A Python package for modelling effluent discharge. *Journal of Open Source Software*, 8(89).

Sandvik, A. D. et al., 2021. The development of a sustainability assessment indicator and its response to management changes as derived from salmon lice dispersal modelling. *ICES Journal of Marine Science*, 78(<https://doi.org/10.1093/icesjms/fsab077>).

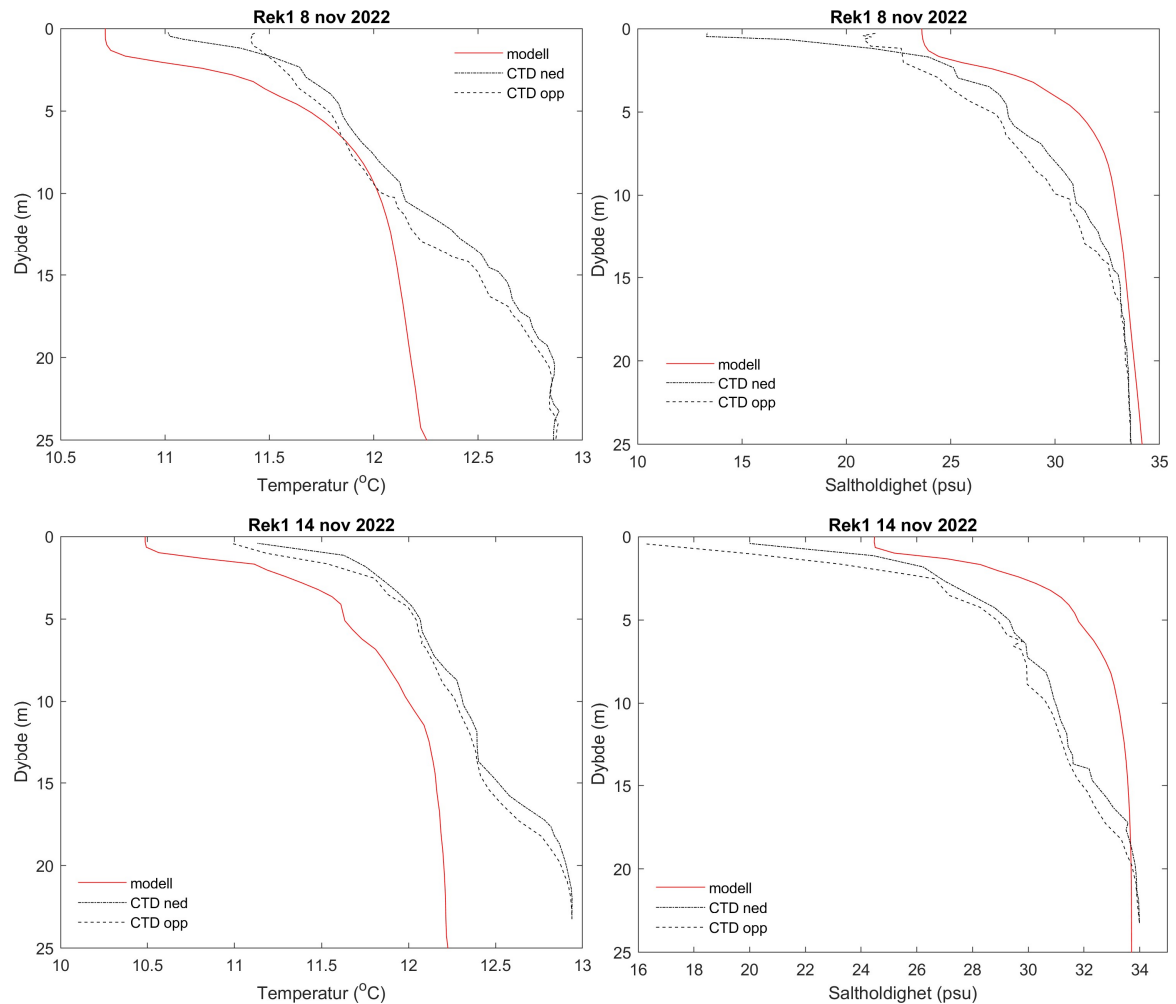
Shchepetkin, A. F. & McWilliams, J. C., 2005. The regional oceanic modeling system (ROMS): a split explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model. *Ocean Model.*, 9 (2005), pp. 347-404, 10.1016/j.ocemod.2004.08.002.

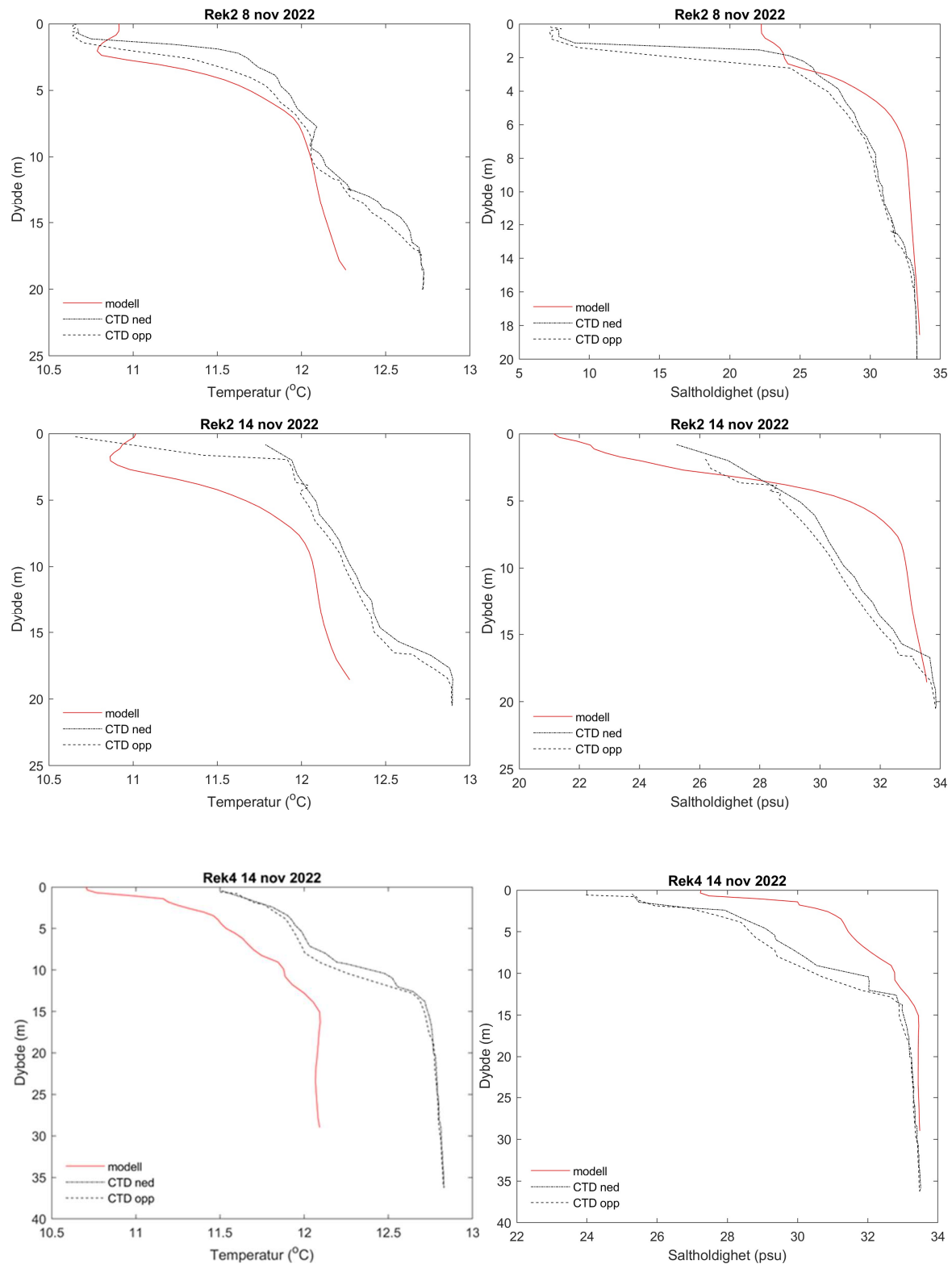
SINTEF, 2018. *Innseiling til Borg havn – modellering av mudrings- og deponeringsoperasjoner*, Trondheim: SINTEF.

Smit, M. et al., 2007. Species sensitivity distributions for suspended clays, burial. *Environ. Toxicol. Chem.* 27, pp. 1006-1012.

Tandberg, A. et al., 2021. *Krepsdyr: Vurdering av hummer Homarus gammarus for Norge. Rødlista for arter 2021*, Artsdatabanken: <http://www.artsdatabanken.no/lister/rodlisterforarter/2021/14133>. Nedlastet 07.11.2024.

Vedlegg A





Figur A1: Sammenligning CTD målinger og NorFjords32 modell resultater for utvalgte målepunkter i fjorden (Figur 11).