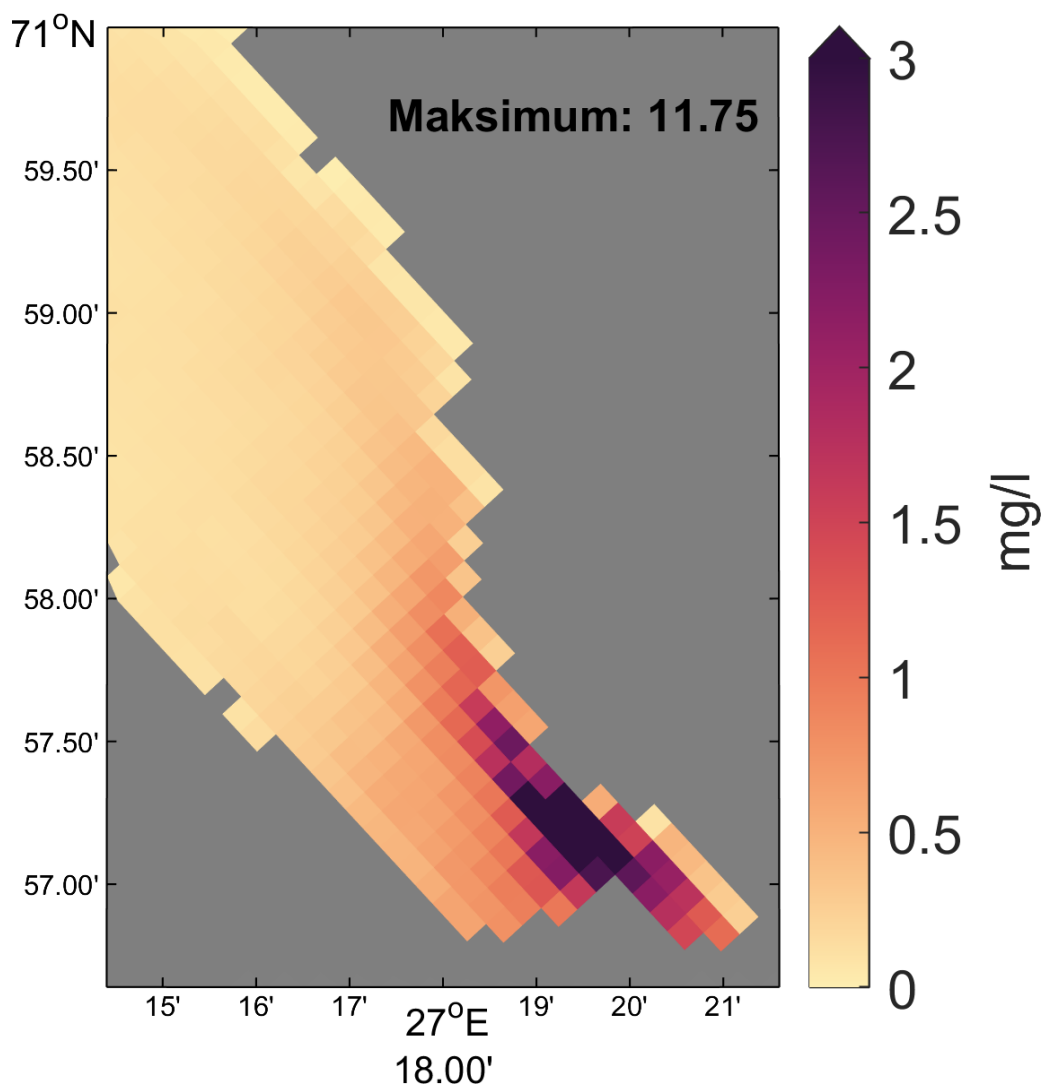


Kystverket

► Spredning av finpartikler i sjø ved bygging av moloer i Kjøllefjorden

Oppdragsnr.: 52406379 Dokumentnr.: 02 Versjon: B01 Dato: 2025-03-28



Oppdragsgiver: Kystverket
Oppdragsgivers kontaktperson: Trym Hauge Nilsen
Rådgiver: Norconsult Norge AS, Henrik Wergelandsgate 27, NO-4612 Kristiansand
Oppdragsleder: Arun Kamath
Fagansvarlig: Arun Kamath
Andre nøkkelpersoner:

B01	2025-03-28	For kommentarer fra oppdragsgiver	STIDAL	ARUKAM	ARUKAM
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

Kystverket arbeider sammen med Lebesby kommune for å utbedre forholdene i Kjøllefjord havn. Det er planlagt utdyping av indre del av Kjøllefjord havn og etablering av en ny ytre mololøsning i inngangen til havnebassenget.

Dette studiet ser på spredning av finpartikler ved etablering av moloer. Moloene etableres stegvis med rene tildekkingsmasser nær sjøbunn fra mudring i indre havn og overliggende rene sprengsteinsmasser.

Spredningsmodelleringen er utført med ulike tentative anleggsperioder, inkludert i gyteperioden. Basert på spredningsmodellering vurderes det å være liten risiko for omfattende uønskede effekter på flora og fauna i Kjøllefjorden. For tildekkingsmasser er konsentrasjonene godt under anbefalt grenseverdi for effekter på fiskeegg og -larver, også for simuleringsperiodene (februar, og mars) som faller innenfor gyteperioden. Årsaken til relativt beskjedne økninger i partikkelkonsentrasjoner for dette tiltaket er at utslippet skjer nær sjøbunnen og mesteparten av partiklene sedimenter derfor raskt og nært tiltaksområdet.

I simuleringer for spredning av partikler fra sprengsteinsmasser overskrider anbefalt grenseverdi for partikkelkonsentrasjoner for påvirkning på fiskeegg og -larver for noen av utfyllingsstegene i og nær (inntil 1 km unna) tiltaksområdene. Dette skjer i en liten og begrenset del av fjorden, i korte del-perioder. Det er perioden med utfylling av nederste lag i molo sør som gir overskridelser over størst område. Det er brukt et konservativt modelloppsett som trolig overestimerer omfanget på spredningen. Derfor vurderes mulige konsekvenser i gyteperioden til å være beskjedne.

Innhold

1	Bakgrunn	5
1.1	Beskrivelse av tiltaket	5
1.2	Naturverdier og tålegrenser	6
2	Metodikk	9
2.1	Utslipp av partikler med spredningspotensiale	9
2.2	Tildeckingsmasser	9
2.3	Utfyllingsmasser	9
2.4	Modeller	10
2.4.1	<i>Strømmodell</i>	10
2.4.2	<i>Spredningsmodell</i>	11
2.5	Modelloppsett	12
3	Resultater	15
3.1	Strøm og sirkulasjon i Kjøllefjorden	15
3.2	Tildeckingsmasser	19
3.3	Utfyllingsmasser	21
3.4	Sensitivitetsstudie usikkerheter	24
4	Diskusjon	26
5	Referanser	27

1 Bakgrunn

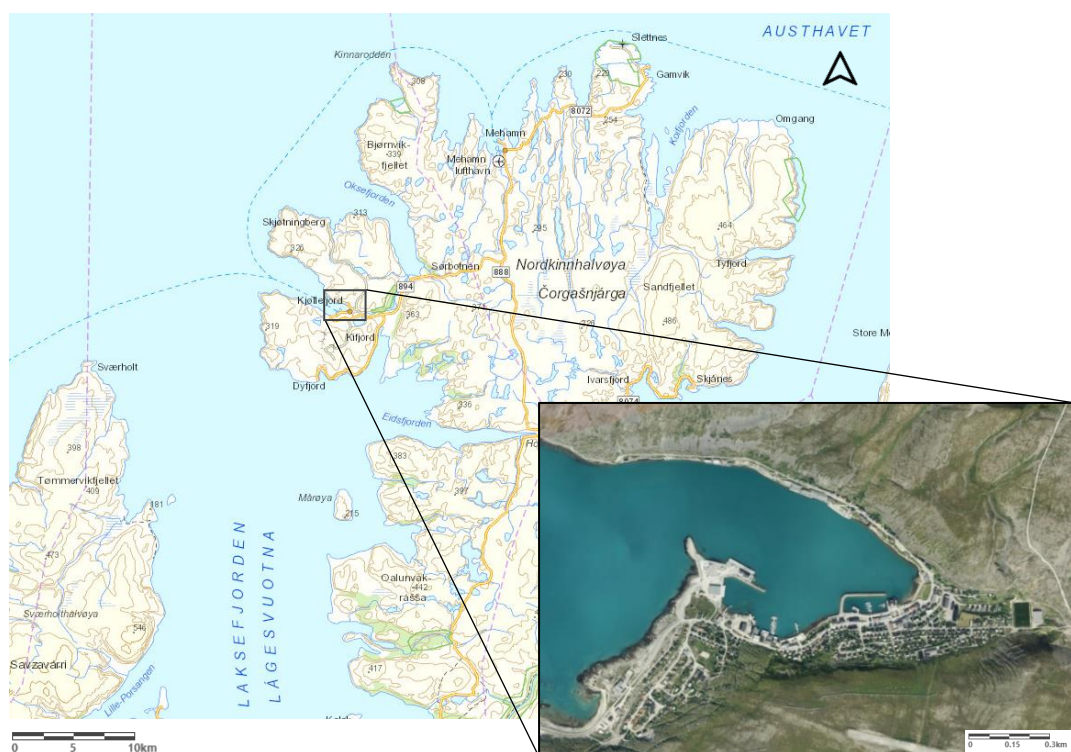
1.1 Beskrivelse av tiltaket

Tettstedet Kjøllefjord ligger i Lebesby kommune i Finnmark fylke (*Figur 1*). Kjøllefjord har tidligere vært preget av verftsaktivitet i havneområdet, men havna benyttes i dag hovedsakelig av fiskerirelatert virksomhet. Fiskeriflåten som tilhører Kjøllefjord er dominert av mindre fiskefartøy, men omfatter også en del fritidsbåter samt besøk av Hurtigruten.

Dårlig skjerming mot bølger på nordsiden av havna, og mangel på nye industriområder og fiskerikaier har gjort det utfordrende å legge til rette for utvikling av eksisterende industri og ny fiskerirelatert virksomhet samt gi fiskeflåten gode forhold ved leveranse og ved serviceanlegg. Det er også en trend i den større kystflåten at utviklingen går mot færre, men større fartøy.

Kystverket arbeider sammen med Lebesby kommune med å utbedre forholdene i Kjøllefjord havn. Det er planlagt utdyping av indre del av Kjøllefjord havn og etablering av en ny ytre mololøsning i inngangen til havnebassenget (*Figur 2*).

En tidligere studie, (Norconsult, 2024) , har sett på hvordan etablering av moloer påvirker strømforholdene i området samt spredning av finpartikler i sjø ved deponering av mudrede sedimenter innenfor moloene (*Figur 2*). Dette studiet ser på spredning av finpartikler ved etablering av moloer. Moloene etableres stegvis med rene tildekkingsmasser nær sjøbunn fra mudring i indre havn og overliggende rene sprengsteinsmasser.



Figur 1: Geografisk lokalisering av havneområde i Kjøllefjord havn. Basert på figur i (Norconsult, 2020).



Figur 2: Illustrasjon av planlagte mudrings/utdypnings- og deponeringsområder, moloer og sjete. Figur fra (Norconsult, 2024)

1.2 Naturverdier og tålegrenser

Ved tildekking og utfylling med masser i sjø som inneholder finpartikulært materiale er det sannsynlig at en andel av dette spres med strømmen. Tiltakene medfører derfor midlertidig økte partikkelkonsentrasjoner i vannmassene og nedslamming av sjøbunn i tilgrensende områder.

I vannmassene kan partikler påvirke plankton og fisk ved fortykning 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)

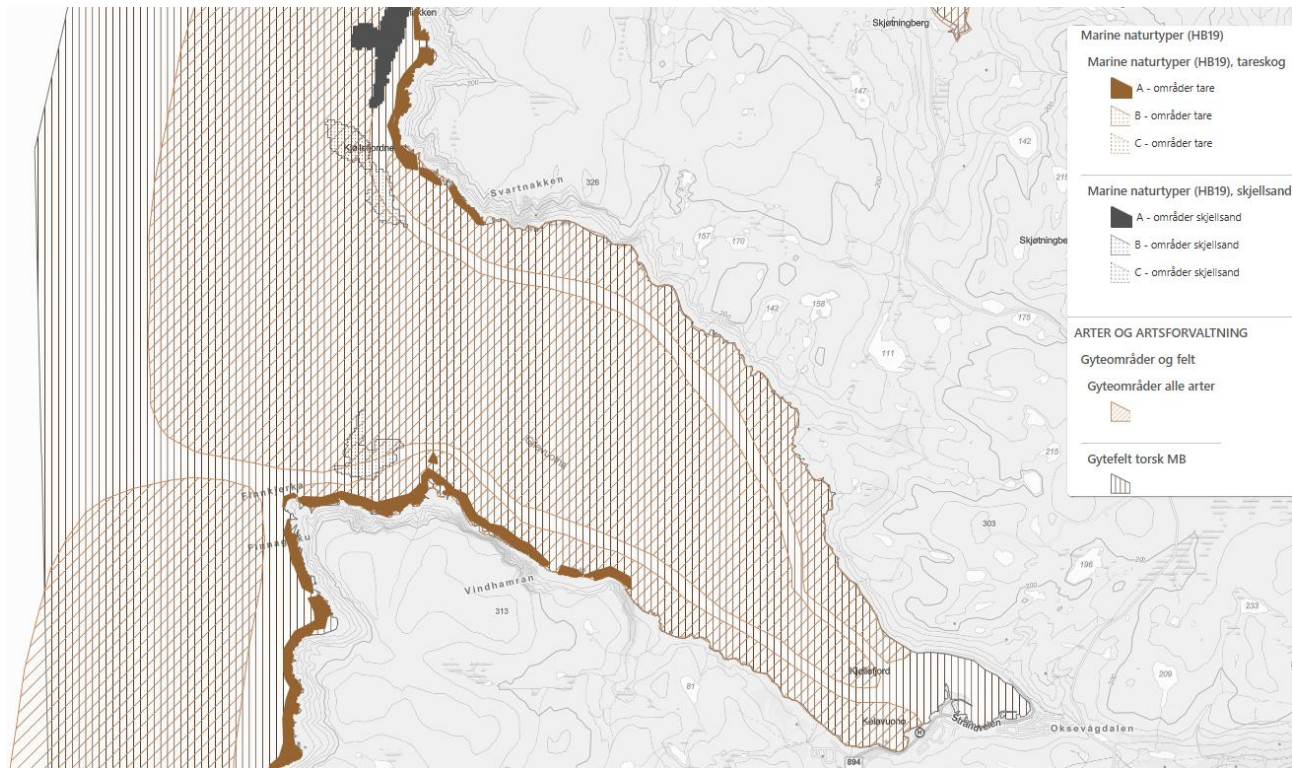
- 8 mg/l: Total unnvikelse voksen fisk. Irreversible effekter/påbegynnende letale effekter på egg og larver (>24 timers påvirkning trolig nødvendig for egg og larver)

Databasen Naturbase ([Naturbase kart \(miljodirektoratet.no\)](http://Naturbase.kart.miljodirektoratet.no)) viser at hele Kjøllefjorden er kategorisert som gyteområde for kysttorsk og mesteparten av den som gyteområde for andre fiskeslag (*Figur 3*). For å forhindre negativ effekt på fiskeegg og -larver er det brukt som grenseverdi i dette studiet at partikkelkonsentrasjon i vannsøylen hovedsakelig ikke bør overstige 3 mg/l.

Det er også bl.a. rapportert kongekrabbe i området (Naturbase) og generelt er også filtrerende arter som skalldyr, skjell og østers følsomme for økte mengder suspenderte partikler og nedslamming (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.

Av øvrige viktige naturverdier i Naturbase er det registrert tareskog i ytre deler av fjorden ganske langt unna tiltaksområdet (3,5 km eller lenger unna, *Figur 3*). 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 Naturbase ligger det også inne forekomster av skjellsand på bunnen i utkanten av fjorden (*Figur 3*). Forekomsten er modellert, men ikke verifisert i felt. 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. 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 substrat fortynnes. Skjellsandforekomstene finnes oftest der det er mye strøm i vannet, og hvor fine partikler ikke vil sedimentere. Som for tareskog eksisterer det ikke terskelnivåer for effekter på fortynning av næring i skjellsand-sedimentene.



Figur 3: Utklipp fra Naturbase ([Naturbase kart \(miljodirektoratet.no\)](http://naturbase.kart.miljodirektoratet.no)) av viktige naturtyper og gytefelt i og rett utenfor Kjøllefjorden

2 Metodikk

2.1 Utslipp av partikler med spredningspotensiale

Felt- og laboratoriemålinger viser at mesteparten av de suspenderte partiklene sedimenterer raskt. Dette skyldes tetthetsstrømmer og flokkulering (samling av partiklene til større aggregater/fnokker). Det er de fine partiklene i leir- ($< 2 \mu\text{m}$) og siltfraksjonen ($2\text{--}63 \mu\text{m}$) 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.

I utslippsestimatene for finpartikler og tilhørende modellering er det ikke lagt til grunn spesielle avbøtende tiltak (bruk av partikkelsperrer som silt-/boblegardin, omsluttende sjeteer, etc.).

2.2 Tildekkingsmasser

For å hindre oppvirvling og spredning av forurensede bunnsedimenter ved etablering av molo må det legges 0,4-1 m med rene tildekkingsmasser på sjøbunnen. Tildekkingsmassene består av mudrede sedimenter fra indre havn (Figur 2). Andel silt og leire, dvs. partikler med spredningspotensiale, i massene er ca. 14,5 % (Norconsult, 2020b). Det er lagt til grunn bruk av nedføringsrør og legging av flere lag og at massene slippes ca. 4 m over sjøbunnen. Dvs. at man i dette tilfellet har utslipp av finpartikler i molo-områdene i dybdeintervallet sjøbunn 4 m over sjøbunn. Som for tilsvarende nedføring i Borg Havn prosjektet (SINTEF, 2018) er det antatt at 5 % av finpartiklene spres i sjø og at resten fanges i tildekkingslagene på sjøbunnen.

Tabell 1: Anslag for andel av finpartikler (leire og silt) som spres i frie vannmasser ved utlegging av tildekkingsmasser. Kildereferanser er angitt i rapportteksten. Konservative verdier er valgt så angitte andeler er øvre anslag.

Tiltak	Andel finpartikler	Andel av finpartikler som spres i frie vannmasser	Kilder
Tildekking sjøbunn ved moloer	14,5 %	5 %	Kornfordelingsanalyser. Tidligere studie

2.3 Utfyllingsmasser

Over tildekkingsmassene vil etablering av moloer skje ved dumping av sprengsteinmasser fra sjøoverflaten med splittlekter.

Ved utfylling og deponering av masser i sjø er partikkelandelen som spres i åpent vann avhengig av utslippsdypet og utslippsraten. Mye av det deponerte materialet vil falle til sjøbunnen som en tetthetsstrøm. Partikler med lav tetthet kan skille seg fra det ytre laget av dumpemassene og blande seg i de øvre vannlagene under utslippspunktet. Noe av det finpartikulære materialet innad i massestrømmen vil holdes innlagret og synke ned til sjøbunnen over tid. Fallhastigheten til massene (øker mye med dybden) og den lokale strømhastigheten har stor innflytelse på partikkelspredningen. Når massene treffer sjøbunnen, vil det settes opp en bølge langs bunnen som gir en kilde til resuspensjon. Mengden kinetisk energi som massene har oppnådd bestemmer størrelsen på partikkelspredningen. Som et konservativt øvre anslag er det antatt at alt finstoff i utfyllingsmassene (100 % av partikler $< 63 \mu\text{m}$ (leire og silt)) spres i vannmassene (Tabell 2). I realiteten vil trolig en betydelig del fanges under utfyllingsmassene på sjøbunnen.

Mengden finstoff som dannes under sprengning avhenger av sprengningsteknikk, sprengstoffmengde, distanse til sprengpunkt og bergegenskaper. Det foreligger ikke informasjon om sprengsteinmassene som skal brukes i form av steinprøver el. l. Det har derfor vært nødvendig å estimere andelen finpartikler.

For å estimere andel finpartikler er data fra flere studier benyttet. Noen tidligere studier på lignende masser (Norconsult, 2019; NIVA, 2001) har tatt utgangspunkt i kornfordelingsanalyse utført i forbindelse med prøvesprengning i granittisk gneis (Strømme, 1986). Her fant man at fraksjonen $< 118 \mu\text{m}$ (sand, silt og leire) utgjorde 4,5 % vektprosent av total mengde utsprengte masser. Videre ble kornfordelingsanalyse av en tilnærmet tilsvarende fraksjon (sand, silt, leire $< 100 \mu\text{m}$) i tunnel-subb fra Hekni kraftverk (NIVA, 1995) brukt for å beregne mengdene finstoff ($< 63 \mu\text{m}$). Disse dataene viste at 28 % av sand, silt, leire $< 63 \mu\text{m}$. Kombinerer man disse dataene får man en finstoffandel ($< 63 \mu\text{m}$) på 1,25 %.

Som et supplerende estimat brukes studie på gneis i form av 32 tonn sprengt tunnelstein fra Akershuskaia (NGI, Statens vegvesen, Oslo Kommune, 2020). Målte kornfordelinger på disse massene ligger innenfor rapporterte erfaringsdata for sprengstein fra norske tunneler (ITA, 2019; NGI, Statens vegvesen, Oslo Kommune, 2020). Finstoffandelen ($< 63 \mu\text{m}$) er rapportert å være ca. 1 %.

Verdiene over gjelder for tunnelstein med en annen sprengningsmetodikk enn det som normalt brukes ved dagsprengning. Steinmasser fra dagbrudd vil normalt inneholde en mindre andel finpartikler (NGI, 2024). Basert på ovennevnte studier benyttes derfor et øvre estimat for andelen finpartikler i utfyllings og deponerte masser på 1,5 %. Estimater vurderes å være konservativt.

Tabell 2: Anslag for andel av finpartikler (leire og silt) som spres i frie vannmasser ved utfylling/deponering. Kildereferanser er angitt i rapportteksten. Konservative verdier er valgt så angitte andeler er øvre anslag.

Tiltak	Andel finpartikler	Andel av finpartikler som spres i frie vannmasser	Kilder
Etablering av moloer ved utfylling med sprengsteinmasser	1,5 %	100 %	Tidligere kornfordelingsanalyser lignende masser. Absolutt øvre anslag spredningsandel finpartikler (ingenting fanges på sjøbunn)

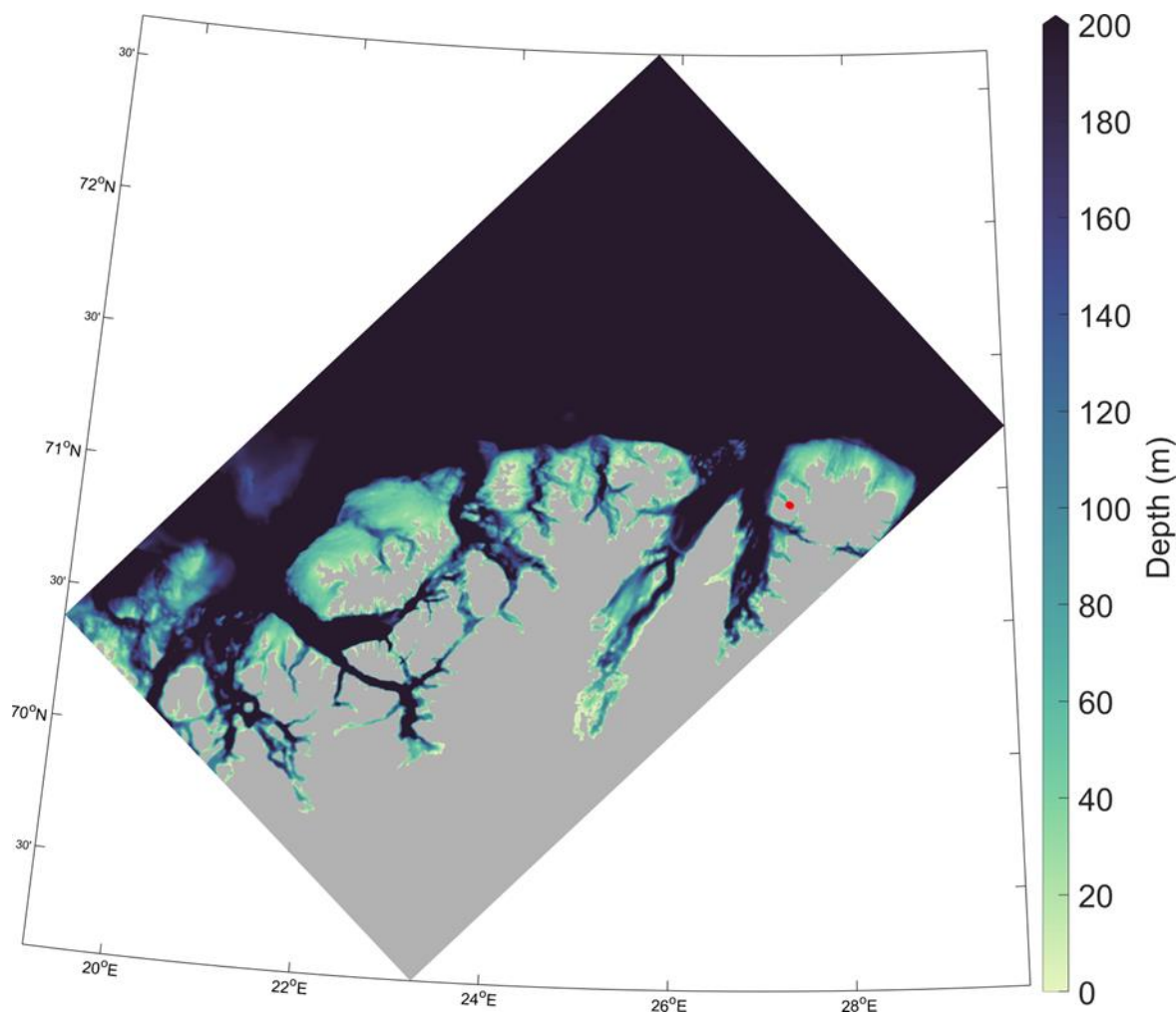
2.4 Modeller

Resultater fra to modeller, NorFjords og LADiM, er kombinert for å modellere spredning av utslipp av finpartikulært materiale i resipienten.

2.4.1 Strømmodell

Havforskningsinstituttets (HI) resultat-arkiv fra simuleringer med strømmodellen NorFjords160 er brukt som inngangsdata til spredningsmodellen LADiM. NorKyst/NorFjords modellsystemet er utviklet av HI i samarbeid med Meteorologisk institutt. Modellverktøyet (Dalsøren, et al., 2020; Asplin, et al., 2020) er basert på modellsystemet ROMS (Regional Ocean Modeling System, <http://myroms.org>, (Haidvogel, et al., 2008; Shchepetkin & McWilliams, 2005)) og videreutviklet for norske kyst- og fjordområder, samt nærliggende havområder. NorKyst og NorFjords 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). NorFjords160 sin horisontale oppløsning er 160 m x 160 m og vertikalt har den 35 nivåer. I utstrekning dekker modellkjøringen brukt her kyst og havområdene fra Sørkjosen til Gamvik (Figur 4). I dette studiet er modelldata for året 2023 brukt.

Gitt modellens oppløsning glatter den sjøbunnen og kystlinjene. Resultatene fra strøm og spredningsmodelleringen er derfor best egnet til å vurdere det overordnede bildet og ikke påvirkning inne i små bukter, viker og sund.



Figur 4: Modellområde og bunntopografi i NorFjords160 modellen.

2.4.2 Spredningsmodell

Modellering av partikkelspredning ble gjort med Havforskningsinstituttets standard verktøy for spredningsmodellering LADiM (Lagrangian Advection and Diffusion Model) (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). NorFjords160 simuleringene med timesverdier av strøm og turbulent blanding ble brukt som input til LADiM. Simuleringene med LADiM har derfor i praksis samme oppløsning som strømmodellen NorFjords160.

2.5 Modelloppsett

For å simulere tiltakenes partikkelspredning i sjø med LADiM må man sette opp tentative tidsperioder tiltakene skjer i. Oppstartstidspunkt og progresjon er usikker. Varigheten på tiltakene er basert på informasjon fra oppdragsgiver, bl.a. om forventede utfyllingsrater og arbeidstider.

For utlegging av tildekkingsmasser er anleggsperioden estimert til ca. 12 døgn med 2 økter per dag av 6,5 t varighet. Det er lagt til grunn 6 arbeidsdager i uka og modellert spredning for 2 ukers perioder i litt ulike deler av året, både i og utenfor gyteperiode (*Tabell 3*).

Tiltaket med dumping av sprengsteinsmasser fra splittlekter som etablerer moloer vil skje stegvis. Det etableres 3 lag med sprengsteinsmasser for molo nord og 2 lag for molo sør (*Tabell 4*). Det er antatt 6 arbeidsdager à 12 timer i uka. Hvert lag krever noe konsolidering (ca. 4. uker for øverste lag og ca. 2 uker for øvrige) før utfylling av ovenstående lag eller plastring kan skje. Arbeidet er derfor estimert til å ha en total varighet på 40-50 uker. Da oppstartstidspunkt ikke er avklart, er det gjort simuleringer for to alternative oppstartstidspunkter (januar og september) for å se litt på mulig variasjon over året, spesielt med henblikk på å plassere litt ulike faser av tiltaket i gyteperioden. Det er valgt å se på plassering av deler av tiltakene i gyteperioden da det av praktiske årsaker kan være aktuelt dersom det tillates.

Det foreligger ikke informasjon om hvilke bergarter massene består av. For omregning fra volumer til utslippsmasser (nødvendig for beregning av konsentrasjoner i resipienten er det antatt en egenvekt på 2,7 tonn/m³, typisk spenn for vanlige bergarter er 2,5-3,15 tonn/m³, NVE: [Sikringshåndboka: Modul G2.001: Omregning av volum av masser](#)).

Tabell 3: Inngangsparametere og opplysninger brukt til oppsett av spredningsmodelleringen for tildekkingsmassene

Molo	Volum (m ³)	Volum finpartikler (m ³) som spres	Utslippsdyp (m) (fra-til)	Anleggstid (uker)	Simuleringsperioder
Nord og sør	27 000 (18 500 nord) og 8 500 sør)	196	4 m over sjøbunn - sjøbunn	2	1-15. februar 2023 1-15. mars 2023 1-15. juni 2023 1-15. september 2023

Tabell 4: Inngangsparametere og opplysninger brukt til oppsett av spredningsmodelleringen for moloutfyllingene.

Utfyllingslag	Molo	Volum (m ³)	Volum finpartikler (m ³) som spres	Utslippsdyp (m) (fra-til)	Anleggstid (uker)	Alternativ A Periode (uke nr. 2023)	Alternativ B Periode (uke nr. 2023)
1	Nord	198 300	2975	0-bunn	7	1-7	36-42
2	Nord	117 000	1755	0-20	6	9-14	45-50
3	Nord	18 300	275	0-8	9	16-24	1-9
4	Sør	120 000	1800	0-bunn	6	25-30	10-15
5	Sør	49 000	735	0-7	8	32-39	17-24

LADiM ble satt opp til å modellere spredning av partikler fra representative utslippslokasjoner i tiltaksområdene. Det ble sluppet ut et antall partikler i hver (x,y,z)-posisjon for hvert utslippstidspunkt i arbeidsperiodene. For tildekkingsmassene ble det brukt utslipp hvert 3. minutt, mens slipp med lekter for moloutfylling ble antatt å skje hver time. Reell utslippsfrekvens vil være annerledes, men neppe såpass at det har stor innvirkning på storskala spredningsmønster som er hovedfokus i analysene. Vertikalt ble det lagt inn utslipp på hver halvmeters dyp i utslipps-dybdeintervallet for tildekkingsmassene og på hver meters dyp for utfyllingsmassene. Studier med kvantitativ angivelse av vertikal spredningsfordeling er mangelvare, og som en forenkling ble det brukt like mange utslupne partikler på alle dyp med utslipp. Reelt sett kan det være noe annerledes, da det antagelig frigjøres noe mer finpartikler nær bunnen pga. oppvirling der. En jevn vertikal fordeling gir et konservativt anslag for spredning, da partikler høyere i vannsøylen vil spres lenger før de sedimenterer. Tidligere studier (kap. 2.1) viser også at det kan forventes spredning til hele vannsøylen for utfylling med slipp nær sjø-overflaten.

Antall partikler lagt inn i modell i hver lokasjon varierte mellom tiltakene og utfyllingslagene avhengig av tiltakenes tidslengde. Men for hver av tiltakene/utfyllingslagene ble det typisk totalt modellert spredning av 20 000-60 000 partikler for å oppnå realistiske spredningsfordelinger. I analysene ble partiklene vektet basert på det totale utslippet og antall partikler. Dette gir fleksibilitet i analysene, man slipper nye simuleringer og trenger kun å skalere modell-resultatene dersom man ønsker å endre utslippsmengder eller dybdefordeling.

I tillegg til vertikal transport forårsaket av strømforholdene og turbulens, har partiklene i utslippet en synkehastighet. Det er antatt en synkehastighet for partikler på 0,1 mm/s som er en typisk verdi brukt i tidligere studier for mineralpartikler med gjennomsnitt-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 hhv. 5 faktorer lavere og høyere.

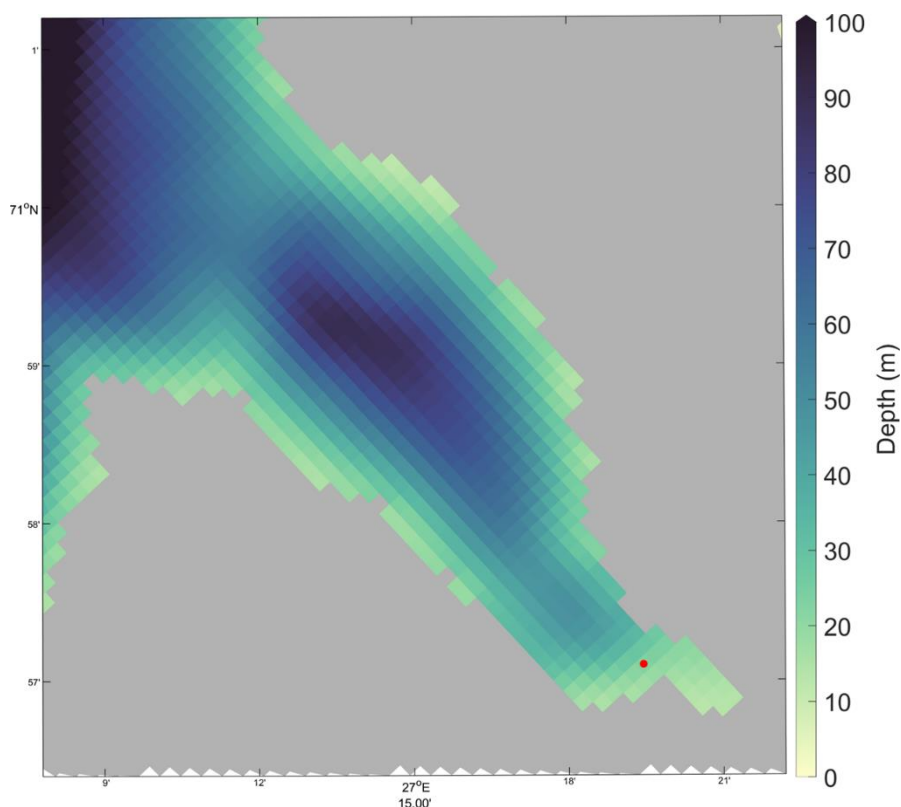
I områder med sterk strøm vil det kunne foregå resuspensjon av sedimenterte partikler. Tidligere studier (NIVA, 2005) har vist at det må betydelige bunnstrømmer til for å generere resuspensjon. I tillegg til strømforholdene har type substrat stor betydning for graden av resuspensjon (Carvajalino-Fernández, et al., 2020a). Det er også en opsjon i modellen 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 160 x 160 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 en typisk midlet grenseverdi for resuspensjon ($\tau_c = 0.2 \text{ Pa}$, (NIVA, 2005)).

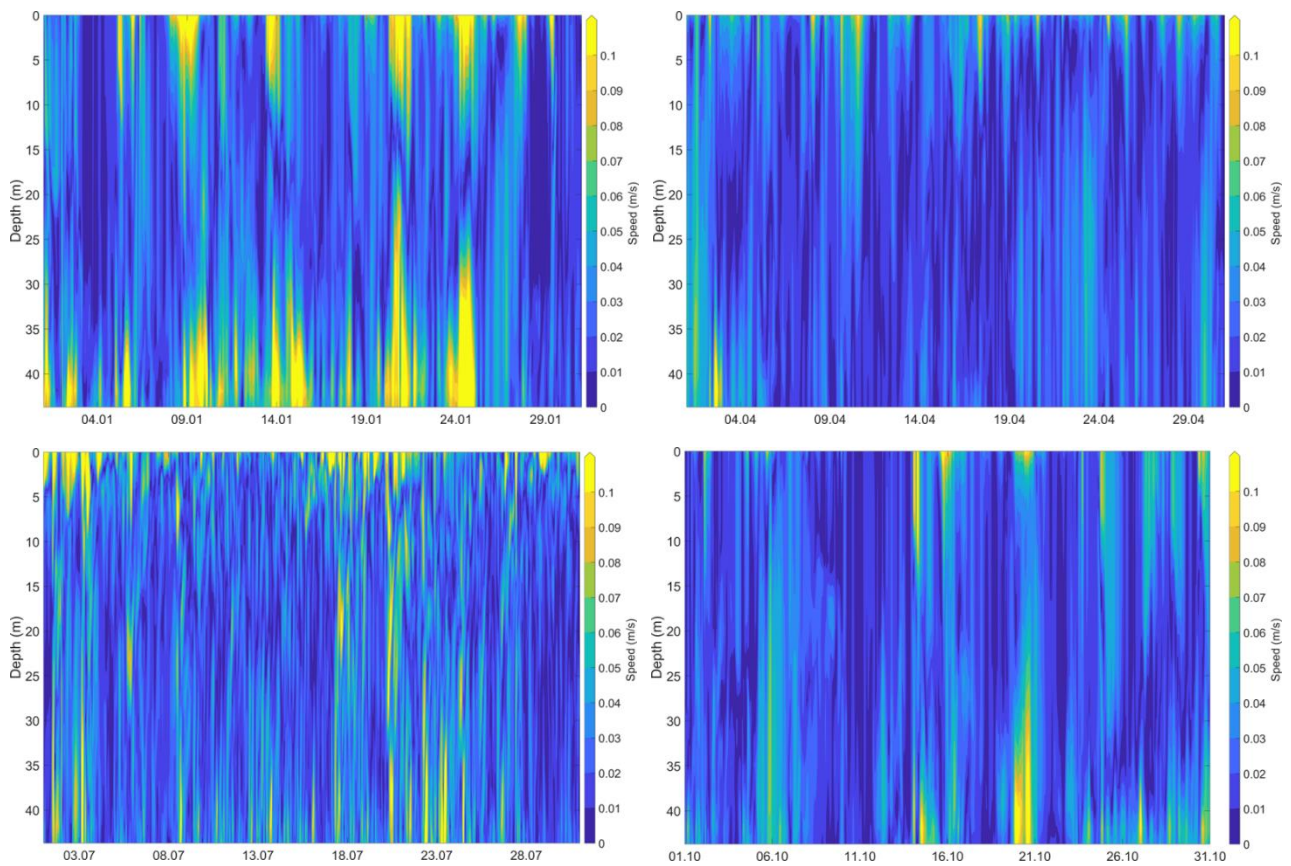
3 Resultater

3.1 Strøm og sirkulasjon i Kjøllefjorden

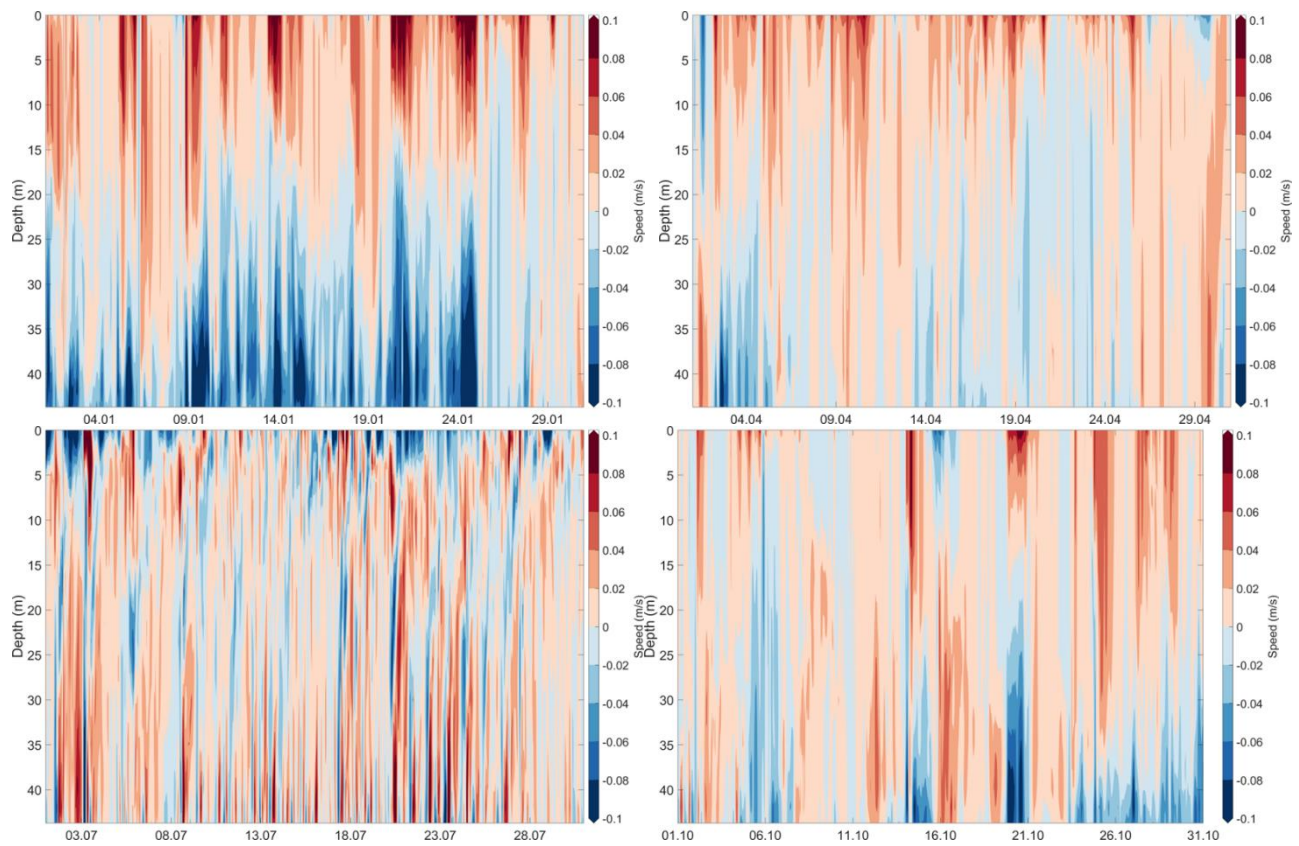
Sirkulasjonen i Kjøllefjorden er kompleks. Dette er illustrert ved å se på strømforholdene i utvalgt punkt rett ved moloutbyggingen (Figur 5). Strømbildet her er også en indikator for hvordan finpartiklene fra tiltaket initielt spres. Det er betydelige variasjoner i strømfart og retning (Figur 6-Figur 8) relatert til variasjon i pådriv som bl.a. vind, ferskvannsavrenning, tidevann og trykkgradienter fjord-kyst. Det er variasjoner både på kort (timer) og lang (sesong) tidsskala og strømmen går i ulike retninger på forskjellige dyp. Nær tiltaket er hovedbildet at det er hyppigst strøm inn fjorden mot havnebassenget nær overflaten og noe jevnere retningsfordeling dypere ned, men sterkest strøm ut fjorden i dypet. Det oppstår en del virvler i fjorden og strømbildet på et og samme dyp ulike steder i fjorden kan også være ganske inhomogent (Figur 9).



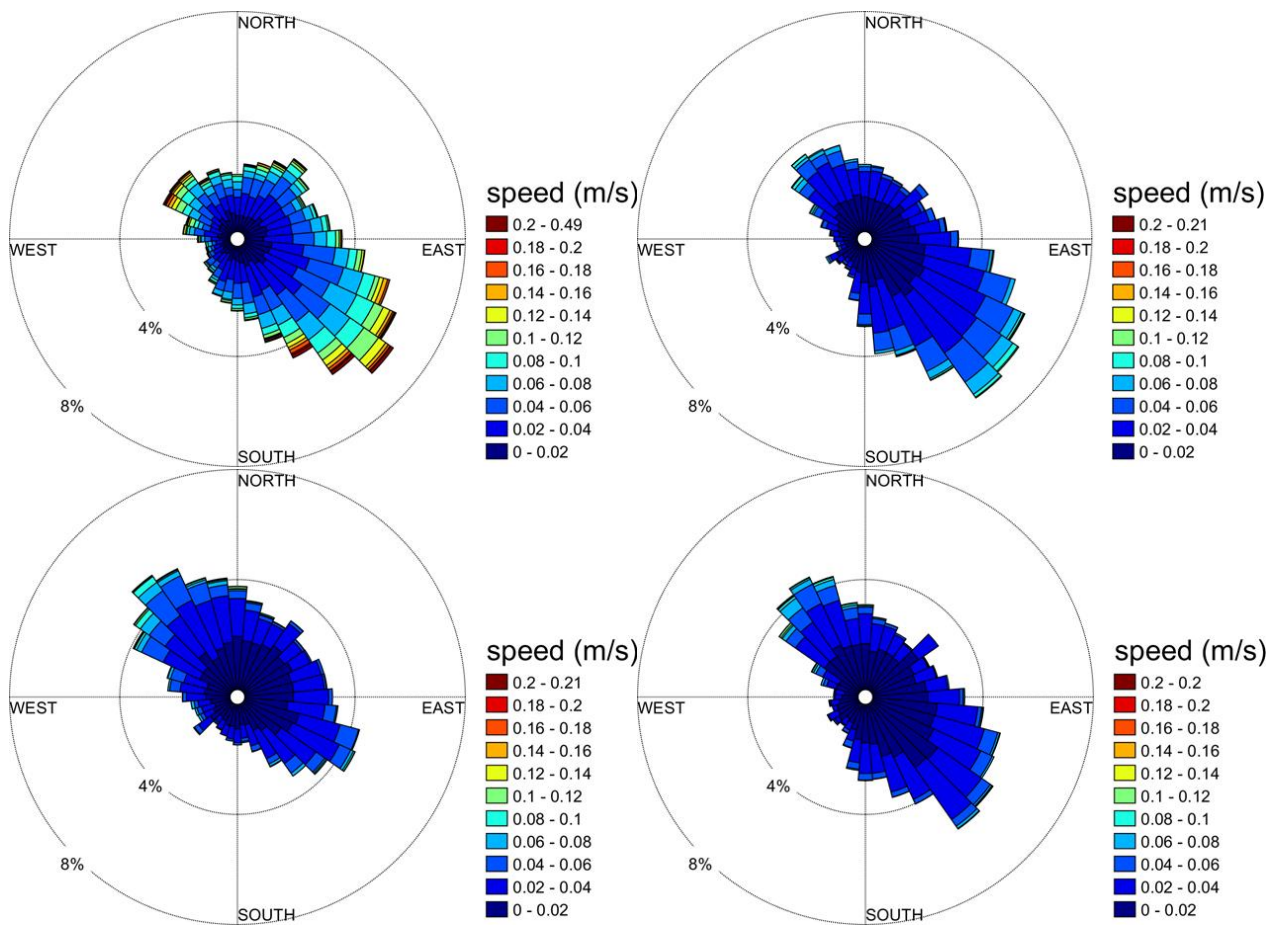
Figur 5: Kart med kystlinjer og bunntopografi i NorFjords160 i Kjøllefjorden. Rød prikk angir punkt i modell hvor strømforholdene er belyst i Figur 6-Figur 8.



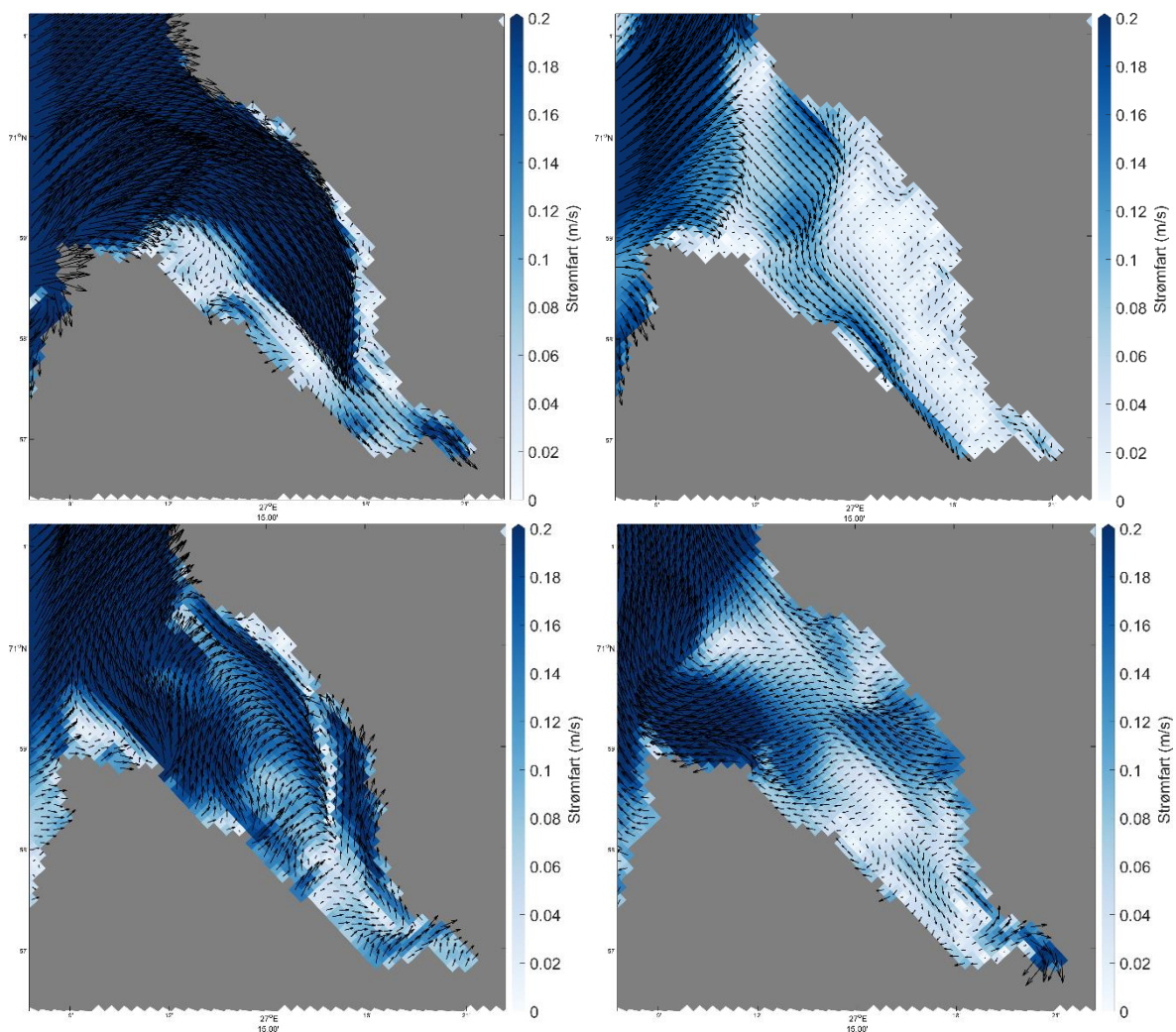
Figur 6: Strømfart for utvalgte måneder i punkt vist i Figur 5. Basert på timesdata fra NorFjords160 for 2023. Vertikal akse viser vanddybde, horisontal akse tid og fargene viser strømhastighet.



Figur 7: Strømkomponent i øst-vest retning i punkt vist i Figur 5. Positive verdier betyr strøm mot øst. Basert på timesdata fra NorFjords160 for 2023.



Figur 8: Strømroser (strømfart, retning og prosentvis andel av tiden for 10° intervaller) basert på timesverdier i 2023 fra NorFjords160 ved punkt vist i Figur 5. Øverst venstre: Overflaten. Øverst høyre: 10 m dyp. Nederst venstre: 20 m dyp. Nederst høyre: 30 m dyp.



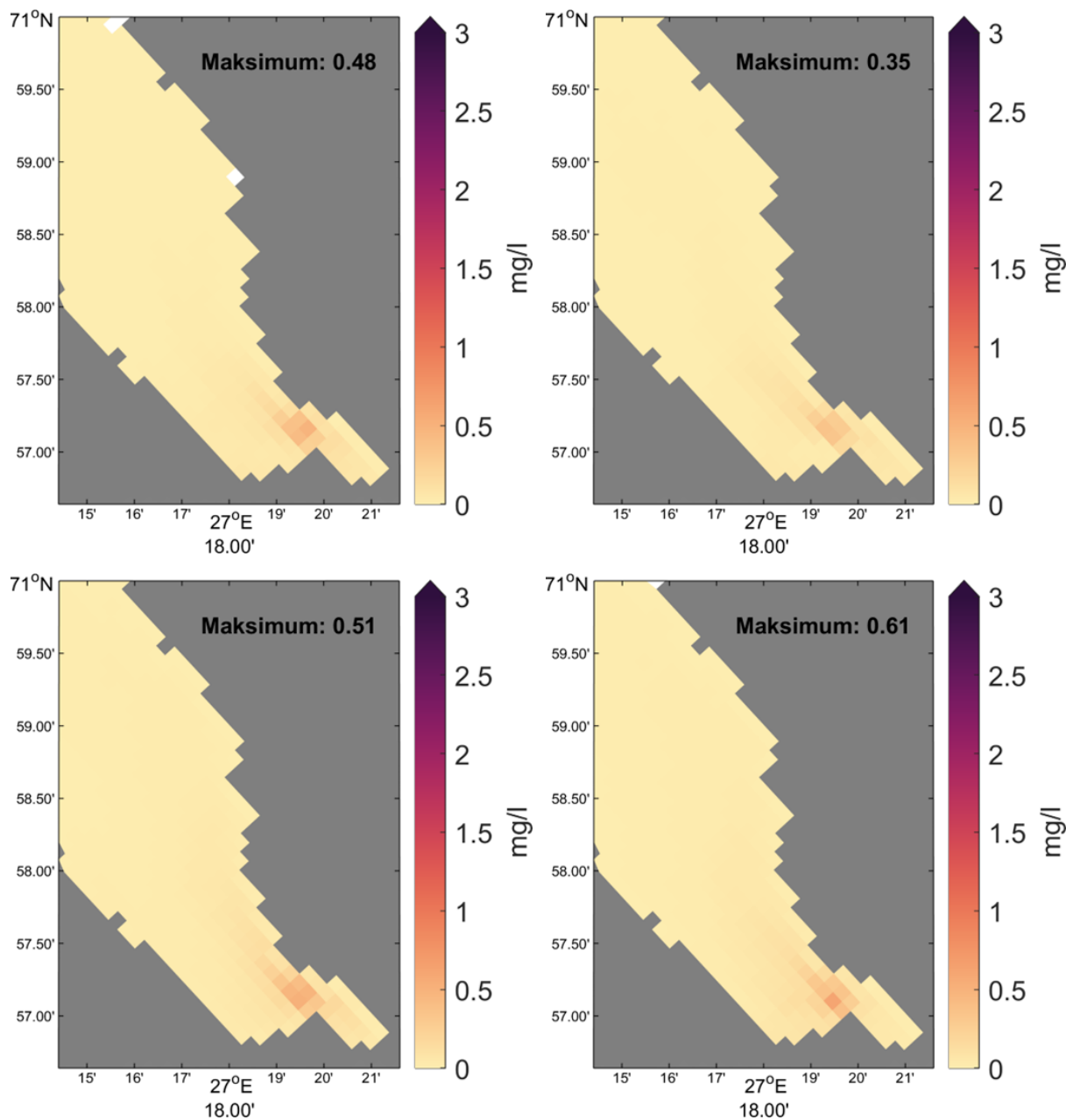
Figur 9: Øyeblikksbilder av strøm i overflaten. Pilene viser strømrretning og pilenes lengde samt bakgrunnsfarge strømfart. Øverst venstre: 3. juni 2023 kl. 22. Øverst høyre: 9. juni 2023 kl. 18. Nederst venstre: 12. juni 2023 kl. 6. Nederst høyre: 30. juni 2023 kl. 15.

3.2 Tildeckingsmasser

Figur 10 viser suspenderte partikler i vannsøylen i indre del av Kjøllefjorden som følge av tiltak til ulike tidsrom (deler av året). I mesteparten av indre del av fjorden er bidraget fra tiltaket mindre enn typiske bakgrunns-konsentrasjoner i kystvann som typisk er 0,5-1 mg/l. Med så lavt bidrag og avtagende konsentrasjoner videre utover i fjorden (ikke vist) forventes ikke tiltaket å ha negativ innvirkning på naturverdiene (tareskog og skjellsand) i ytre del av fjorden. Kart av tykkelse på lag som sedimenterer er derfor ikke vist. I indre del av fjorden er det ikke spesielle naturverdier og mulige utfordringer fra finpartikler der vil først og fremst være knyttet til påvirkning på fisk (kap. 1.2) og spesielt egg og larver i gyteperiodene.

Figur 10 viser at tiltaket medfører noe forhøyning av konsentrasjoner i og nær (inntil ca. 1 km unna) tiltaksområdet. Men konsentrasjonene er godt under grenseverdi på 3 mg/l (kap. 1.2) for effekter på egg og larver, også for simuleringsperiodene (februar, og mars) som faller innenfor gyteperioden. Det er noe forskjeller i konsentrasjons-nivåer ved tiltak ulike deler av året, men de er overordnet små. Årsaken til relativt beskjedne økninger i partikkelkonsentrasjoner for dette tiltaket er at utslippet skjer nær sjøbunnen og

mesteparten av partiklene sedimenter derfor raskt og nært tiltaksområdet. Det er også relativt moderate mengder masse som deponeres i dette tiltaket (Tabell 3).



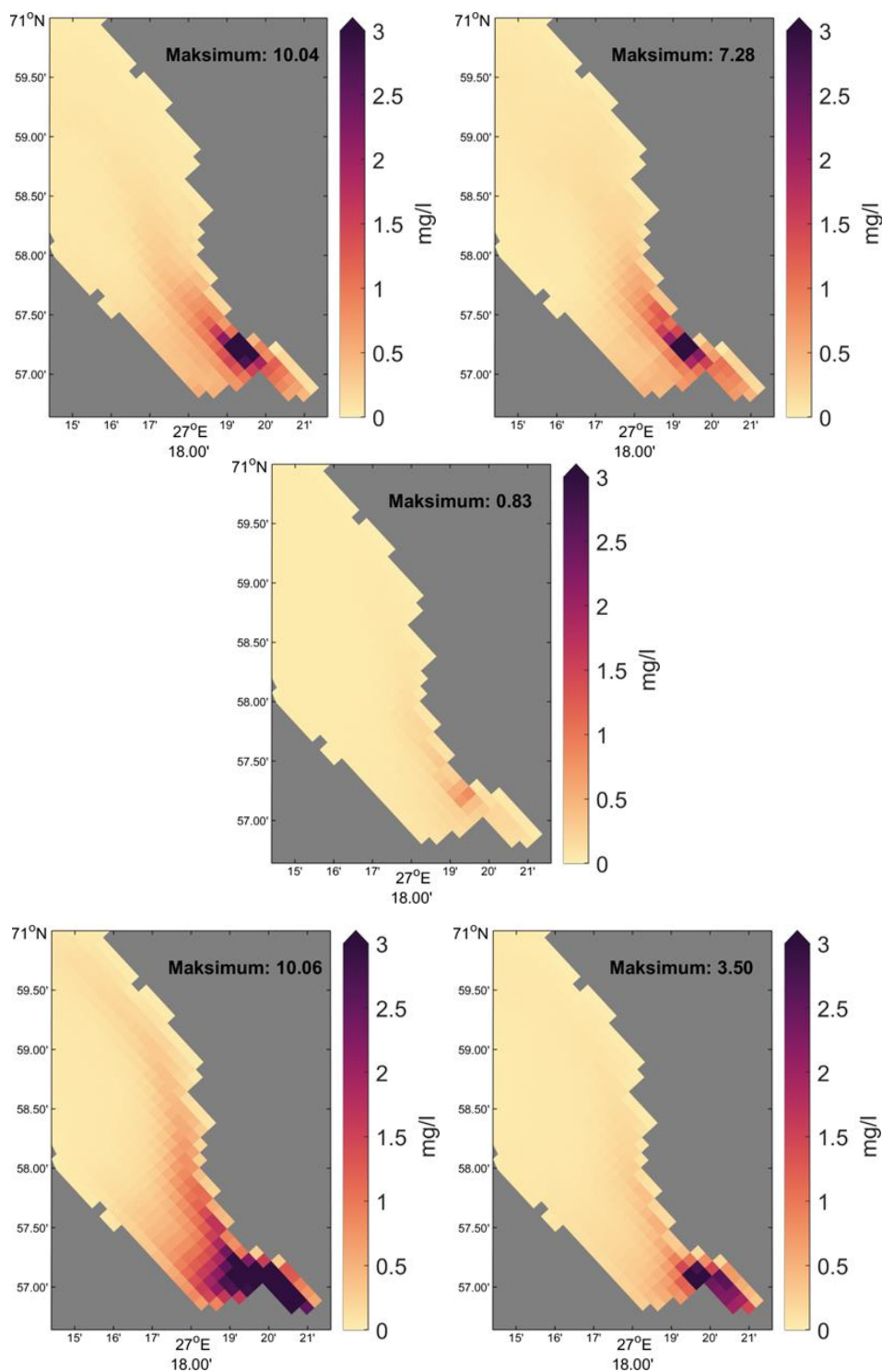
Figur 10: Partikkelspredning fra utlegging av tildekkingsmasser. Middelkonsentrasjoner av suspenderte partikler i vannsøylen i gridceller på 160 m x 160 m. Øverst venstre: 1.-15. feb. 2023 kl. 22. Øverst høyre: 1.-15. mar. 2023. Nederst venstre: 1.-15. jun. 2023. Nederst høyre: 1.-15. sep. 2023.

3.3 Utfyllingsmasser

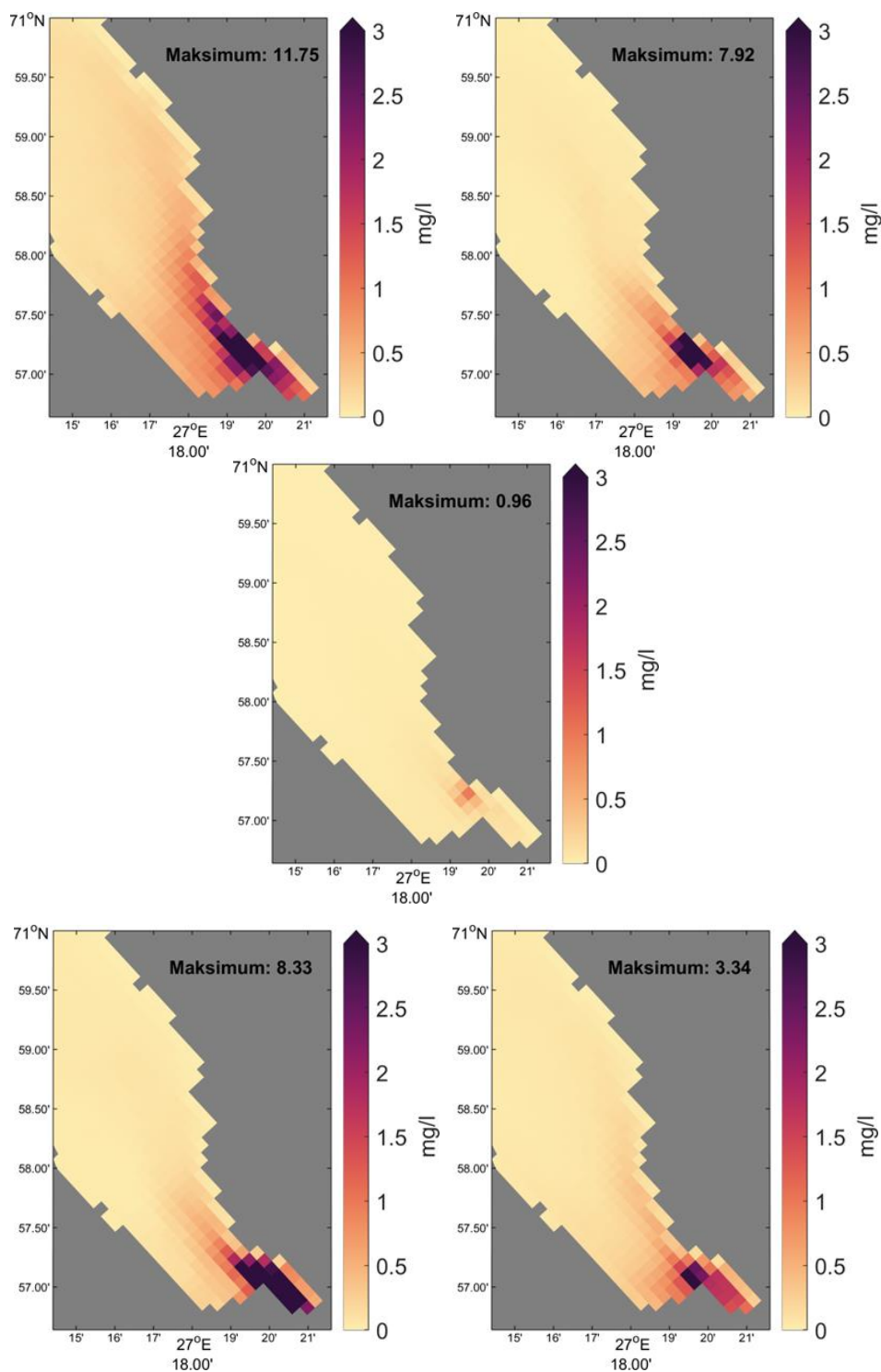
Figur 11 og Figur 12 viser partikkelspredning ved utfylling for etablering av moloer for framdrift som angitt i hhv. alternativ A og B i *Tabell 4*. Også for disse tiltakene forventes minimal påvirkning på viktige naturverdier (tareskog, skjellsand) i ytre del av fjorden (tareskog og skjellsand) da partikkelbidraget fra tiltakene i ytre del avtar til typisk bakgrunnsnivå (0,5-1 mg/l) og til dels godt under dette. I og nær (inntil 1 km unna) tiltaksområdene overskrides grenseverdien på 3 mg/l for påvirkning på fiskeegg og -larver for noen av utfyllingsstegene. Dette skjer i en liten og begrenset del av fjorden, i korte del-perioder, og gitt at det er brukt et konservativt oppsett som trolig overestimerer omfang vurderes mulige konsekvenser i gyteperioden til å være beskjedne.

Ved å sammenligne konsentrasjons-nivåene for samme utfyllingssteg i *Figur 11* og *Figur 12* ser man at tiltak i ulike deler av året gir noen forskjeller. Dette skyldes de varierende sirkulasjonsmønstrene i fjorden diskutert i kap. 3.1. Det er imidlertid ikke store fundamentale forskjeller for de to tidsperiodene brukt i dette studiet (*Tabell 4*).

Det er imidlertid betydelige forskjeller i konsentrasjons-nivåene til suspenderte partikler mellom de ulike utfyllingsstegene. Dette skyldes forskjeller i anleggstid og mengde utfyllingsmasse. Utfylling av de øvre utfyllingslagene som omfatter relativt lite masse og også strekker seg over lengre tid enn øvrige utfyllingssteg (*Tabell 4*) gir betydelig lavere konsentrasjoner (*Figur 11* og *Figur 12*). Det er utfyllingen av nederste lag i molo sør som gir konsentrasjoner over 3 mg/l over størst område. Molo sør etableres i et område som er noe grunnere enn molo nord og hvor det er noe mer transport inn mot indre havnebasseng som kjennetegnes av litt mindre effektiv vannutskiftning. Samlet sett gir dette noe mer akkumulering og mindre spredning og fortynning.



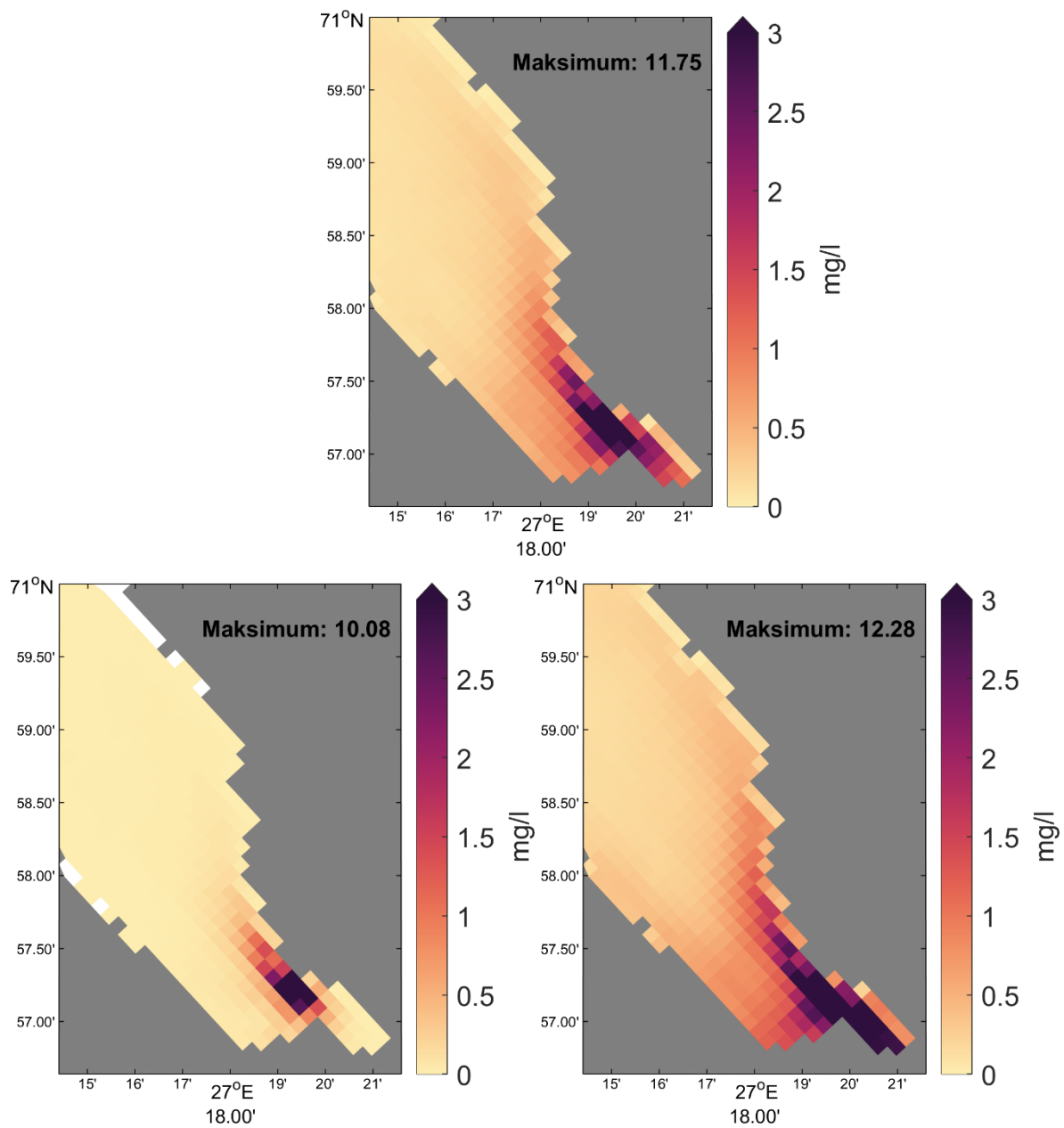
Figur 11: Partikkelspredning ved utfylling for etablering av moloer. Middelkonsentrasjoner av suspenderte partikler i vannsøylen i gridceller på 160 m x 160 m for framdrift som angitt i alternativ A (Tabell 4). Øverst: Molo nord, utfyllingslag 1 (venstre) og utfyllingslag 2 (høyre). Midten: Molo nord (utfyllingslag 3). Nederst Molo sør, utfyllingslag 4 (venstre) og utfyllingslag 5 (høyre).



Figur 12: Partikkelspredning ved utfylling for etablering av moloer. Middelkonsentrasjoner av suspenderte partikler i vannsøylen i gridceller på 160 m x 160 m for framdrift som angitt i alternativ B (Tabell 4). Øverst: Molo nord, utfyllingslag 1 (venstre) og utfyllingslag 2 (høyre). Midten: Molo nord (utfyllingslag 3). Nederst Molo sør, utfyllingslag 4 (venstre) og utfyllingslag 5 (høyre).

3.4 Sensitivitetsstudie usikkerheter

Synkehastigheten er en av de mest usikre inngangsparameterne i modellberegningene. *Figur 13* viser spredningskart for del 1 av utfylling molo nord sammenlignet med simuleringer der synkehastigheten er redusert og økt med en faktor 5. Med lavere synkehastighet blir det mindre sedimentering og flere partikler i vannsøylen som også spres over et større område sammenlignet med basis simuleringen. Med høy synkehastighet er det motsatt. Forskjellene er imidlertid små-moderate i forhold til basis-simuleringen. Også i sensitivitetsstudiene er det i og nært tiltaksområdet man finner klart størst mengder suspenderte og sedimenterte partikler. Samlet sett er forskjellene såpass små at hoved-konklusjonene relatert til påvirkning på naturverdier og marint miljø ikke endres ved bruk av andre synkehastigheter.



Figur 13: Partikkelspredning ved utfyllingssteg 1, alternativ B (Tabell 4) ved etablering av molo nord. Middelkonsentrasjoner av suspenderte partikler i vannsøylen i gridceller på 160 m x 160 m. Øverst: Basis-simulering. Nederst venstre: Synkehastighet økt med faktor 5. Nederst høyre: Synkehastighet redusert med faktor 5.

4 Diskusjon

For utfylling er det stort sett konsentrasjoner under 3 mg/l med unntak av i og nær tiltaksområdene. I og med konservativt oppsett er det lite som tyder på omfattende negativ påvirkning i gyteperioden. Samlet sett er det liten risiko for omfattende uønskede effekter på flora og fauna. Sensitivitetsstudier på partiklenes synkehastighet, som er en av de mest usikre faktorene i beregningene endrer ikke dette bildet.

Detaljene rundt tiltaket og utfyllingsmasser, deponerings- og sprengningsmetoder, tidsrom og utslippsfrekvens m.m. er imidlertid ikke endelig avklart. Det er også viktig å påpeke at det ikke er lagt til grunn avbøtende tiltak mot partikkelspredning i modelleringen. Inngangs-parametere brukt i modellsimuleringene bygger på sannsynlige egenskaper til utfyllings- og tildekkingsmassene og erfaringer og målinger fra tidligere operasjoner og tiltak. Ved realisering av prosjektet kan styrende faktorer bli annerledes enn det som ligger til grunn i basis- og sensitivitetsstudiene gjort her.

5 Referanser

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

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.

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>).

ITA, 2019. *Handling, treatment and disposal of tunnel spoil materials. International tunnelling and underground space association. Working groups 14 and 15 Underground construction and the environment and mechanized tunnelling*, ISBN: 978-2-9701242-0-7: Report no 21/April 2019.

NGI, Statens vegvesen, Oslo Kommune, 2020. *TBM-KAKS – KARAKTERISERING OG POTENSIALE FOR NYTTIGGJØRING, PÅ LAND OG I SJØ, FJELLSPRENGNINGSTEKNIKK BERGMETANIKK/ GEOTEKNIKK 2020*: Norsk forening for fjellsprengningsteknikk.

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

NGI, 2024. *Kunnskapsinnhenting - utfylling av sprengstein i sjø og vassdrag*, Dok. nr.: 20240332-01-R.

NIVA, 1995. *Igangkjøring av Hekni kraftverk. 1. Konsekvensanalyse av partikkelforurensing*, Rapportnr: ISBN82-577-2722-9.

NIVA, 2001. *Tunnel på RV 13 mellom Ivarsflaten og Djupvik. Konsekvenser av utfylling av sprengstein langs Suldalsvannet*, Rapportnr.: LNR 4220-2001.

NIVA, 2005. *Beregning av muligheten for oppvirling 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, 2020b. *Sedimentundersøkelse - Datarapport. Kjøllefjord havn*, dok.nr: 5140677-RIM01.

Norconsult, 2020. *Utfylling og mudring i sjø. Miljøteknisk vurdering. Kjøllefjord havn*, dok.nr.: 5140677-D01.

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

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

Norconsult, 2023a. *E39 Rogfast E03. Miljøriskovurdering 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.

Norconsult, 2024. *Strømmodellering og partikkelspredning - Kjøllefjord fiskerihavn*, dok.nr.: 52406379.

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.

Strømme, 1986. *Vetlefjordutbyggingen - Mel kraftverk. Massetransport i Vetlefjordelvi med og uten deponering av tippmasser nedenfor Nedre Svartevassvatnet. Rapport Strømme Rådgivende Ingeniører*, 19s: Strømme Rådgivende Ingeniører.

Ådlandsvik, B., 2019. *LADiM documentation*. [Internett]
Available at: <https://ladim.readthedocs.io>
[Funnet 25 juni 2022].