

Spredning av finpartikulært gruveavgangsmasse i Førdefjorden

Notat, august 2023.

Lars Asplin og Pål N. Sævik,
Havforskningsinstituttet.

Bakgrunn

Forskere ved Havforskningsinstituttet er i ferd med å ferdigstille et vitenskapelig arbeid som undersøker spredning av finpartikulært materiale fra avgangsmassene i Førdefjorden knyttet til den planlagte gruveindustrien. Utgangspunktet er vår kritikk av konsekvensutredningene knyttet til gruvedrift og sjødeponi i Førdefjorden og den avgrensningen i undersøkelsen av partikkelspredning der ingen partikler med diameter mindre enn 15 μm er inkludert (Appendiks 4: Vurdering av flokkuleringseffekten og tilpasning i DREAM, DNV GL rapport 2014-1244, Rev A). Vi fant at argumentene for denne avgrensningen ikke er veldig tydelige, og forstår ikke (fra et vitenskapelig synspunkt) hvorfor spredningen av disse partiklene ikke skal beregnes.

Det er verdt å merke seg at vi mener (fortsatt) at arbeidet som er gjort i forhold til strømmodellering og partikkelspredning i konsekvensutredningen holder en tilfredsstillende kvalitet, og vi forventer at metodikken brukt i konsekvensutredningen (av SINTEF og DNV GL) vil kunne gjenskape de resultatene for spredning av finpartikulært materiale som vi vil presentere under.

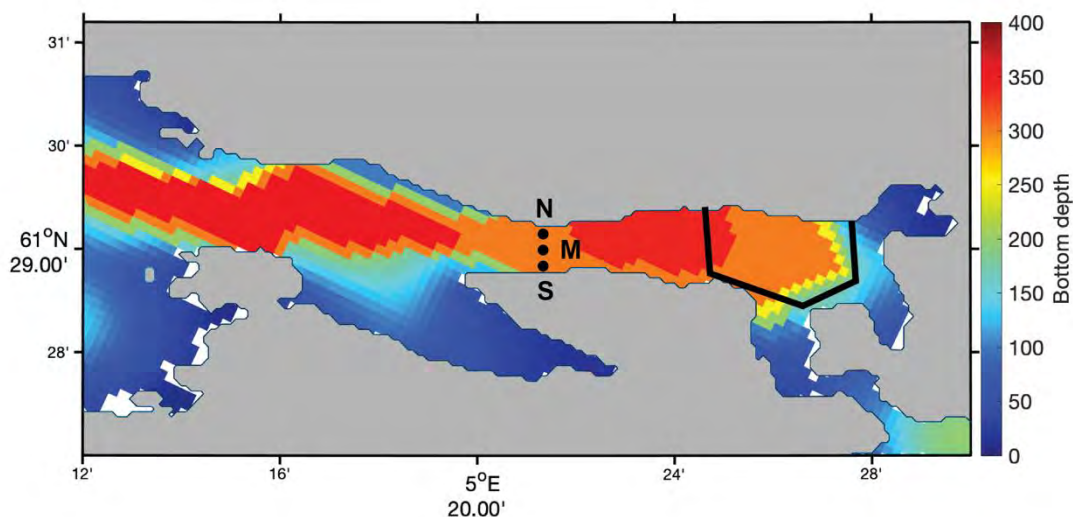
Dette notatet er å regne som en kunnskapsoppsummering og ikke et offisielt råd fra Havforskningsinstituttet. Notatet inneholder materiale som vil bli sendt for publisering i et vitenskapelig tidsskrift når det er ferdig bearbeidet.

Strømobservasjoner

Det ble gjennomført en rekke strømobservasjoner av DNV GL i tilknytning til konsekvensutredningen for sjødeponeringen av avgangsmassene. Vi finner disse å være gode selv om vi kritiserte i noen grad framstillingen av resultatene (strøm har mer enn en komponent: Fart og retning, og det ble stort sett fokusert på fart. Det var også mye fokus på lengre tids middelerverdier, måned, som ikke er så interessant i fjorder der prosesser av timer til dagers varighet er styrende. Referansene til kunnskapsstatus om fjorddynamikk var dessuten veldig gamle/delvis avlegs eller fraværende). Det største ankepunktet vårt er derimot at disse strømmålingsresultatene ikke er generelt tilgjengelig for forskning og utvikling. Det framstår som uforståelig og i strid med et ønske om å gjennomføre en kunnskapsbasert prosess.

Nytten av observert strøm er først og fremst å skaffe en indikativ beskrivelse av de fysiske forholdene. Det skyldes at en (av økonomiske grunner) bare kan ha et begrenset antall målepunkt i rom. Denne beskrivelsen av strømmen er likevel svært verdifull for å gi legitimitet til strømmodellresultater. Dersom strømmodellen gjenskaper i tilstrekkelig grad den observerte strømmen, kan vi ha tillit til at modellresultatene har generell gyldighet. Den observerte strømmen brukes altså ikke til å kjøre strømmodellen, og resultatene fra observasjonene representerer en uavhengig beskrivelse av forholdene på samme måte som modellresultatene også gjør det.

Havforskningsinstituttet gjennomfører årlig ca. 10 tokt i kystområdene på Vestlandet der det fysiske miljøet måles og undersøkes. Vi fant det derfor opportunt å gjennomføre egne strømmålinger i Førdefjorden som et ledd i våre generelle undersøkelser. Observasjonene ble gjennomført med profilerende strømmålere i tre posisjoner på tvers av fjorden noen kilometer utenfor det foreslåtte deponiområdet ved Vevring (Figur 1) for perioden februar-mai 2022. Metoden for strømobservasjonene og instrumenteringen var av samme kvalitet som for konsekvensutredningen.



Figur 1. Posisjonene til strømobservasjonene (N, M og S) som ble gjennomført i perioden februar-mai 2022. Den tykke sorte linjen indikerer området som er regulert til sjødeponi.

Strømmodellering

Havforskningsinstituttet opererer et strømmodellsystem som dekker Norskekysten med ulik romlig oppløsning (<https://www.hi.no/hi/temasider/hav-og-kyst/modeller>). Resultatene brukes i stor grad i instituttets arbeid knyttet til rådgivning, og spesielt i forbindelse med miljøvirkninger av akvakultur. Instituttet legger stor vekt på å kvalitetssikre resultatene.

Modellsystemene for strøm anvendes i et samarbeid med Meteorologisk institutt, der NorKyst med 800 m gitteroppløsning horisontalt er «arbeidshesten» med daglige prognoser 3 døgn fram i tid (<https://thredds.met.no/thredds/fou-hi/norkyst800v2.html>).

Datapolitikken ved Havforskningsinstituttet og Meteorologisk institutt er slik at alle våre resultater er fritt tilgjengelig. Det medfører at mer enn 30 eksterne brukere (f.eks. konsulentfirmaer eller undervisningsinstitusjoner) i dag jevnlig overfører resultater fra våre modellsimuleringer for bruk i sitt arbeid. Virksomhetene har derfor tilgang på resultater av god kvalitet til en uslåelig pris (gratis), og tilbakemeldingene vi får er gode.

I Førdefjorden har vi simulert strøm i tre dimensjoner med et 160 m ganger 160 m horisontalt rutenett og med 35 vertikale terrengfølgende koordinater for perioden 1. juli 2021 til 1. juli 2022 med resultater lagret hver time.

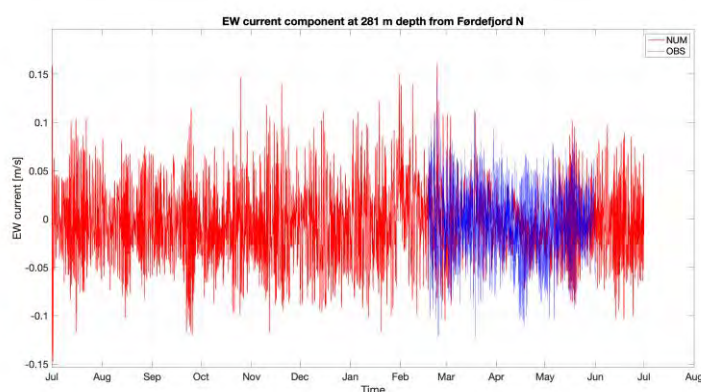
Partikkelspredningsmodell

Vi anvender partikkelspredningsmodellen LADIM (<https://github.com/bjornaa/ladim1>) til å spre gruvepartiklene basert på strømmen som er beregnet med strømmodellen. LADIM er i bruk i en lang rekke studier ved Havforskningsinstituttet, for eksempel til spredning av lakselus. Vi bruker også LADIM til å beregne spredning av utslipp av partikulært materiale fra oppdrettsanlegg, og denne problemstillingen er nokså lik spredning av gruvepartikler.

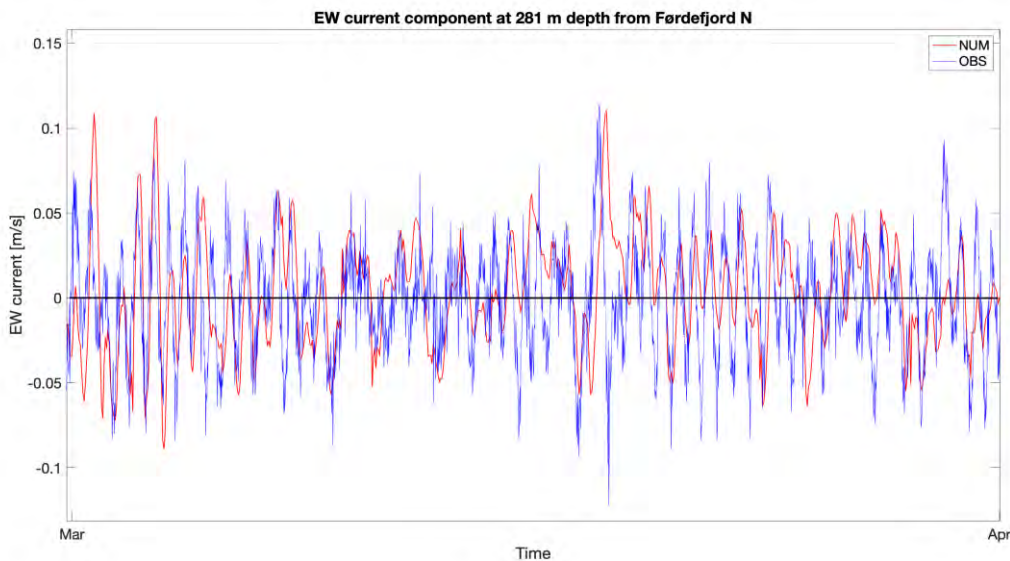
Strømmodellresultatvalidering

For å ha tillit til at strømmodellresultatene gjenskaper en naturlig situasjon og kan brukes til å spre partikulært materiale, er det nødvendig at modellert og observert strøm sammenfaller i tilstrekkelig grad. Det vil ikke være nødvendig at strømmodellen gjenskaper observasjonen fullstendig, men det er viktig at modellresultatet beskriver et mulig naturlig tilfelle.

Ved sammenligning av strømmen i 281 m dyp, noe som er relevant for spredningen av partiklene fra gruve, finner vi nettopp at modellresultatet og observasjonen samsvarer (Figur 2 og 3). En kan også legge merke til at strømmen varierer fram og tilbake langs fjordaksen (øst-vest) med amplitude på mellom 0,05 og 0,1 m/s mens gjennomsnittsstrømmen er nokså nær null.



Figur 2. Tidsserier av observert (blå) og modellert (rød) øst-vest-komponent av strøm ved strømmålerposisjon N (Figur 1) og i 281 m dyp i Førdefjorden mellom juli 2022 og juli 2023. Positive verdier (retning mot øst) indikerer strøm inn Førdefjorden.



Figur 3. Tidsserier av observert (blå) og modellert (rød) øst-vest-komponent av strøm ved posisjon N og i 281 m dyp i Førdefjorden for mars måned 2023.

Partikkelspredning

Fra utslippstillatelsen for gruvedriften i Førdefjorden er det oppgitt et maksimalt årlig utslipp av avgangsmasse på 4 millioner tonn. Det er ikke sikkert at en så stor mengde vil slippes ut, men det er likevel grunn til å undersøke konsekvensen av den tillatte mengden.

Spredning av større og tyngre partikler er utførlig undersøkt i konsekvensutredningen, og disse større partiklene havner innenfor det vedtatte deponiområdet.

Vi har studert spredning av partikler med diameter mindre enn 15 μm . Etter Stokes lov vil disse ha en synkehastighet som er mindre enn ca. 10^{-4} m/s. I konsekvensutredningen oppgis det at avgangsmassene med partikkeldiameter mindre enn 15 μm vil utgjøre 10 % av totalmassen, men at flokkulering vil redusere denne mengden ved at små partikler danner større. Både flokkulering ved hjelp av tilsatt kjemiske stoffer samt naturlig flokkulering bidrar til dette. Det er uvisst hvor effektivt kjemisk flokkulering vil være, da den nye metoden som er tenkt brukt ikke ser ut til å være testet. Naturlig flokkulering er mest effektiv for partikulært materiale som inneholder leire, dvs. slike som finnes i store elver etc. Dette siden disse vil ha en elektrisk ladning som gjør at partikler som kolliderer festes til hverandre. Det meste av vitenskapelig litteratur om flokkulering synes å handle om slike partikler, og disse er typisk mindre enn 2 μm . For oppmalt gruveavfall vil ikke andelen leire være relevant, og det er usikkert hvordan denne effekten av ladete partikler vil være. Kanskje vil naturlig flokkulering være mye mindre effektiv enn hva som er lagt til grunn?

I våre resultater tar vi utgangspunkt i at flokkuleringsprosessen ikke er fullstendig og at 1% av den totale avgangsmassen fortsatt vil være partikler med diameter mindre enn 15 μm . Dette må regnes som et konservativt anslag, og vi vil også vise noen resultater med høyere andel finfraksjon.

I simuleringene benytter vi strøm fra strømmodellen basert på verdier time for time i rutenettet med areal 160 m ganger 160 m og med 35 vertikale lag. Partiklene forflyttes horisontalt og synker vertikalt med en liten tilfeldig forflytning i alle retninger for å inkludere

småskala bevegelse. Utslippspunktet er utenfor Vevring omtrent der det er planlagt utslipp fra gruvedriften og utslippsdypet er 280 m (tilsvarende utslippsdyp ved oppstart). Synkehastigheten for partiklene er 10^{-4} m/s. Det slippes en partikkel hvert minutt, og denne representerer en slags «super-partikkel» med vekt skalert i forhold til den totale utslippsmengden.

Spredningsforholdene endel år ut i gruvedriften når utslippet er høyere i vannmassen, og dermed kanskje med større spredning, undersøkes for tiden i et master-arbeid som skal leveres 1. oktober i år.

Revidert utslippstillatelse har fortsatt øvre grense for årlig utslipp lik 4 millioner tonn. Kravene til maksimal sedimentering og konsentrasjoner i vannmassene er også det samme:

9.4.2 Krav som gjelder for driftsfasen - sjødeponi

Sjødeponiet anlegges på sjøbunnen utenfor Engjabøneset. Deponiet skal maksimalt nå opp til 220 meters vanddyb.

Det kan deponeres maksimalt 170 millioner tonn avgangsmasser i deponiet.

Grenseverdier for konsentrasjoner og sedimentering av partikler i området regulert til sjødeponi, inkludert naturlig bakgrunnsnivå:

- Konsentrasjonen av partikler i vannmassene skal være maksimalt 2 mg/l høyere enn 40 meter over utslippspunkt for avgangsmassene.
- Konsentrasjonen av partikler i vannmassene skal være maksimalt 3 mg/l ved grensen for det regulerte deponiområdet.
- Sedimentering av partikler på fjordbunnen skal utgjøre maksimalt 3 mm per år ved grensen for det regulerte deponiområdet.

Konsentrasjonene skal overvåkes kontinuerlig.

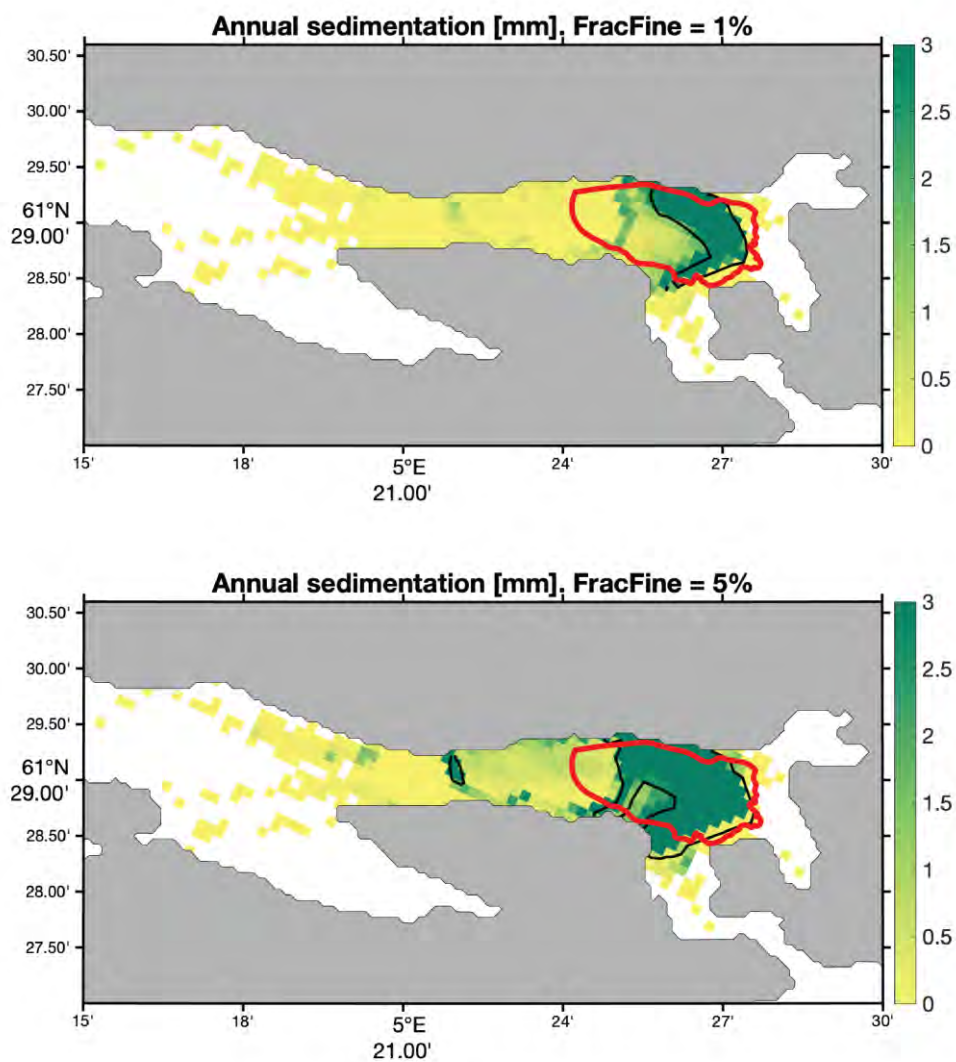
Dersom konsentrasjonskravene i vannmassene overskrides skal deponeringen stoppes inntil videre. Videre deponering skal ikke skje før årsak til overskridelsene er avklart og behandlet.

Sedimentering skal ikke overskride 3 mm/år utenfor deponiområdet, konsentrasjonen i vannmassene 40 m over utslippspunktet (i våre simuleringer grunnere enn 240 m dyp) skal være mindre enn 2 mg/l og konsentrasjonen utenfor deponiområdet skal maksimalt være 3 mg/l i hele vannsøylen.

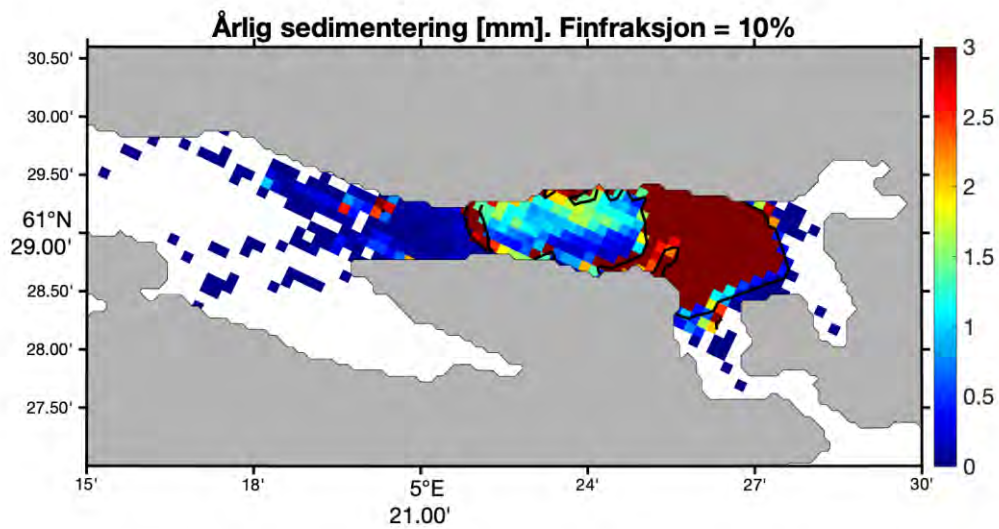
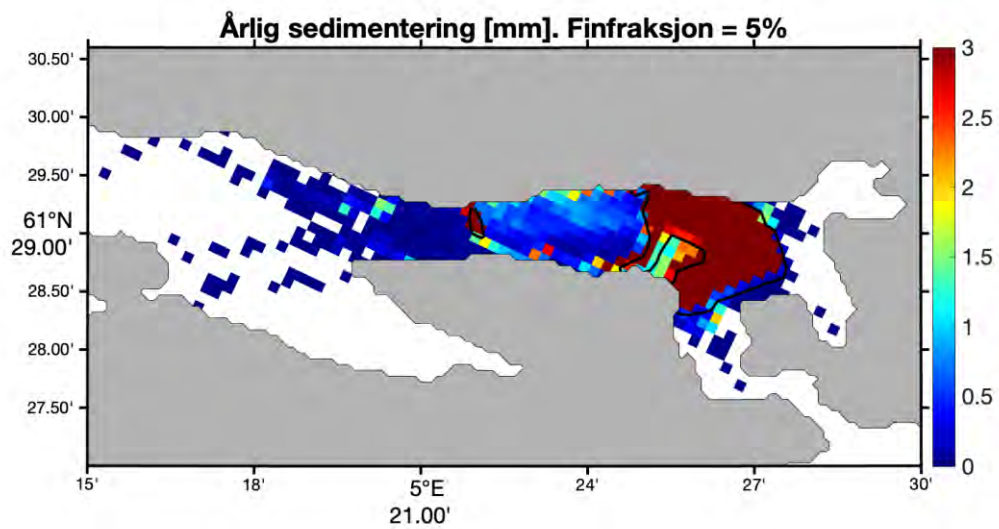
Det kreves at konsentrasjonene skal overvåkes kontinuerlig, og at ved overskridelse skal deponeringen stoppes. Det er uklart hvor lenge konsentrasjonsoverskridelsen skal vare før deponeringen skal stoppes, og heller ikke i hvor store områder. Overvåkningen er også svært utfordrende siden fordelingen av finfraksjon vil være flekkvis med stor variabilitet i tid og rom slik all planktonisk materiale i havet fordeles.

Resultater for sedimentering

Ved 1 % finfraksjon og utlipp i 280 m dyp, vil ikke dette kravet overskrides i henhold til våre simuleringer. For 5 % finfraksjon vil det sedimenteres mer enn 3 mm/år i et mindre område utover i fjorden (Figur 4). Økes andelen finfraksjon til 10 % (noe som kanskje ikke er totalt utenkelig) vil årlig sedimentering overskride grensen flere steder utenfor deponiområdet (Figur 5).



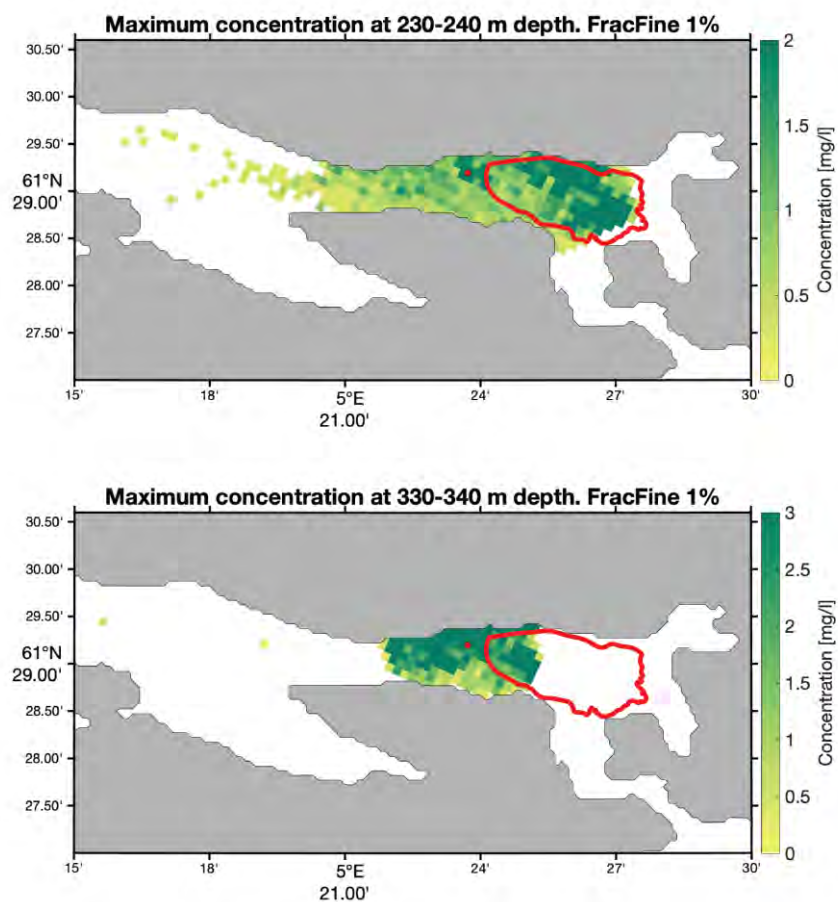
Figur 4. Årlig sedimentering ved utlipp i 280 m dyp og med 1 % (øverst) og 5 % (nederst) andel finfraksjon med synkehastighet 10^{-4} m/s.



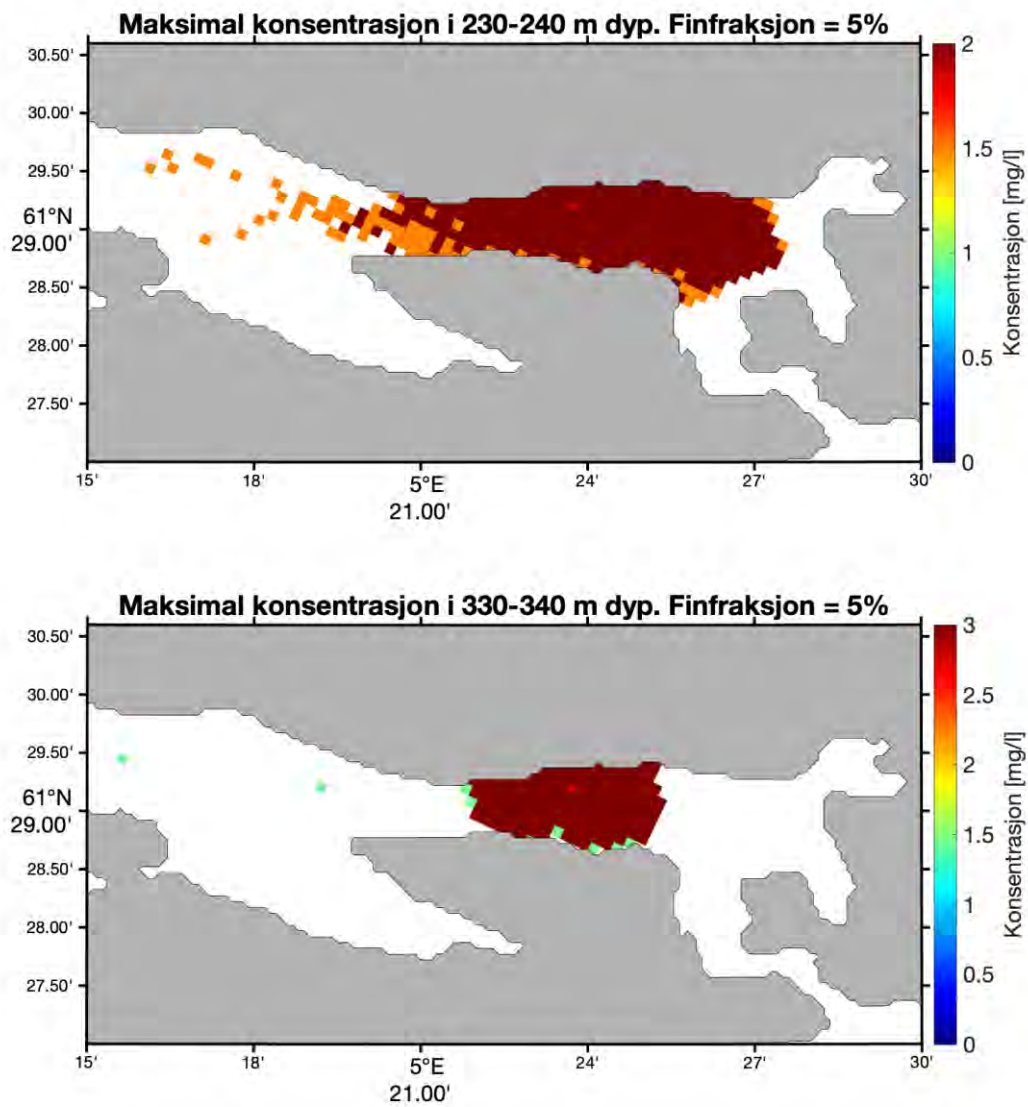
Figur 5. Årlig sedimentering ved utslipp i 280 m dyp og med 5 % (øverst) og 10 % (nederst) andel finfraksjon med synkehastighet 10^{-4} m/s.

Resultater for konsentrasjon av avgangsmasser i vannmassene

Kravet er en konsentrasjon mindre enn 2 mg/l i vannsøylen 40 m over utslippspunktet, eller 3 mg/l overalt utenfor deponiområdet. Disse kravene overskrides i flere tilfeller (flere døgn – resultatene er lagret som døgnverdier) i løpet av simuleringen (Figur 6). Med en andel av finfraksjon lik 5 % av totalen vil kravet overskrides i store områder (Figur 7).

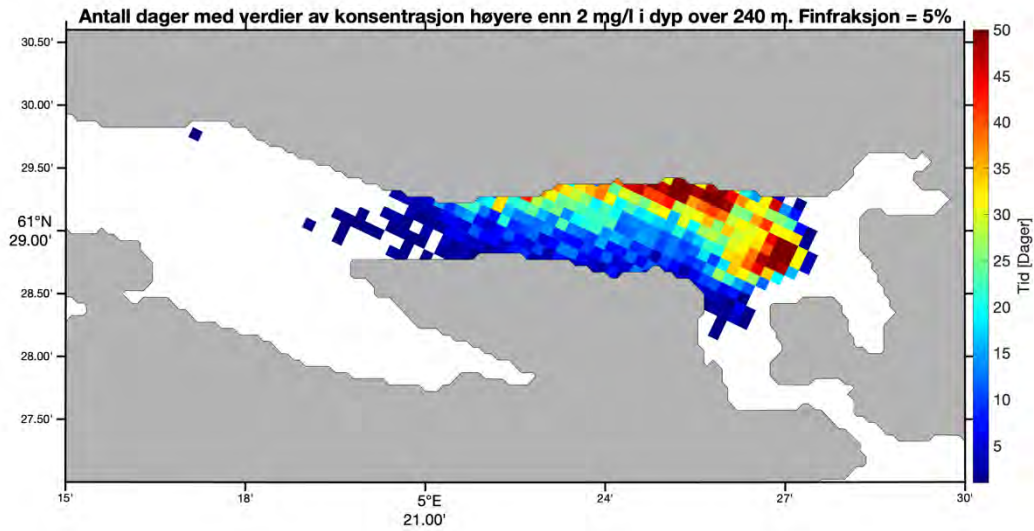


Figur 6. Maksimal forekommende konsentrasjon i laget mellom 230 og 240 m dyp (40 m over utslippspunktet) gjennom ett års spredningssimulering og andel finfraksjon lik 1 % (øverst) og i 330-340 m dyp (nær bunnen).



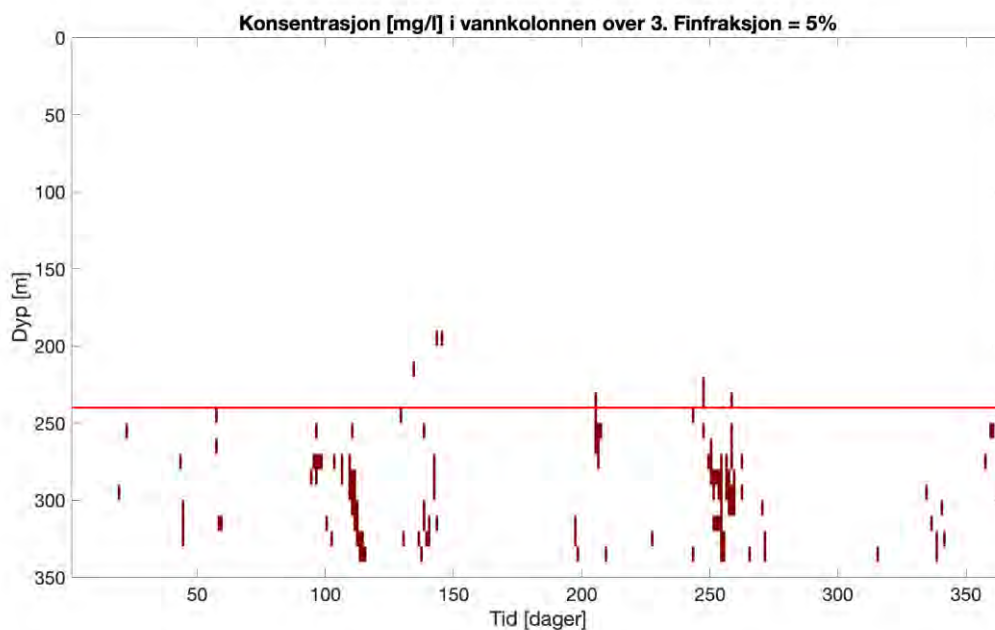
Figur 7. Maksimal forekommende konsentrasjon i laget mellom 230 og 240 m dyp (40 m over utslippspunktet) gjennom ett års spredningssimulering og andel finfraksjon lik 5 % (øverst) og i 330-340 m dyp (nær bunnen).

For en andel finfraksjon lik 5 % av totalen vil konsentrasjonen av partikler i vannmassene overskride 2 mg/l i mer enn 50 dager i deponiområdet for vannsøylen over 240 m (Figur 8).



Figur 8. Antall dager der konsentrasjon i vannmassen over 240 m dyp (40 m over utslippspunktet og grunnere) gjennom ett års spredningssimulering og med andel finfraksjon lik 5 % overskrider kravet på maksimalt 2 mg/l.

Ser vi på tidsutviklingen av konsentrasjonen i vannmassene for en kolonne (160 m ganger 160 m rute) i en posisjon like utenfor deponiområdet (rød prikk i Figur 6) finner vi at denne er episodisk med lange perioder uten partikler i det hele tatt, men også perioder der kravet om maksimalt 3 mg/l overskrides (Figur 9). Spesielt er det rundt 300 m dyp to lengre perioder der verdiene overskrides (rundt dag 100 og dag 250). Denne opphopningen henger sammen med strømfeltets dynamikk.



Figur 9. Konsentrasjon av gruvepartikler i vannsøylen over 3 mg/l gjennom den simulerte perioden for en lokalitet like utenfor deponiområdet (markert med en rød prikk i Figur 9). Den røde linjen viser utslippsdypet av partiklene. Andel finfraksjon er 5 %.

Fordelingen er typisk for finfraksjonen av gruvemassene og tilsvarer hvordan planktonisk materiale (frittsvevende/sakte utsynkende) i havet forøvrig fordeles (for eksempel lakselus). Dette gjør det veldig krevende å avgjøre med observasjoner om tillatelsen er overskredet.

Det er uklart hvordan de grenseverdiene som er satt framkommer, men det er sikkert gode grunner for de verdiene som er valgt. Det som er betenkelig er at finfraksjonen av gruveavfallet episodisk har konsentrasjoner og sedimentasjonsrater så nær disse grensene som er satt. Det er også uklart om denne finfraksjonen i det hele tatt finnes, men det er like gode argumenter for at den finnes (egentlig bedre) som at den ikke finnes (slik som konsekvensutredningen tar utgangspunkt i). Dette representerer en grad av tvil om tiltaket er bærekraftig i henhold til utslippstillatelsen, og det bør gjøres flere undersøkelser omkring hva som vil være faktisk partikkelfordeling av avgangsmassen der dagens kunnskapsgrunnlag framstår som ufullstendig. Også overvåkingen av de fastsatte grensene blir svært utfordrende og det er uklart om det i det hele tatt lar seg gjennomføre på en sikker måte.