

► Strømmodellering og partikkelspredning- Kjøllefjord fiskerihavn

Sammendrag/konklusjon

Det er planlagt utdypning, mudring or deponering av sedimenter ved Kjøllefjord fiskeri havn. I forbindelse med dette prosjektet er simuleringer utført for å estimere strømforhold i tiltaksområdet. Det er også planlagt molobygging i Ytre havneområdet. Strømforhold etter molobygging er også simulert.

Simulerte strømhastigheter er brukt for å estimere spredning av partikler i fjorden under deponeringsarbeidet ved sjødeponiet. Det er tatt utgangspunkt i noen situasjoner der det forventes stor spredning.

Simuleringene viser at partiklene kan vandre opptil 600 m vest for tiltaksområdet målt fra sjødeponiets nordligste punkt i løpet av 3 timer.

Etter molobygging er det noen endringer i strømforhold og partiklene spres opptil 500 m i løpet av 3 timer.

Simuleringene er gjort for noen utvalgte situasjoner for en enkelt måned og år (juni 2023) og maksimalt spredningsomfang og -mønster kan i praksis bli noe annerledes, særlig hvis tiltaksperiode vil foregå andre årstider enn den belyst.

Revisjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent
01	2024-12-23	Til Oppdragsgiver	Arun Kamath	Stig Bjørlow Dalsøren	Arun Kamath

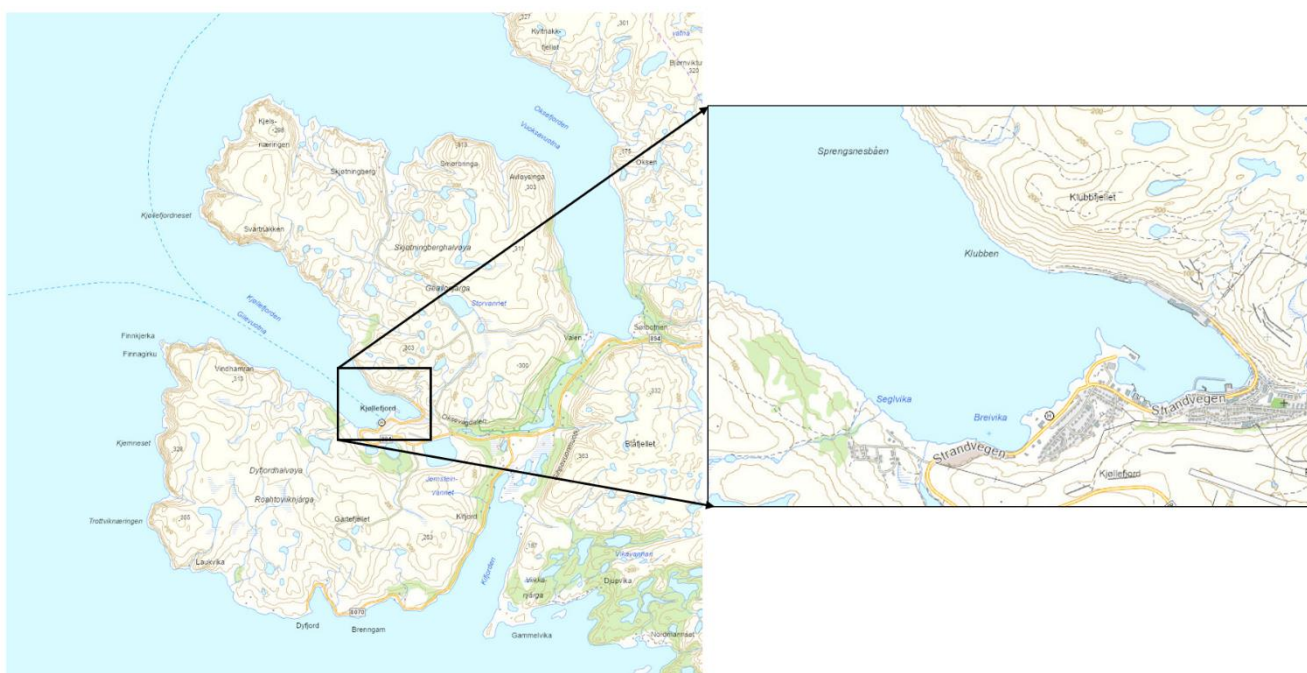
Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet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

1 Innledning

I forbindelse med utdypning av Kjøllefjord fiskeri havn er det planlagt mudrings og deponeringsarbeid.

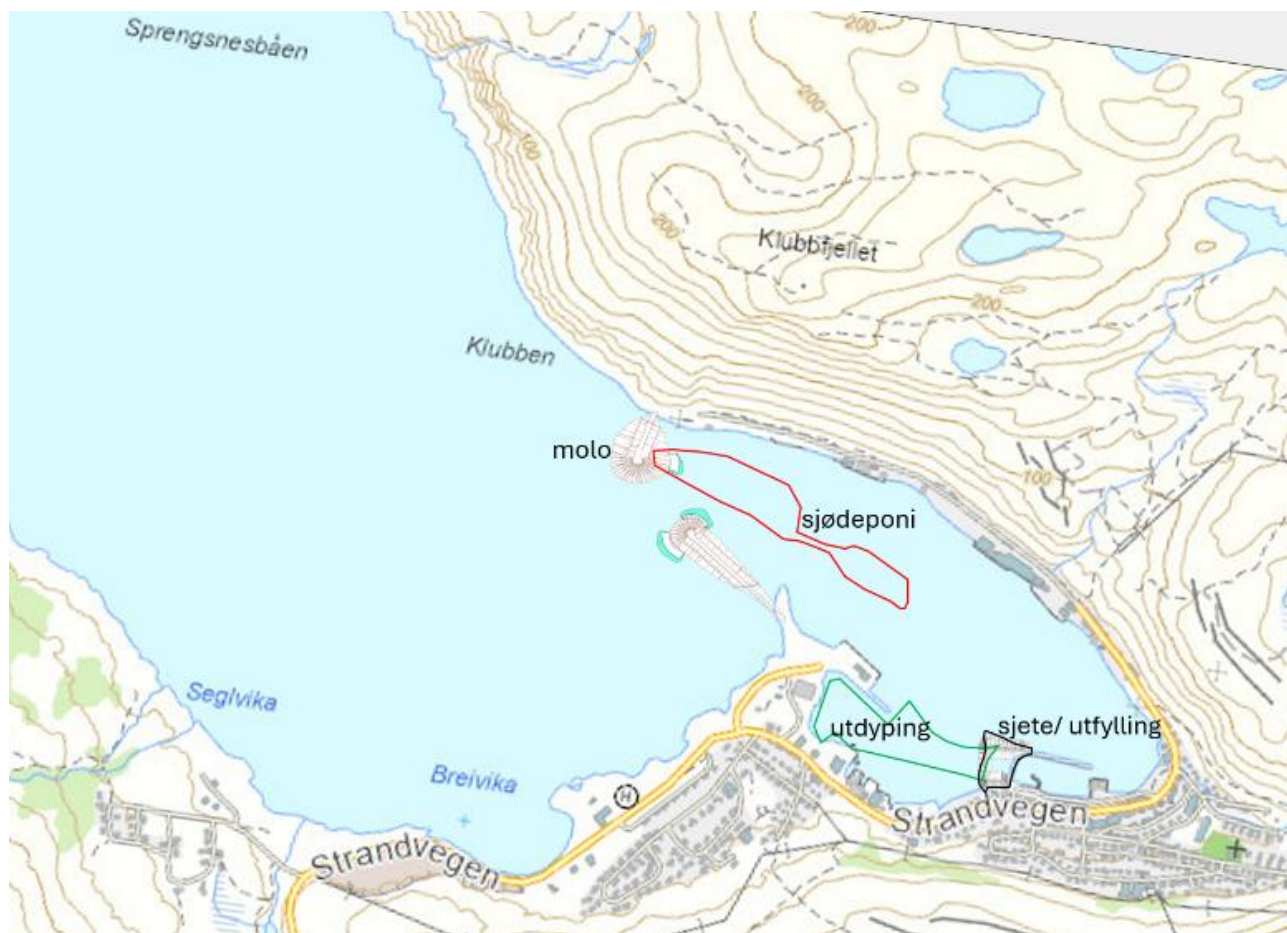
Oversiktskartet er vist i Figur 1 og nærbildet viser tiltaksområdet.

Norconsult har fått i oppdrag å beregne strømfeltet i området og spredning av partikler under deponeringsarbeid. Det er også planlagt molobygging i området i nærheten av deponi området. Derfor er strømmodellering utført og partikkelspredning estimert i scenarier med og uten molo.



Figur 1 Oversiktskart og nærbildet med tiltaksområdet [1].

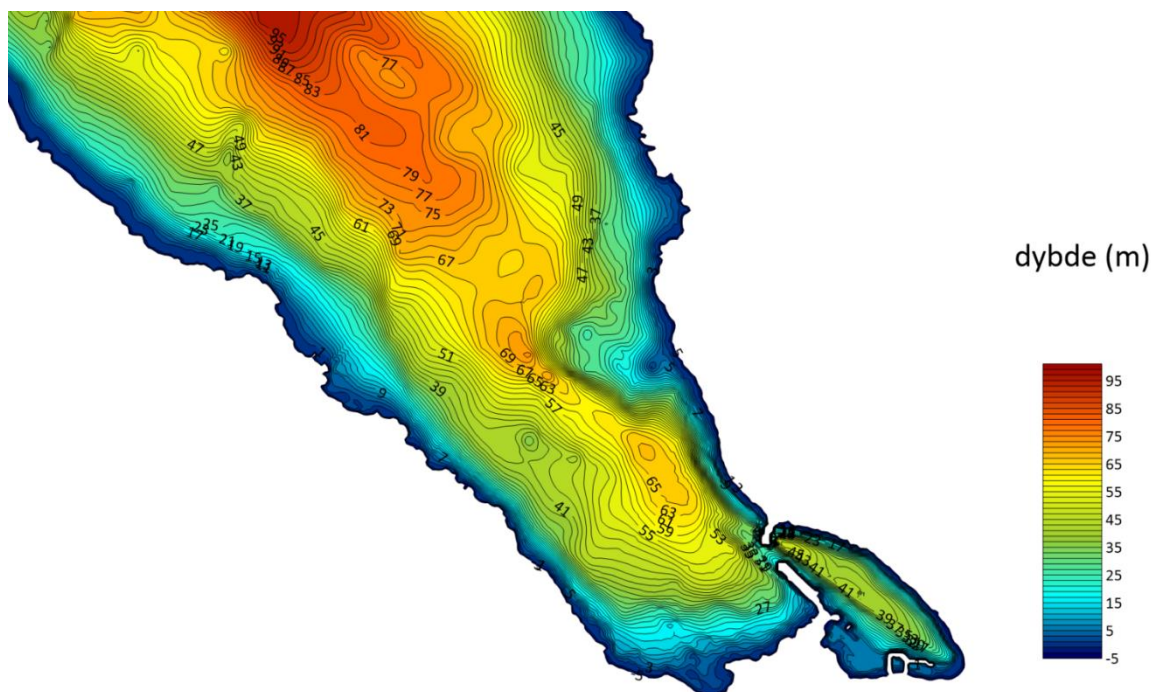
Planlagte utdypnings- og deponeringsområder er skissert i Figur 2, sammen med områder for utdypning i indre havn (grønn), utfylling i indre havn (svart) og sjødeponi (rødt). Strømmodellering er utført for å estimere endringer i strømfeltet før og etter molobyggingen. Beregnede strømhastigheter er brukt videre til å estimere spredning av partikler under deponeringsarbeidet ved sjødeponiet.



Figur 2 Illustrasjon av planlagte mudrings- og deponeringsområder sammen med planlagte moloer og sjete

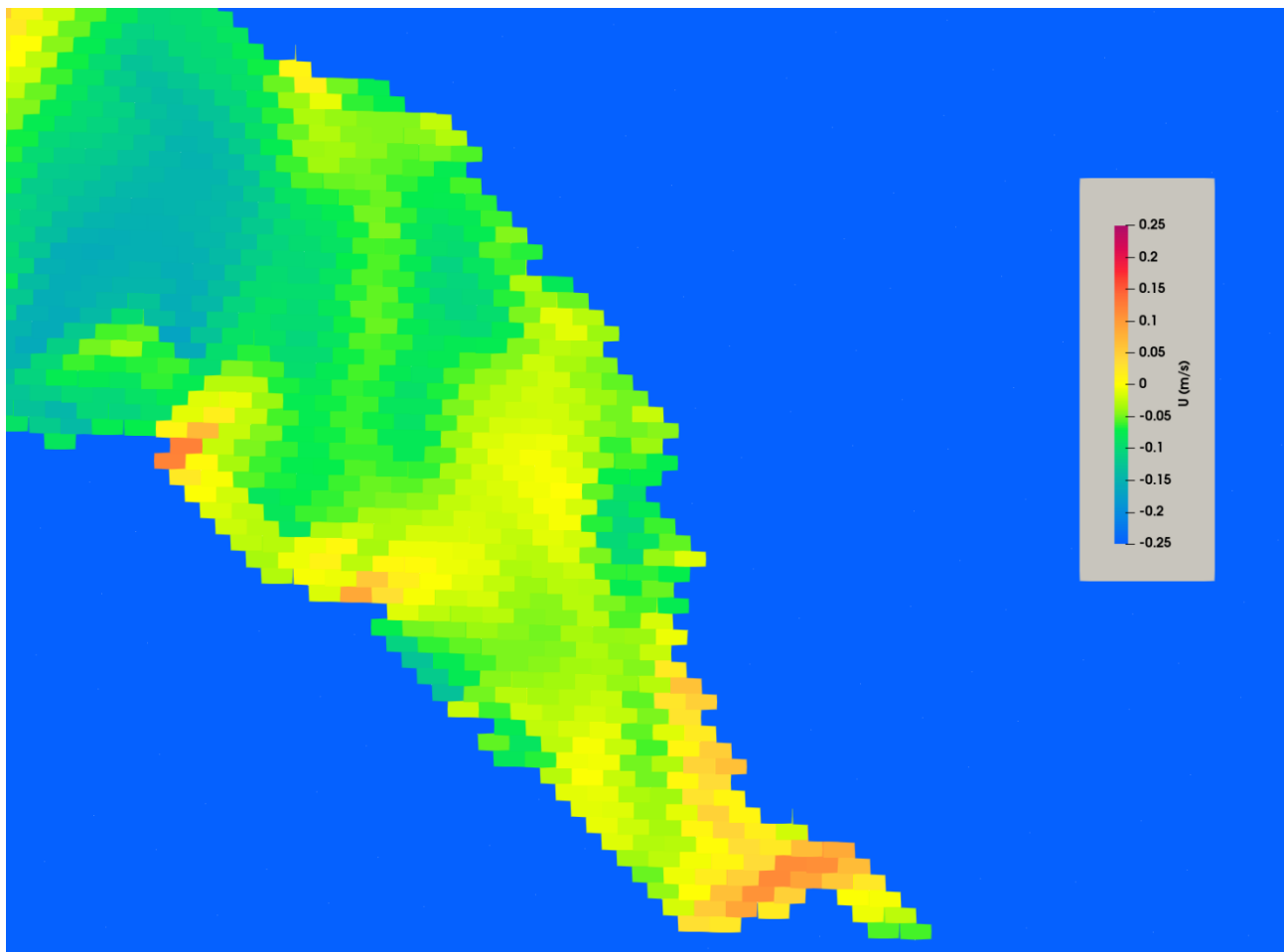
2 Strømmodellering

Strømmodellering er utført ved bruk av REEF3D::CFD [1] som løser Navier-Stokes ligninger, utviklet av forskere ved NTNU. Dybdemodellen er generert fra målte data gjort tilgjengelige av oppdragsgiver for området og åpne data fra Kartverket [2]. Et eksempel på dybdemodellen med planlagt molo og sjeté er vist i Figur 3. Strømhastigheter fra Norfjords 160 [3] er brukt som randbetingelser i nord i figuren. Strøm- og vindhastigheter, temperatur og saltinnhold fra Norfjords modellen er også brukt for å definere en initial tilstand når simuleringen begynner.



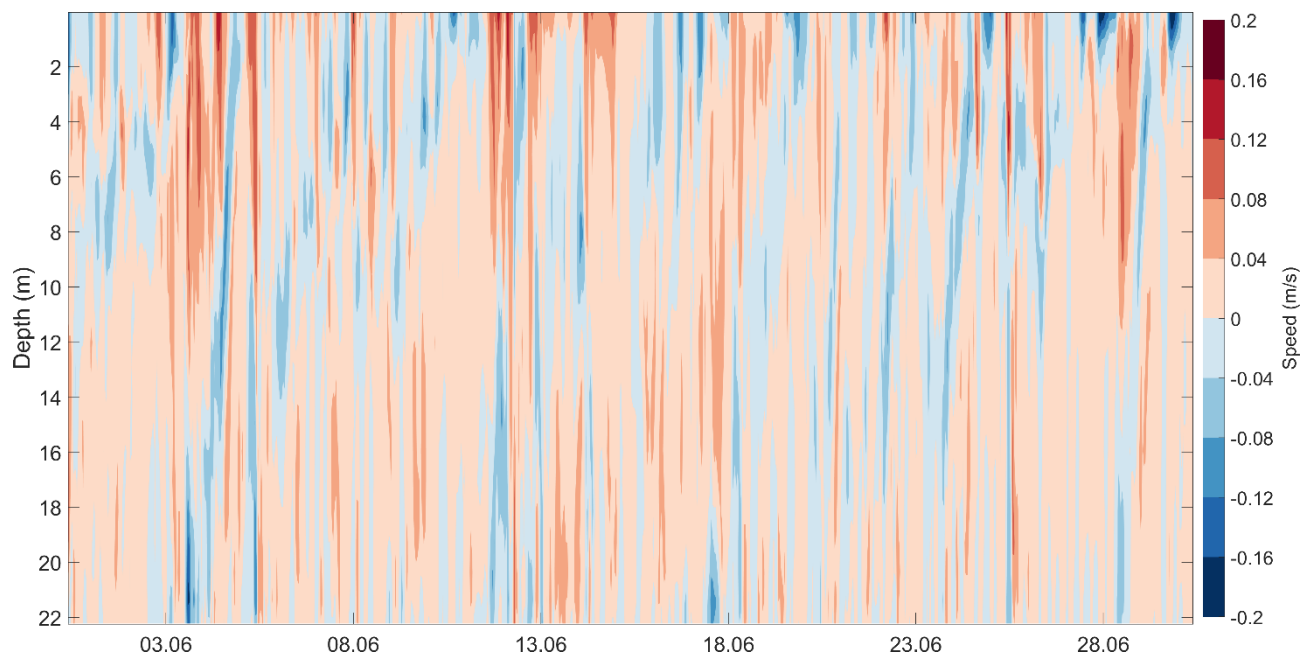
Figur 3 Dybdemodell med molo og sjeté for området. Data fra både målinger og Kartverket er brukt. Negative dybdetall angir landområder

For å velge en typisk strømtilstand er strømhastigheter i stor-skala strømmodellen Norfjords160 undersøkt. Et eksempel på strømhastigheter i modellen er vist i Figur 4 med hastigheter i retning øst-vest (U) 5. juni 2023 kl 1100.



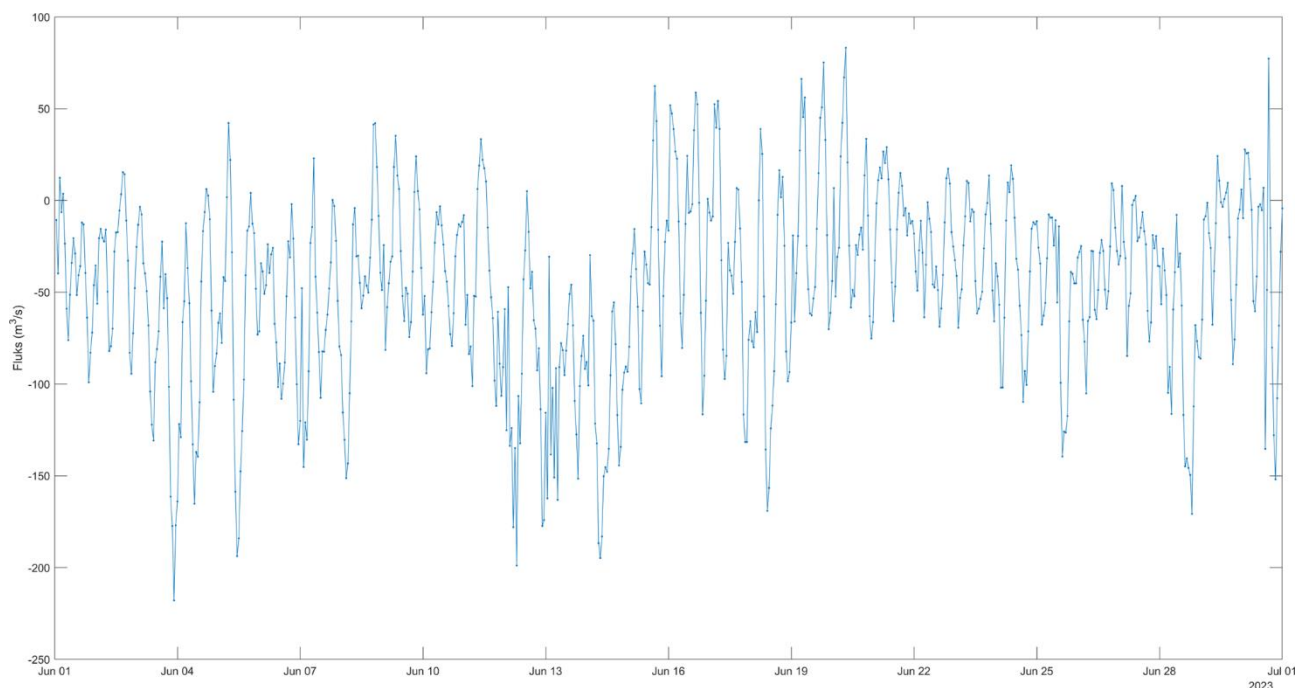
Figur 4 Strømhastigheter i overflaten 5. juni 2023 kl. 1100 i Norfjords 160. Positive tall står for hastigheter i retning øst mens negative tall står for hastigheter i retning vest.

Figur 5 viser U-hastigheter for hele juni måneden over hele vannsøylen på et punkt i tiltaksområdet. Strømhastigheter ved vannoverflaten viser store variasjoner sannsynligvis på grunn av kombinasjon og variasjon i pådriv som bl.a. vind, ferskvannsavrenning, tidevann og trykkgradienter fjord-kyst. Figuren viser også at det er ofte en del bevegelse og variabilitet også i lavere delen av vannsøylen. Slike analyser er utført for flere aktuelle måneder for anleggsarbeid. Analysen viser at området er sterkt preget av lokale effekter og mange ulike pådriv. Dette gjør et valg av en typisk strømsituasjon vanskelig.



Figur 5 Variasjoner i øst-vest (U) strømhastigheter over tid og dybde ved tiltaksområdet i Norfjords 160

For å estimere spredning av partikler under deponeringsarbeid er det tatt utgangspunkt i tre ulike tidspunkter i juni måned. Figur 6 viser vannføring (fluks) gjennom et snitt i tiltaksområdet. For fluks inn mot havna er to tidspunkter med høye flukser (5. juni kl 11 og 18. juni kl 10) valgt. For fluks ut fra havna er et tidspunkt på 15. juni kl. 11 valgt. Disse tidspunktene er valgt basert på høye fluks-verdier og at de er innenfor forventet arbeidstid ved anlegget. Dette gjør det mulig å estimere det maksimale spredningsområdet for partikler under deponeringsarbeid gitt strømforhold som i juni måned 2023.



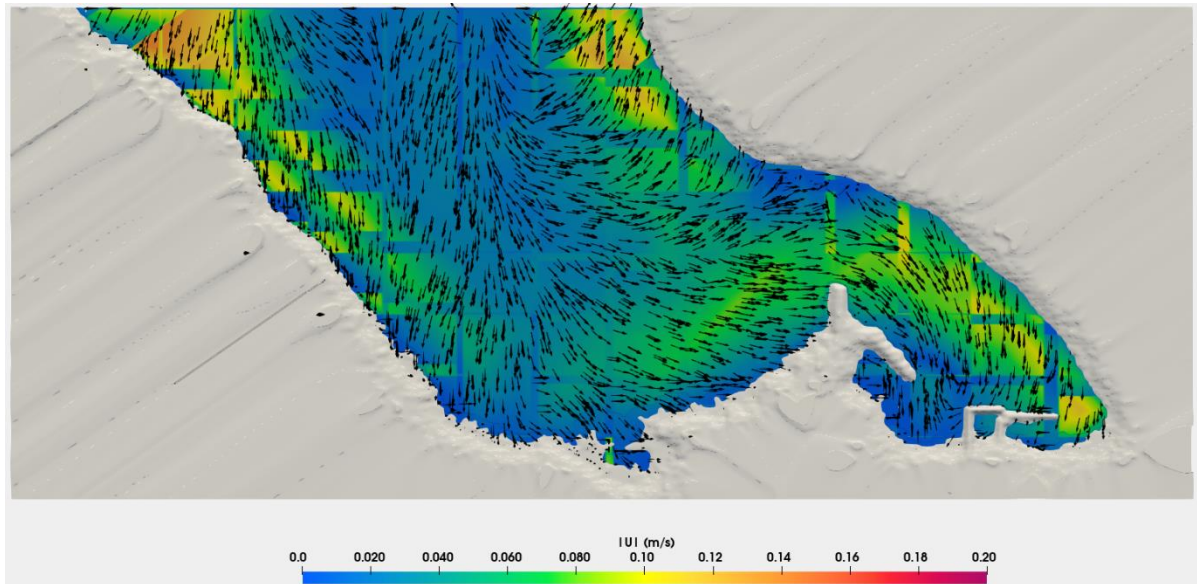
Figur 6 Vannføring i juni måneden gjennom et snitt i tiltaksområdet i Norfjords 160.

Figur 7 viser modelldomene med dagens situasjon i REEF3D::CFD med initiale tilstander for 5. juni 2023 kl.11. Simuleringen er kjørt i 2 t for å beregne strømhastigheter i området. Samme hastighetsfelt er brukt som initiale betingelser i simuleringen med molo og vist i Figur 8. Noen ujevnheter forekommer på grunn av interpolering fra en modell med gitter oppløsning på 160 m til 3 m.

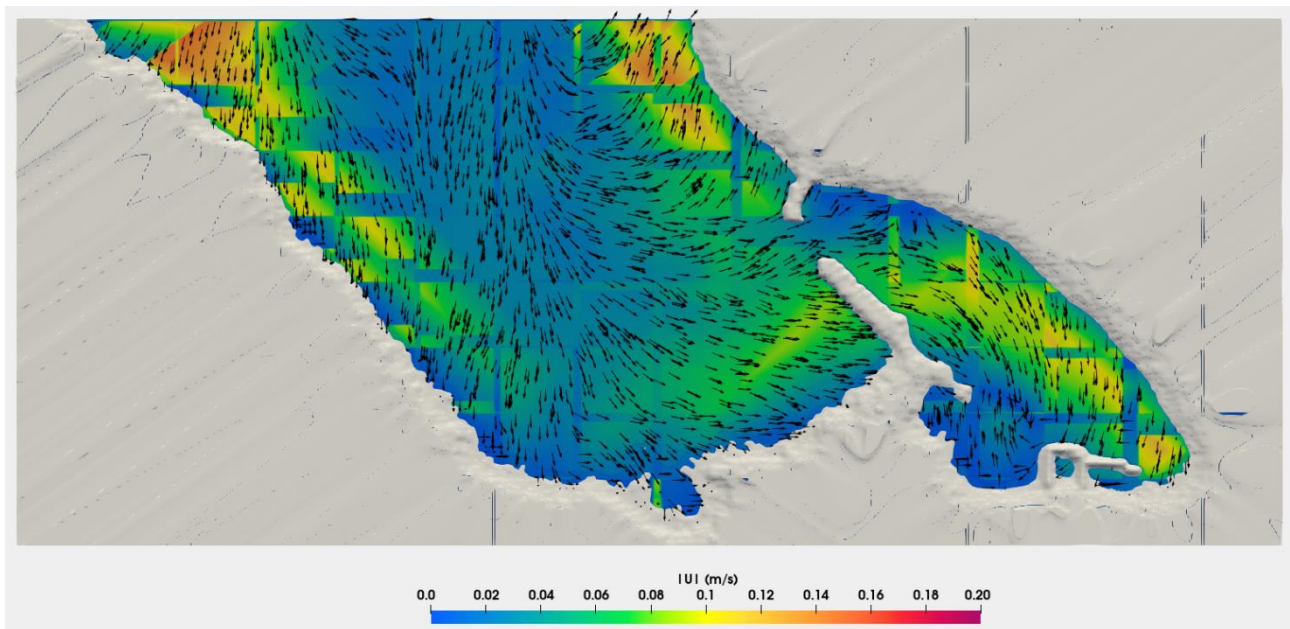
Videre er det brukt et formelverk basert på feltnålingene og modellforsøk [4] for å beregne synkehastigheter på partikler som skal deponeres som vist i Tabell 1. Sediment-prøvene viser at massene som skal deponeres består hovedsakelig av sand og grov silt. Det er beregnet spredning av partikler med kornstørrelser mellom 30 μm (grov silt) og 100 μm (fin sand). Informasjon om kornfordelingen er tatt fra en tidligere miljøteknisk rapport [5].

Tabell 1 Synkehastigheter brukt for å simulere partikkelspredning

Sediment type	Kornstørrelse (μm)	Synkehastighet (mm/s)
Grov silt	30	0,051
	40	0,09
	50	0,13
	60	0,20
Fin sand	80	0,32
	100	0,50

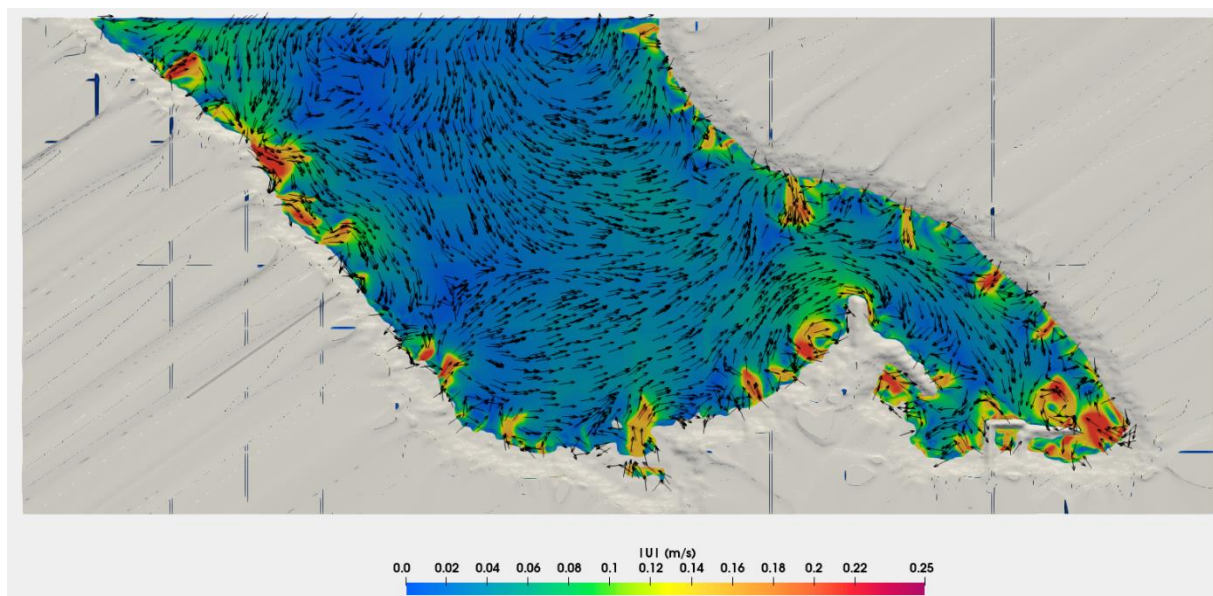


Figur 7 Initiale tilstander i REEF3D::CFD 5-juni kl. 11. Fargene viser total strømhastighet på overflaten og pilene viser retning.



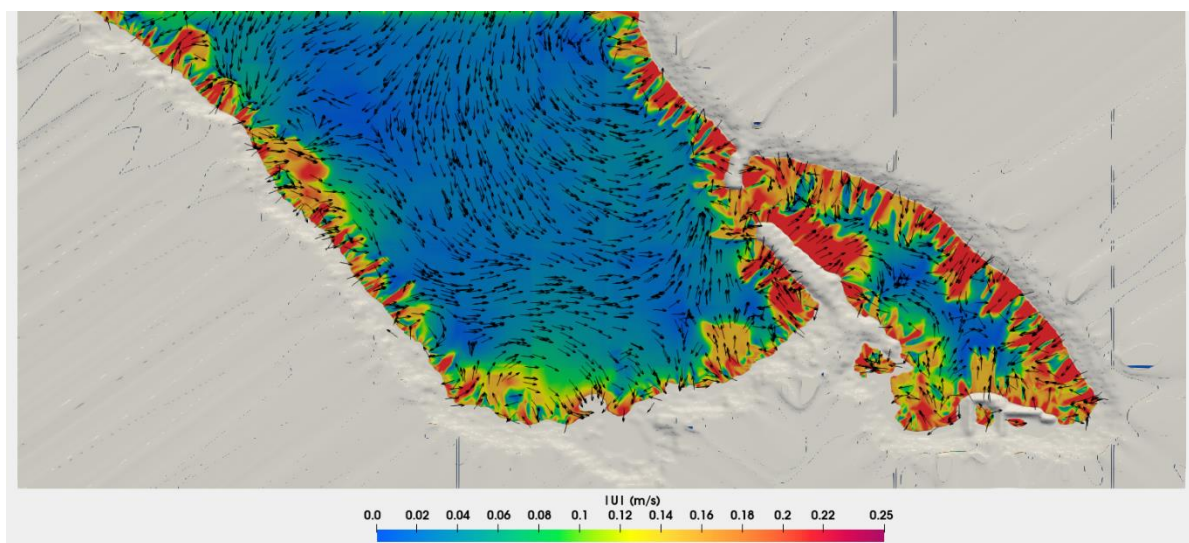
Figur 8 Initiale tilstander i REEF3D::CFD 5-juni kl. 11. Fargene viser strømhastigheter på overflaten og pilene viser retning.

Et øyeblikksbilde etter 2 timer med simulering for strømhastigheter 5. juni i nåværende situasjon er vist i Figur 9.



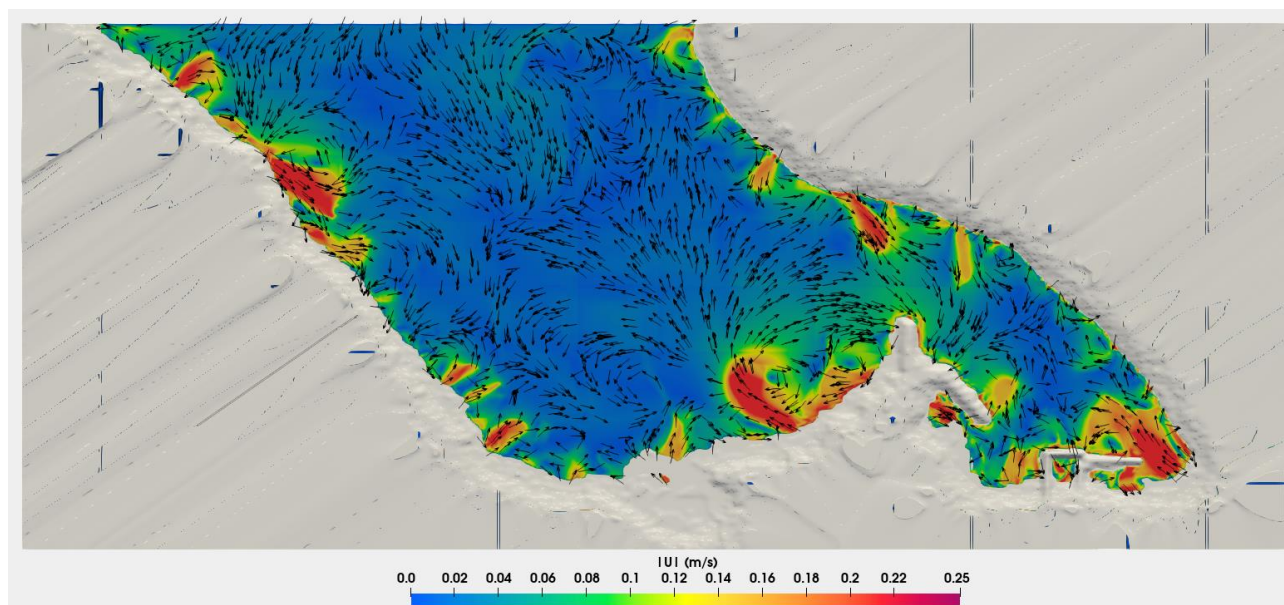
Figur 9 Øyeblikksbildet over strømhastigheter i overflaten etter 2 t med simulering av strøm 5.juni 2023 kl 11 i dagens situasjon

Lignende øyeblikksbilde for strømhastigheter i situasjon med molo ert vist i Figur 10.

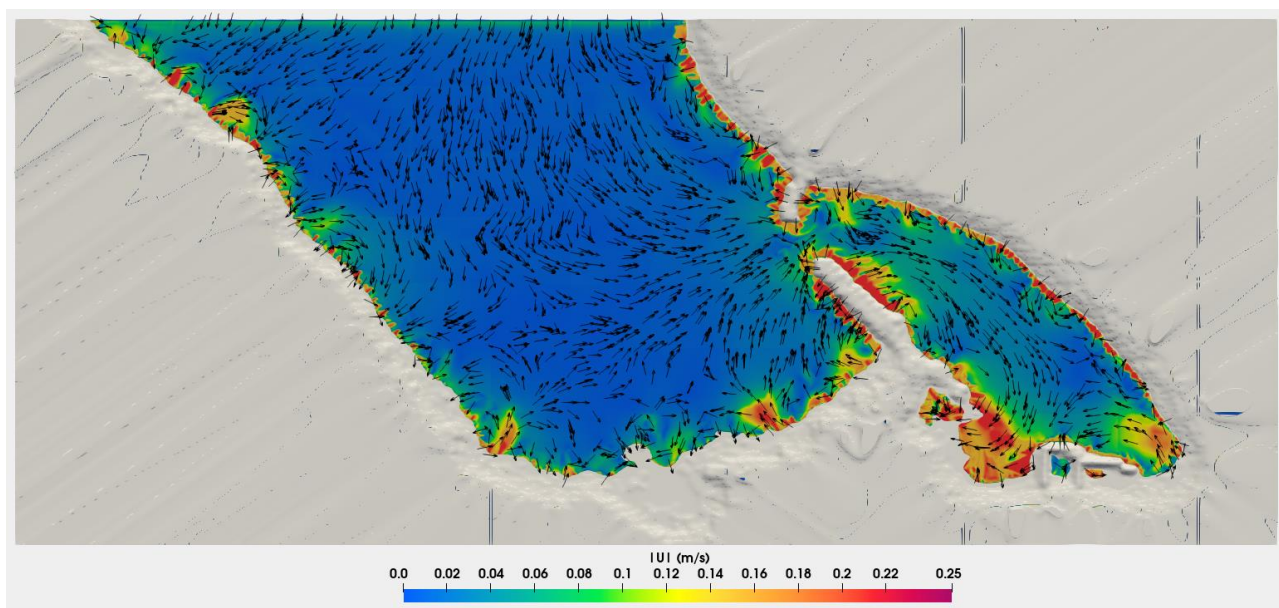


Figur 10 Øyeblikksbildet over strømhastigheter i overflaten etter 2 t med simulering av strøm 5. juni 2023 kl. 11 i situasjon med molo.

Et øyeblikksbilde etter 2 timer med simulering for strømhastigheter 15. juni i nåværende situasjon er vist i Figur 11



Figur 11 Øyeblikksbildet over strømhastigheter i overflaten etter 2 t med simulering av strøm på 15.juni 2023 kl 10 i dagens situasjon



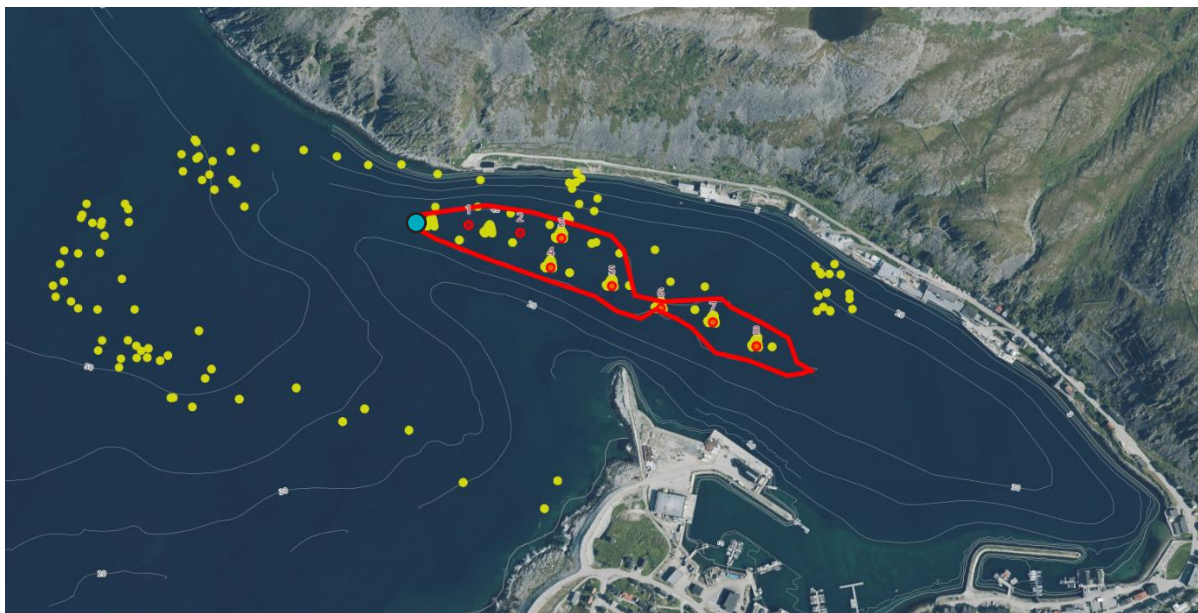
Figur 12 Øyeblikksbildet over strømhastigheter i overflaten etter 2 t med simulering av strøm 15. juni 2023 kl. 10 i situasjon med molo

Figur 12 viser et øyeblikksbilde over strømhastigheter etter 2t simulering 15. juni etter molobygging.

Det er noen små endringer i strømfeltet før og etter molobyggingen. Dette er spesielt i områder i nærheten av moloene. Det blir lavere hastigheter i skyggesonene og litt høyere hastigheter i åpningen mellom moloer. Når strømhastigheter er rettet mot havna, blir en del av strømmen rettet mot skyggesonen bak den sørlige moloen og hastighetene er lave. Før molobygging har dette område litt høyere strømhastigheter. Denne endringen kan føre til noe sedimentering av partikler bak den sørlige moloen. Nordlige side bak moloen, også et mulig sedimenteringsområde, får litt høyere strømhastigheter. Konsekvensene av disse endringene er videre analysert med partikkelsprednings analyse.

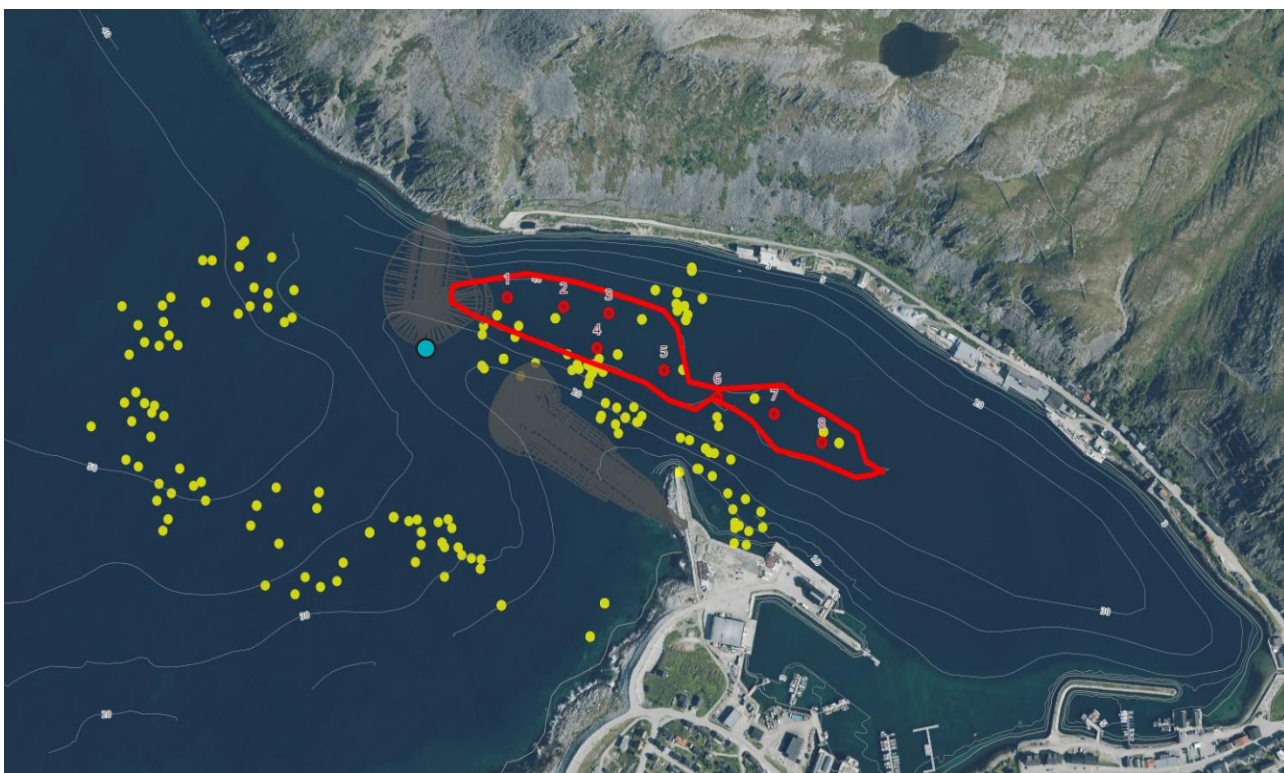
Tidsserier for hastigheter fra simuleringene er brukt sammen med ulike synkehastigheter for å beregne spredning av partikler med ulike kornstørrelser. Det er antatt at partiklene er sluppet ut i vannsøylen 3 m under overflaten med null hastighet. Dette er gjort for både dagens situasjon og situasjon med molo. Beregningene tar ikke hensyn til at partiklene kan adsorbere på overflater som plastringsblokker og andre legemer som befinner seg i vannet eller ved kysten. Det er også antatt at det ikke er resuspensjon, dvs. at partiklene sedimenterer på bunnen når de treffer den. Spredning av partiklene er beregnet fram 3 timer etter utslipp.

Figur 13 viser spredning av partikler for dagens situasjon . Rød linje viser deponi område. Røde sirkler står for punkter som er valgt som startpunkter for utslipp av partikler. Gule punkter i figuren viser simulerte partikler under ulike grensebetingelser for strømhastigheter og synkehastigheter. Dette gir en oversikt over maksimale partikkel vandring etter 3 timer for ulike synkehastigheter ved dagens strømsituasjon. Utbredelsen til maksimal vandring av partikler fra sjødeponiets nordligste hjørne mot sør er ca. 400 m og mot nordvest ca. 600 m. Avstandene er målt fra punktet merket i blått i Figur 13.



Figur 13 Oversiktsbilde som viser mulig spredning av partikler under deponeringsarbeid. Deponiområdet er merket med rød linje. 8 ulike punkt brukt som startpunkter for utslipp er merket med røde sirkler. Gule sirkler er lokasjonene til partiklene 3 timer etter utslipp. Noen av partiklene er sedimentert og noen er fremdeles suspendert i vannsøylen) Avstandene for partikkel vandring er målt fra blått punkt.

Figur 14 viser partikkel vandring etter molobygging for ulike randbetingelser for strømfeltet og synkehastigheter. Partikkelvandringen er litt påvirket av endringene i strømfeltet etter molobygging. Spesielt når strømmen er rettet mot havna spres noen partikler mot kysten sør for deponiområdet og nord fra punkt 5 i Figur 14. Det er mindre partikkel vandring mot nordvest (ved punkt 8) i forhold til dagens situasjon. Partiklene blir transportert noe mer i vestlig retning utenfor havneområdet. I ytre havn er det større sannsynlighet for at partiklene vandrer mot sør bak den sørlige moloen som vist i Figur 14 etter molobygging enn for dagens situasjon. Utbredelsen på spredningen er ca. 500 m fra nordre molohode (blått punkt i Figur 13).



Figur 14 Oversiktsbilde som viser mulig spredning av partikler under deponeringsarbeid etter molobygging. Deponiområdet er merket med rød linje. Brune linjer viser moloene. 8 ulike punkt brukt som startpunkter for utslipp er merket med røde sirkler. Gule sirkler er lokasjoner på partikler 3 timer etter utslipp. Noen av partiklene er sedimentert og noen er fremdeles suspendert i vannsøylen. Avstandene for partiklenes vandring er målt fra blått punkt

3 Referanser

- [1] H. Bihs, A. Kamath, M. Alagan Chella, A. Aggarwal og Ø. A. Arntsen, «A new level set numerical wave tank with improved density interpolation for complex wave hydrodynamics,» *Computers & Fluids*, vol. 140, pp. 191-208, 2016.
- [2] Geonorge, «Kartkatalogen,» [Internett]. Available: kartkatalogen.geonorge.no. [Funnet 29 07 2024].
- [3] S. B. Dalsøren, J. Albretsen og L. Asplin, «New validation method for hydrodynamic fjord models applied in the Hardangerfjord, Norway.,» *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 246, 2020.
- [4] K. She, L. Trim og D. Pope, «Fall velocities of natural sediment particles: a simple mathematical presentation of the fall velocity law,» *Journal of hydraulic research*, vol. 43, nr. 2, pp. 189-195, 2005.
- [5] Norconsult Norge AS, «Miljøteknisk sedimentundersøkelse: Indre og ytre havn, Kjøllefjord. Oppdrag: 52207045; Dok. RIM02 Ver. J02,» 2023.
- [6] Kystverket, «Kystinfo,» 2024. [Internett]. Available: <https://kart.kystverket.no/>. [Funnet 06 06 2024].