

Vurdering av strømforhold og partikkelspredning ved etablering av ny dypvannskai ved Rana Industriterminal



RAPPORT

Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: www.niva.no

NIVA Region Sør

Jon Lilletuns vei 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

NIVA Region Innlandet

Sandvikaveien 59
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

NIVA Region Vest

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 55 31 22 14

Tittel Vurdering av strømforhold og partikkelspredning ved etablering av ny dypvannskai ved Rana Industriterminal	Løpenr. (for bestilling) 6906-2015	Dato 19.09.2015
	Prosjektnr. Undernr. 15126	Sider 37
Forfatter(e) André Staalstrøm Magdalena Kempa	Fagområde Fysisk oseanografi	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Mo i Rana	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Mo Industripark	Oppdragsreferanse Rolf Jensen
-------------------------------------	----------------------------------

Sammendrag

Det skal etableres en ny dypvannskai ved Rana Industriterminal, og i den forbindelse har NIVA gjort vurderinger av strømforhold i området og partikkelspredning i anleggsperioden. I denne rapporten er det tatt utgangspunkt i at 135 000 m³ med masse skal mudres opp. Det er videre antatt at 2 % av denne massen spres i Ranfjorden, og dette utgjør 1620 tonn tørr masse. Denne mengden tilsvarer den samme mengden partikler som kan tilføres fjorden fra Ranelva i løpet av en ukes tid, og anses ikke som et betydelig miljøproblem i seg selv. Omtrent 222 tonn av den totale massen er forurenset, og det vil være et positivt miljøtiltak å fjerne disse massene, slik at de ikke kan spres videre i fjorden i framtida. Under mudringsoperasjonen vil det være fare for å spre betydelig mengder miljøgifter, og det anbefales derfor å benytte mudringsutstyr som gir minst mulig spredningsfare.

Fire norske emneord 1. Nordland 2. Partikkelspredning 3. Numerisk modellering 4. Mudring	Fire engelske emneord 1. Nordland 2. Particle dispersion 3. Numerical modelling 4. Dredging
--	---



André Staalstrøm
Prosjektleder



Sigurd Øxnevad
Kvalitetssikrer



Kai Sørensen
Forskningsleder

**Vurdering av strømforhold og partikkelspredning ved
etablering av ny dypvannskai ved Rana
Industriterminal**

Forord

Mo Industripark ønsker å utvide kaianlegget Rana Industriterminal. I den forbindelse vil et område mudres. NIVA har fått i oppdrag å vurdere strømforholdene i området og hvordan spredningsmønsteret til partikler vil bli, både i forbindelse med propelloppvirvling og selve mudringsoperasjonen. Magdalena Kempa har vært ansvarlig for modelleringen, mens André Staalstrøm har vært ansvarlig for feltobservasjoner. Sigurd Øxnevad, Uta Brandt og Odd Arne Segtnan Skogan har deltatt i feltarbeid.

Oslo, 10. september 2015

André Staalstrøm

Innhold

Sammendrag	5
Summary	6
1. Innledning	7
1.1 Bakgrunn	7
1.2 Beskrivelse av området	7
2. Feltnmålinger	10
2.1 Innhentet vannføring	10
2.2 Målerigger	11
2.3 Sedimentprøver	12
3. Modelling	13
3.1 Modelloppsett	13
3.2 Validering av modellen	15
4. Beskrivelse av utslippet ved mudring	18
4.1 Massebudsjett	18
4.2 Synkehastighet	19
4.3 Forurensede sedimenter	20
5. Kartlegging av strømforholdene	21
5.1 Kartlegging av strømforholdene med observasjoner	21
5.2 Effekten av vannføring i Ranelva på strømforholdene	28
6. Spredning av partikler	30
6.1 Vurdering av spredning av total mengde partikler under mudringsoperasjonen	30
6.2 Vurdering av spredning av forurensede masser under mudringsoperasjonen	35
6.3 Vurdering av rekkevidde for spredning av propelloppvirvling	35
7. Referanser	37

Sammendrag

I denne rapporten er det tatt utgangspunkt i at 135 000 m³ med masse skal mudres opp. Det er videre antatt at 2 % av denne massen spres i fjorden, og dette utgjør 1620 tonn tørr masse. Denne mengden tilsvarer den samme mengden partikler som kan tilføres fjorden fra Ranelva i løpet av en ukes tid, og anses ikke som et betydelig miljøproblem i seg selv.

Omtrent 222 tonn av den totale massen er forurenset, og det vil være et positivt miljøtiltak å fjerne disse massene, slik at de ikke kan spres videre i fjorden i framtida. Under mudringsoperasjonen vil det være fare for å spre betydelig mengder miljøgifter, og det anbefales derfor å benytte mudringsutstyr som gir minst mulig spredningsfare.

Tidevann og vannføring i Ranelva påvirker strømbildet, men det er relativt høye strømhastigheter i området nær Rana Industriterminal, uansett om det er lav vannføring og nippflo. Det kan se ut som høye strømhastigheter er knyttet til raske endringer i vannføringen i elva. I en flomsituasjon kan det se ut til at en større andel av de massene som spres blir fraktet i retning av Movika.

Summary

Title: Assessment of current conditions and particle dispersion by establishing a new deepwater quay near Rana Industry Terminal

Year: 2015

Author: André Staalstrøm and Magdalena Kempa

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-6641-2

In this report it is assumed that 135 000 m³ with mass will be dredged up. It is further assumed that 2 % of this mass is dispersed in the Ranfjord, and this amounts to 1620 tons of dry mass. This amount equals to the same amount of particles that can be discharged into the fjord from the river Ranelva within a week's time, and is not regarded as a significant environmental problem in itself.

Approximately 222 tons of the total mass is contaminated, and there will be a positive environmental initiative to remove these masses, so they cannot spread further in the fjord in the future. During the dredging operation it will be a risk of spreading significant amounts of pollutants, and it is therefore recommended to use dredging equipment that minimizes the risk of spreading.

Tides and water discharge in Ranelva affect the current conditions, but there are relatively high current velocities in the area near Rana Industry Terminal, whether it's low flow in the river and neap tide. It may look like high current speeds are associated with rapid changes in water flow in the river. In a flood situation, it appears that a larger proportion of the dispersed mass is transported in the direction of Movika.

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

Mo Industripark AS ønsker å få utredet flere forskjellige problemstillinger i forbindelse med etablering av dypvannskai ved Rana Industriterminal (RIT), hvor det skal mudres for å etablere en dypvannskai. Massene som skal fjernes er mest sannsynlig forurenset, og deponering av disse massene må forgå med tanke på dette.

Det ønskes avklaring på følgende problemstillinger:

1. Hvordan er strømforholdene og potensialet for partikkelspredning i området, og hvordan endrer dette seg i perioder med flom i Ranelva?
2. Hvilken sedimenttype med spesifisering av kornstørrelse spres fra kaiområdet på grunn av propellersjøn og mudring?
3. Hvor stor er partikkelkonsentrasjonen forårsaket av propellersjøn i vannmassene nær kaiområdet, og hvor store mengder partikler spres?
4. Hvordan er spredningsmønsteret av partikler i forbindelse med mudring, og hvor stort område blir påvirket?

Disse problemstillingene er undersøkt med feltmålinger og modellering, og vil bli besvart i denne rapporten. Problematikk knyttet til deponering av forurensete masser blir ikke belyst i denne rapporten, men det vil bli gjort en vurdering på hvor store mengder med miljøgifter som spres, basert på målinger utført av Multiconsult (Hasle, 2014).

1.2 Beskrivelse av området

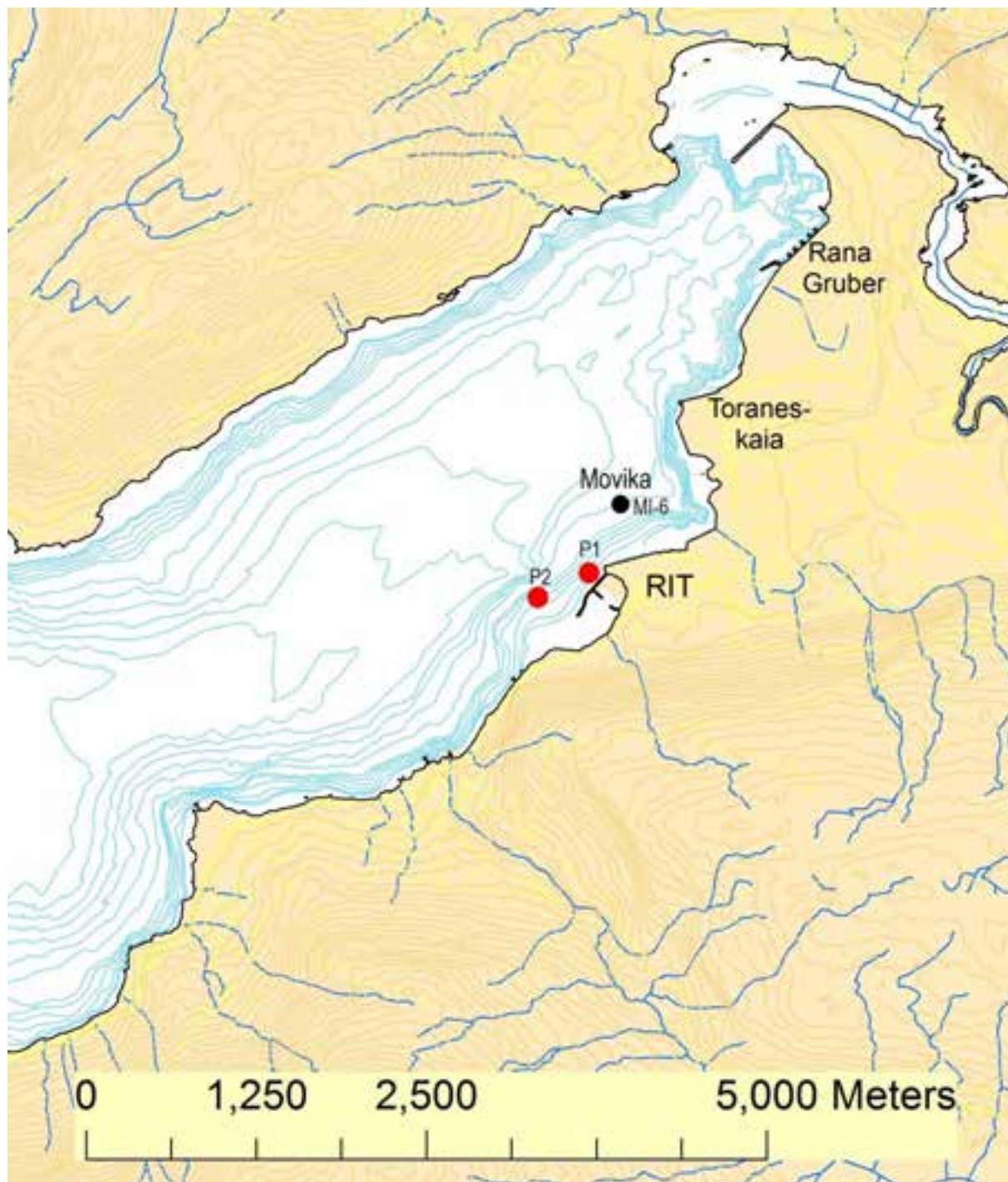
Rana Industriterminal (RIT) er en av tre større kaianlegg i Mo i Rana, hvor Toraneskaia og Rana Grubers utskipningsterminal er de to andre. RIT er det ytterste av disse tre kaianleggene, og er tilknyttet Mo Industripark (se **Figur 1**).

Mo i Rana ligger helt innerst i Ranfjorden hvor Ranelva renner ut. Vannføringen i Ranelva er relativt stor med middel vannføring på 178 m³/s (i 2010), og vannføring ved flom opp mot 900-1300 m³/s. **Figur 2** viser modellert vannføring i Ranelva for de ti årene fra 2004 til 2013.

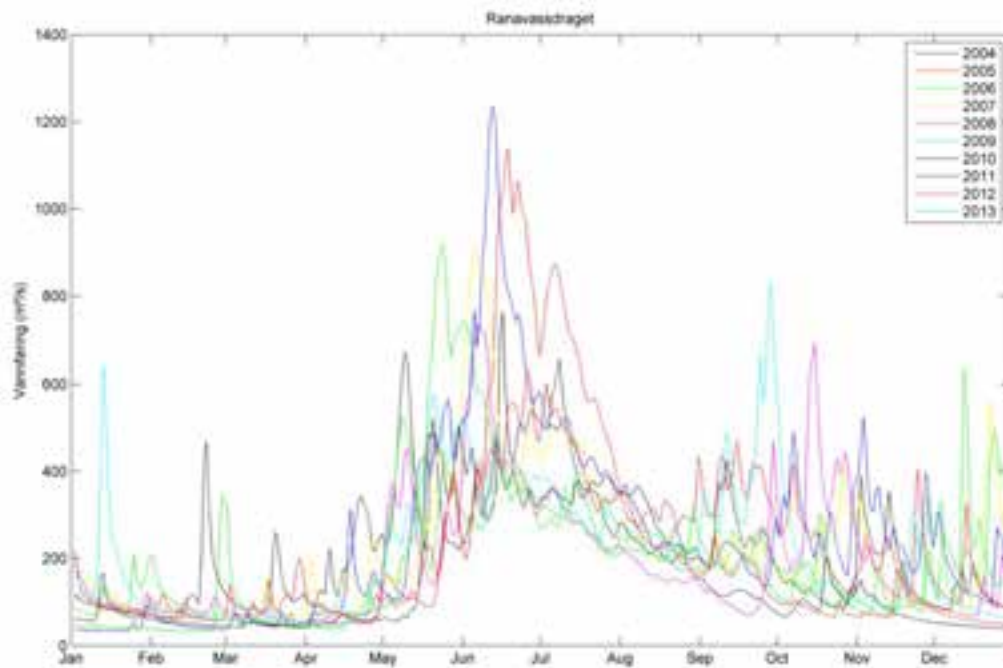
Indre Ranfjorden er en dyp fjord med bratte sider, med dyp ned mot 525 m, som er adskilt fra resten av Ranfjorden med en relativt dyp terskel på omtrent 275 m ved Juvika. Juvika befinner seg omtrent 22-23 km fra Mo i Rana. Rett utenfor RIT er det dyp på over 300 m.

Forskjellen mellom høy- og lavvann kan bli opp mot 1,0 m ved nippflo og 2,5 m ved springflo (sehavniva.no).

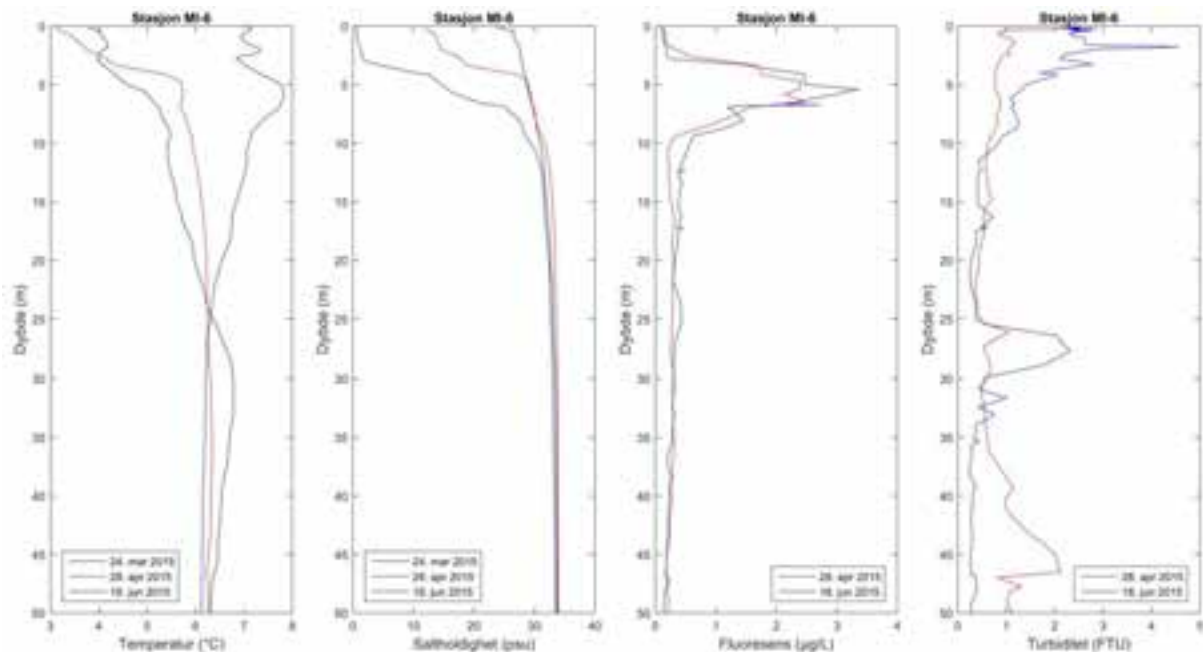
Vannmassene i dypet er relativt homogene med liten sjiktning. Dette endrer seg i de øverste meterne, hvor det er et ferskvannslag hvor tykkelsen avhenger av vannføringen i Ranelva i dagene før målingene ble tatt (**Figur 3**).



Figur 1. Kart over innerste del av Ranfjorden hvor Ranelva renner ut. Dybdekoter er tegnet med blå strek og høydekoter med brun strek. Veier er tegnet inn med gul strek og mindre elver med blå strek. De to røde prikkene angir hvor det var utplassert målerigget utenfor Rana Industrierterminal (RIT). Den svarte prikken i Movika angir en av stasjonene hvor det tatt profilerende målinger med CTD.



Figur 2. Vannføring i Ranavassdraget de 10 siste årene. Disse resultatene er modellert vannføring utført av NVE (Beldring et al., 2003).

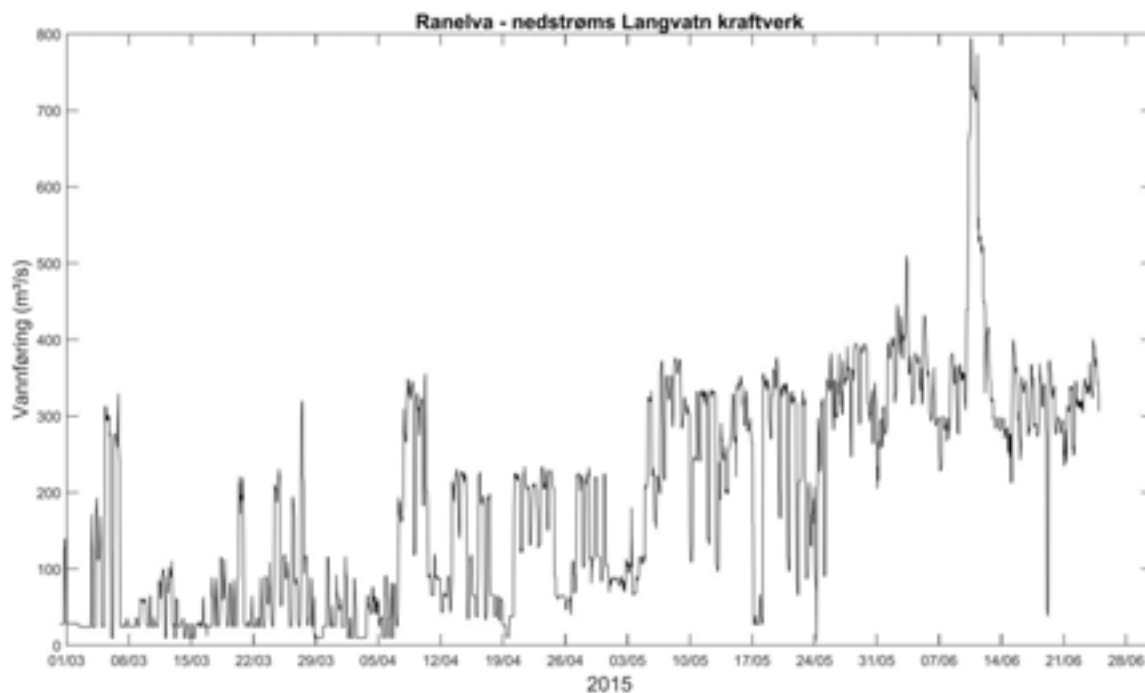


Figur 3. Profiler av temperatur og saltholdighet målt i Movika ved tre anledninger i 2015. Ved de tre tidspunktene var vannføringen midlet over de fem foregående døgnene i Ranelva henholdsvis 65, 136 og 303 m³/s. Ved to av tidspunktene ble det også målt profiler av fluorescens og turbiditet. Fluorescens er et målt på mengde alger og turbiditet er et mål på partikkelkonsentrasjon. En turbiditetsenhet (FTU) tilsvarer omtrent en partikkelkonsentrasjon på 1 mg/L.

2. Feltmålinger

2.1 Innhentet vannføring

Det var ønskelig å foreta strømmålingene i en periode hvor det både var lav vannføring i Ranelva og i en flomsituasjon. Måleperioden fra 24. mars til 18. juni 2015 burde derfor i følge modellert vannføring i elva være en gunstig periode (se **Figur 2**). Målt vannføring ble hentet inn fra Statkraft. I 2015 var snøsmeltingen uvanlig sein, og til tross for at det var relativt mye vann i elva, så var det bare en kortvarig (1-2 dager) flom 10. til 11. juni, med høyeste vannføring 795 m³/s (se **Figur 4**).



Figur 4. Målt vannføring i Ranelva.

2.2 Målerigger

Det ble utplassert strømmålere i to posisjoner, stasjon P1 nær den eksisterende kaia og stasjon P2 som var plassert noe lenger ut på 24-25 m dyp. Ved stasjon P1 var det ca. 8-10 m dypt. En CTD som målte vannstand (trykk), temperatur, saltholdighet og turbiditet ble plassert nær bunn. Turbiditet er et mål på hvor mye lyset spres i vannet. Enheten til turbiditet, FTU, er skalert slik at 1 FTU tilsvarer omtrent en partikkelkonsentrasjon på 1 mg/L. Nær overflata ved stasjon P1 ble det utplassert en Seaguard RCM som i tillegg til saltholdighet, temperatur og turbiditet også måler strøm. Ved stasjon P2 var det utplassert en Nortek Aquadopp profilerende strømmåler. Denne måleren registrerer strømmen i hele vannsøylen.

Målerne ble utplassert 24. mars 2015. 28. april ble alle målerne tatt opp og data lest ut, før de ble utplassert igjen. Alle målerne ble hentet inn i 18. juni. Alle instrumentene fungerte som planlagt.

På stasjon P1 var det også utplassert to sedimentfeller omtrent 2 m over bunnen. Hensikten med disse var å se på kornstørrelsen til de sedimentene som blir virvlet opp. En av de to sedimentfellene forsvant i løpet av måleperioden, men det ble samlet inn nok sediment til å gjøre en enkel analyse av kornstørrelse.



Figur 5. Kart over Rana Industriterminal (RIT). Plassering av de to måleriggene, P1 og P2, er vist med røde prikker. Planlagt mudringsområde er markert med lysegrønt.

2.3 Sedimentprøver

Ved utplassering av måleriggene ble det tatt prøver av bunnsedimentet på seks posisjoner i mudringsområdet. Disse prøvene ble analysert for å finne hvor stor andel av sedimentet som besto av finkornet materiale, det vil si andel av partiklene som hadde en diameter mindre enn $63\ \mu\text{m}$. Andelen finkornet materiale var mellom 69 og 89 % (se **Figur 6**). Andelen finstoff ($< 63\ \mu\text{m}$) i sedimentfella på stasjon P1 var 83 %.



Figur 6. Resultatene fra prøver av sedimentene. Tallene i kartet angir hvor stor andel av sedimentet som var finkornet (partikkel diameter mindre enn $63\ \mu\text{m}$).

3. Modellering

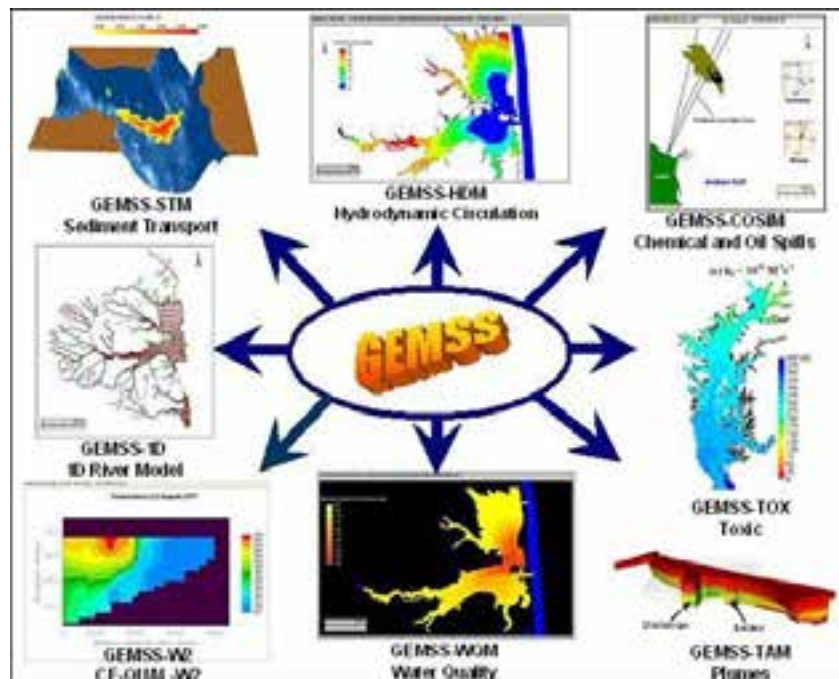
3.1 Modelloppsett

I dette prosjektet har den 3-dimensjonale modellen GEMSS blitt benyttet, **Figur 7**. Modellen beregner strøm, temperatur, konsentrasjon partikler med ulik størrelse. Modellen beregner hva som skjer i fjorden ut fra kjent klima, vannføring, vanntemperatur og stoffkonsentrasjon i tilløp samt vannstand og stoffkonsentrasjoner ved den åpne enden av fjorden. Fjorden blir delt inn i beregningsceller. For hver celle ble resultatene beregnet skrittvis fremover i tid. Et utsnitt av modellgriddet er vist i **Figur 8**. Modellgriddet dekker hele Ranfjorden.

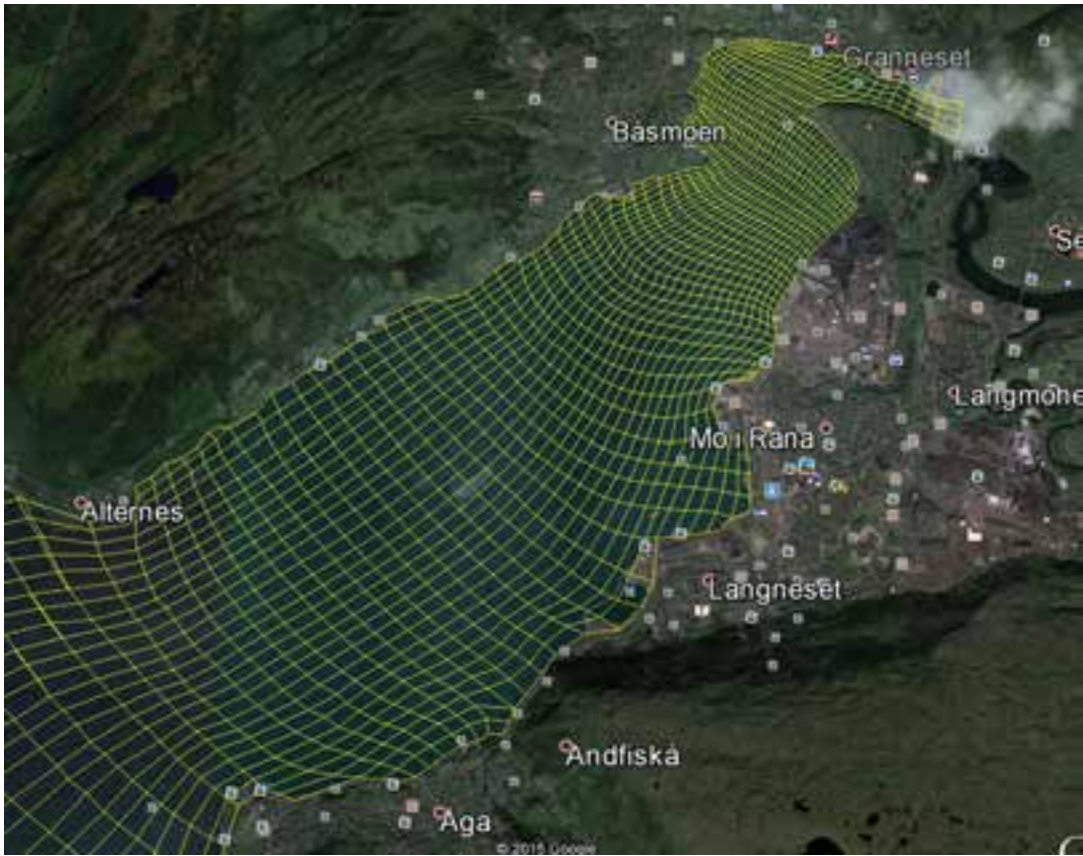
Modellpakken er utviklet av ERM's Surfacewater Modeling Group i Exton, Pennsylvania, USA. Eksempler på bruk av modellen kan studeres nærmere på hjemmesiden (<http://gemss.com/index.html>). Modellen er blant de mest avanserte som finnes. Den er jevnlig brukt verden rundt, og den har allerede blitt satt opp for Ranfjorden i forbindelse med utslippet til Rana Gruber.

For å modellere sirkulasjonsmønsteret i modellområdet har vi benyttet GEMSS modulen HDM som er en modell som løser de endelig-differanse ligningene Navier-Stokes, som med andre ord betyr at man benytter Newtons andre lov sammen med ligninger for å bevare volum. De vertikale lagene i modellen er horisontale (z-lag), avhengig av hvordan modellen blir satt opp. Modellgriddet er kurvelineært slik at den horisontale oppløsningen kan varieres.

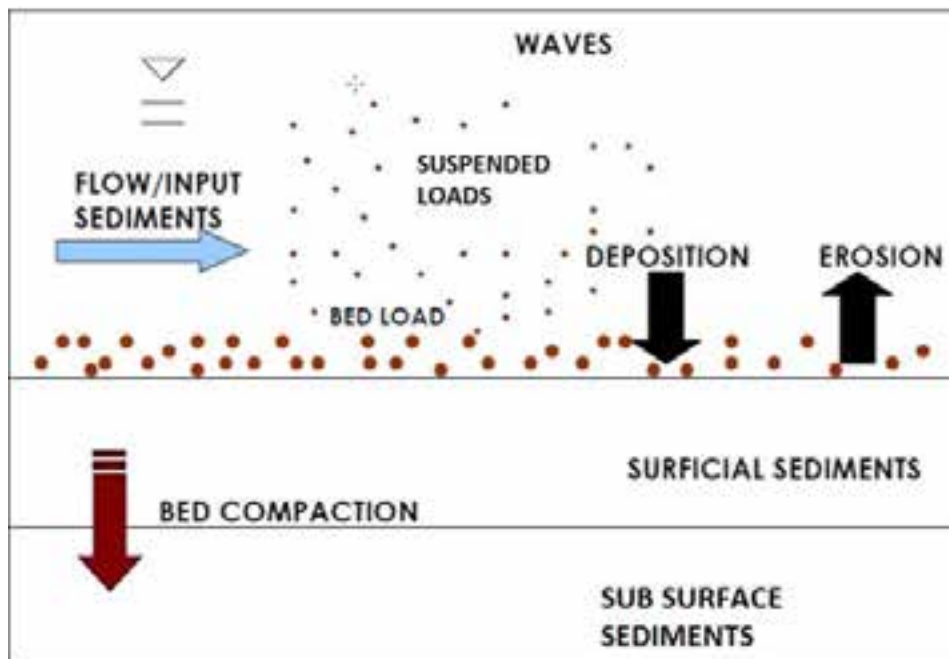
For å modellere partikkeltransport har vi benyttet en modul som kalles STM (Sediment Transport Module). Denne modulen beregner konsentrasjon av partikler med forskjellige kornstørrelse i hver beregningscelle i modellområdet. I modellen så kan partiklene enten flyte fritt i vannmassene (suspenderte partikler) eller ligge på bunn. Partikler som havner på bunn kan re-suspenderes. **Figur 9** illustrerer noen av de prosessene som er parameterisert i STM-modulen.



Figur 7. GEMSS er en pakke med modeller. I sentrum står en hydrodynamisk modell. Det er flere tilleggsmoduler, blant annet vannkvalitet med spredning av sedimenter (GEMSS-STM).



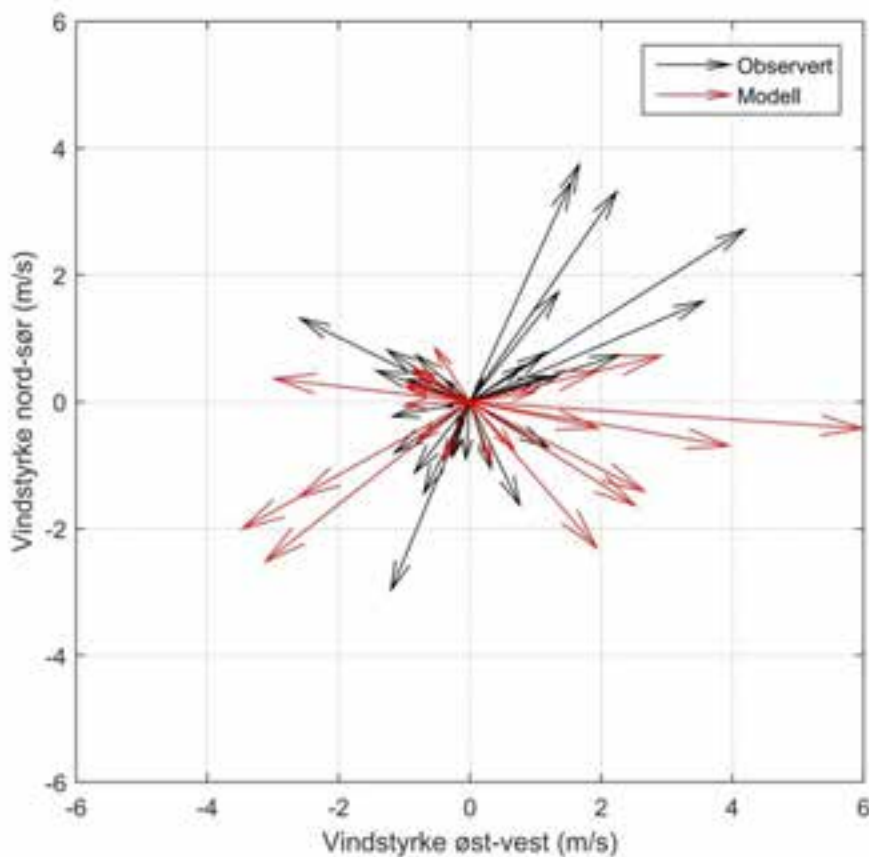
Figur 8. Utsnitt av modellgriddet. Den horisontale oppløsningen til modellgriddet er variabel. I nærheten av Rana Industriterminal er oppløsningen omtrent 120-180 m.



Figur 9. Illustrasjon av prosesser i forbindelse med partikkeltransport i GEMSS-STM.

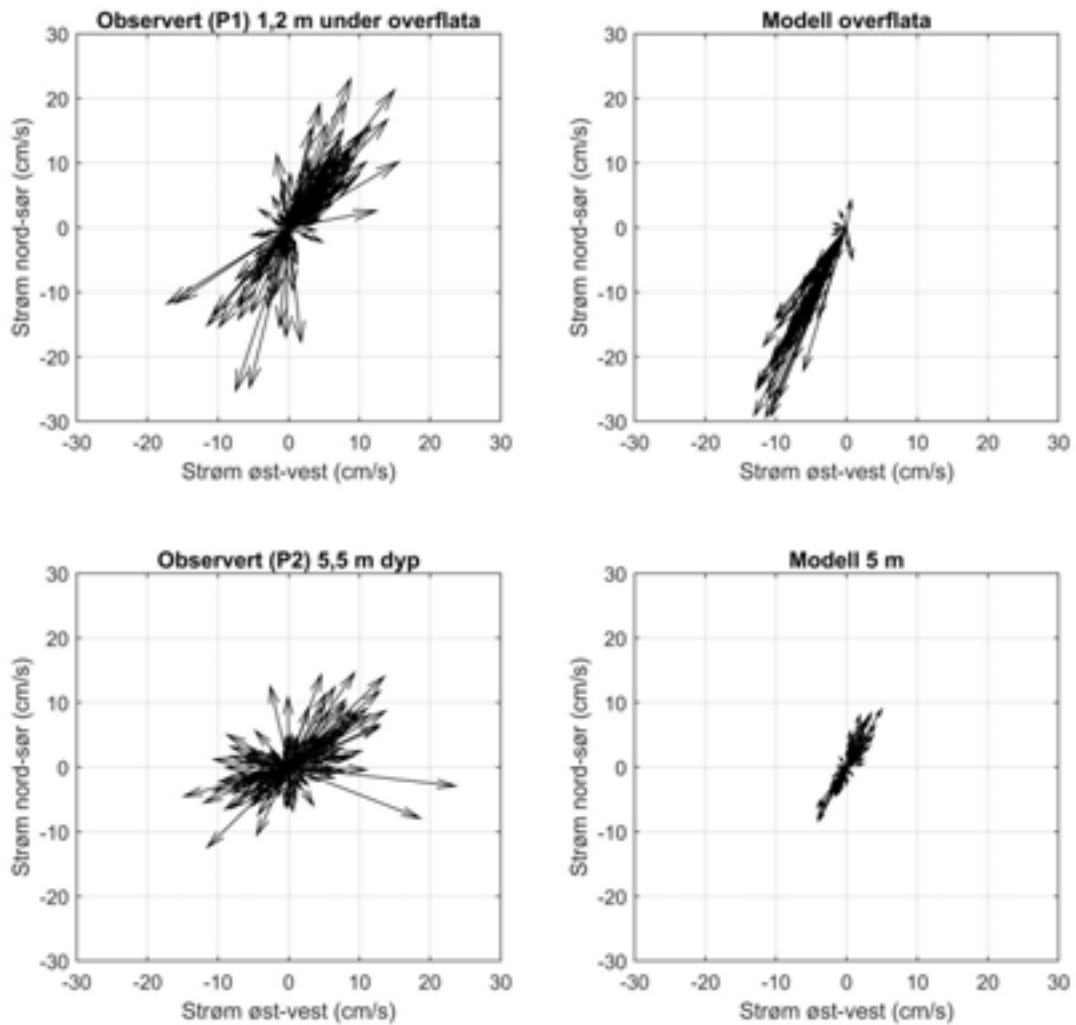
3.2 Validering av modellen

For å teste hvor godt modellen gjenskaper strømbildet utenfor Rana Industriterminal, ble det gjort en modellkjøring hvor vannføringen som ble lagt inn i modellen, var tilsvarende det som ble observert i måleperioden. Det ble benyttet målt vannføring fra Ranelva (se **Figur 4**). Modellresultater ble hentet ut fra et punkt i modellen som tilsvarer en posisjon omtrent midt i mellom stasjon P1 og P2 i **Figur 5**. Vinden var noe forskjellig i modellkjøringen sammenlignet med observert vind fra Skandal værstasjon. I modellen blåste det mer fra vest enn i observasjonene, hvor det blåste mer fra sørvest. Vannføringen i Ranelva var i gjennomsnitt $282 \text{ m}^3/\text{s}$ i valideringsperioden, men hvor verdien varierte mellom 107 og $376 \text{ m}^3/\text{s}$ (se **Figur 10**).



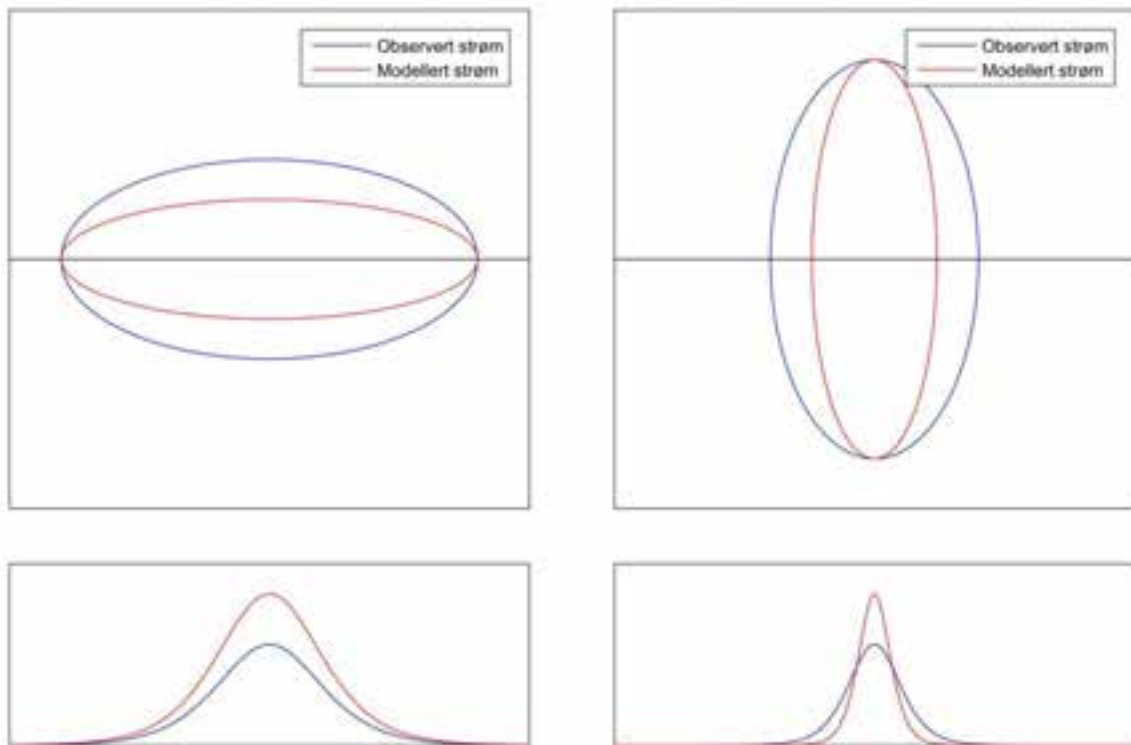
Figur 10. Sammenligning av observert vind (svart) og vind i modellen (rødt) i valideringsperioden.

I modellens overflatelag er strømmen betydelig mer ensrettet enn det som er observert en meter under overflata på stasjon P1 (**Figur 11**). Det er observert at det i overflata kan bli sterk strøm som strømmer i nordøstlig retning. I modellen strømmer det hovedsakelig kun i sørvestlig retning. I modellen finner man igjen en nordøstlig strøm rett under et relativt tynt overflatelag. På stasjon P2 på omtrent 5 m dyp ble det observert at strømmen strømmet fram og tilbake langs bunntopografien. Det samme skjer i modellen på 5 m dyp. Forskjellen er at i observasjonene er strømretningen mer diffus, mens den i modellen er mer ensrettet. Strømstyrken er noe svakere i modellen enn i observasjonene på 5 m dyp.



Figur 11. Observert strøm (venstre kolonne) sammenlignet med modellert strøm (høyre kolonne). Øverst vises strømmen nær overflata. De to nederste figurene viser strømmen i omtrent 5 m dyp. Modellresultatene er hentet fra modellscenariet VAL fra **Tabell 4**.

I **Figur 12** er det illustrert hvordan virkning strømmen kan ha på spredningsmønsteret. Den modellerte strømmen er mer ensrettet enn den observerte strømmen, som er mer diffus. De to øverste figurene i **Figur 12** viser skjematisk hvordan spredningsskya vil se ut sett ovenfra. I den venstre figuren er strømmens hovedretning langs x-aksen, mens den i den høyre figuren er langs y-aksen. Den observerte strømmen vil spre partikler utover et større areal, enn den modellerte strømmen. Men partikkelkonsentrasjonen (eller sedimenttykkelsen) vil bli større når arealet partiklene spres utover er mindre. Det er altså forventet at i modellen i området nær Rana Industriterminal vil overestimere sedimenttykkelsen noe, men at partiklene sedimenterer over et noe mindre område.



Figur 12. Illustrasjon av hvordan virkningen av en modellstrøm som er noe svakere og mer ensrettet, enn observert strøm, har på spredningsmønsteret. Blått illustrerer spredning med sterkere og mer diffus strøm, mens rødt illustrerer spredningsmønsteret av en noe svakere og mer ensrettet strøm. De to øverste figurene viser spredningen sett ovenfra. De to underste figurene viser spredning sett fra siden, på tvers av de svarte linjene over.

4. Beskrivelse av utslippet ved mudring

4.1 Massebudsjett

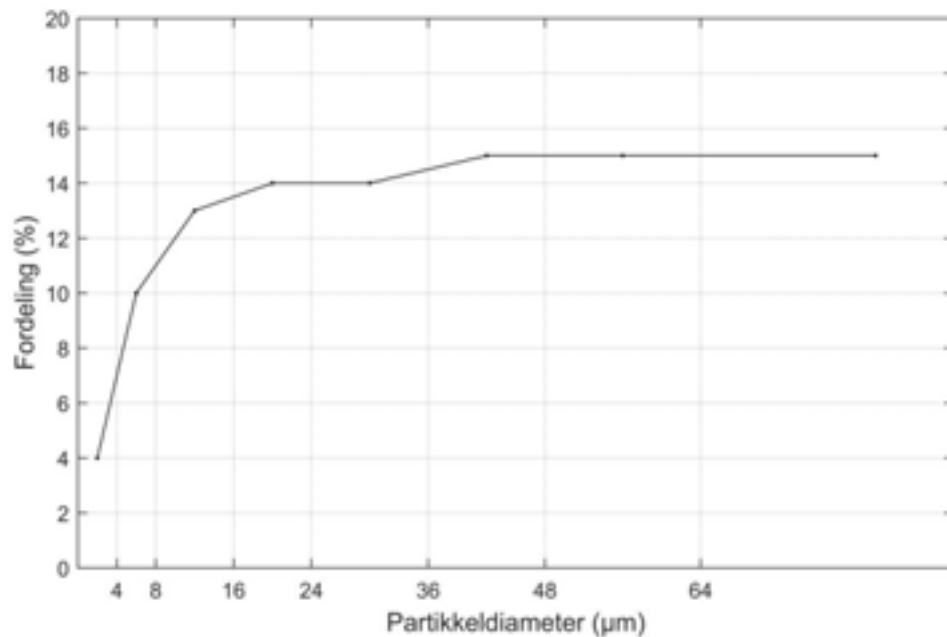
Å beskrive spredning av partikler i forbindelse med mudring er en utfordring. Hvor stor andel som spres er knyttet til hvilken type mudringsutstyr som vil benyttes. Hvis det benyttes en miljøgrabb så vil det bli et sug når grabben tas opp fra bunn, som vil spre partikler, i tillegg til at en del vil lekke ut av grabben på vei opp. Ved sugemudring så vil en betydelig mindre andel av partiklene spres. I denne rapporten er det antatt at 2 % av den totale massen som skal mudres blir spredd. I Multiconsult sin vurdering av spredning ved mudring i Harstad ble det samme tallet benyttet (Elin Kramvik, Multiconsult, personlig kommunikasjon). Det er stor usikkerhet knyttet til dette tallet, men vi anser dette for å være et konservativt anslag. Alle resultatene om spredning som presenteres i denne rapporten, vil påvirkes av denne antagelsen.

Modellen beregner spredning av åtte forskjellige sedimentklasser med kornstørrelse mindre enn 100 µm. Nøyaktig kornfordeling er ikke kjent, men det fins bra datagrunnlag for hvor stor andel av partiklene som er mindre enn 63 µm. Prøver av sedimentet på 9 stasjoner i mudringsområdet i mars 2015 viste at 69-89 % var mindre enn 63 µm (se **Figur 6**). Analyser på fem stasjoner i mudringsområdet utført av Multiconsult viser at andel av sedimentet som er mindre enn 2 µm var mellom 1-3 % (Hasle, 2014). I denne rapporten er det benyttet en kornfordeling som har følgende egenskaper: 85 % av stoffet er mindre enn 64 µm og 4 % er mindre enn 4 µm. Kornfordelingen er vist i kolonne en og to **Tabell 1**, og i **Figur 13**.

Flere forskjellige alternative utformede kaier blir nevnt i et notat fra Multiconsult som er var vedlegg til søknad om utvidelse av RIT (Kramvik, 2015). I denne rapporten tas det utgangspunkt i 200 m lang cellespункtkai, som er det mest realistiske alternativet (Rolf Jenssen, Mo Industripark, personlig kommunikasjon). I dette alternativet vil det mudres et volum på 135 000 m³. Ved å anta at tettheten til det våte sedimentet er 1,2 tonn/m³, vanninnholdet 50 % og at 2 % av massen spres, slik som nevnt over, så vil totalt 1620 tonn masse spres i løpet av hele perioden hvor mudring vil foregå. Den totale massen er fordelt på de forskjellige kornstørrelsene i **Tabell 1**. Tallene i kolonnen helt til høyre er benyttet som inngangsdata til spredningsberegningene i modellen. Andelen som sedimenterer og som er suspendert i vannmassene (se **Tabell 1**) er basert på modellberegningene.

Tabell 1. Kornfordeling og total masse som spres i modellen. Fordelingen mellom hvor mye som sedimenterer og hvor mye som er suspendert i vannmassene, er basert på modellberegningene.

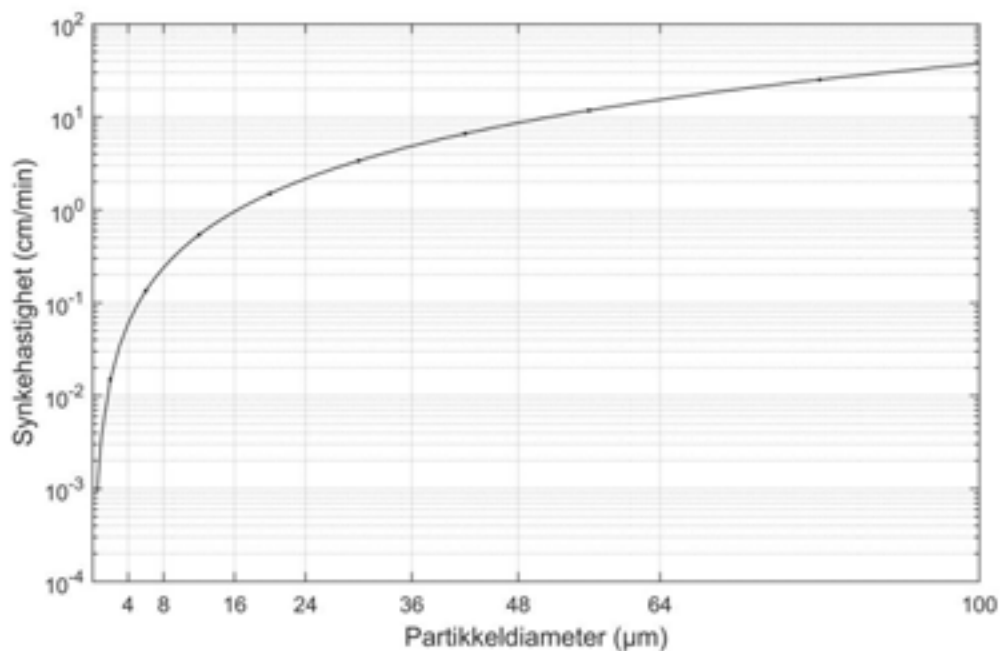
Kornstørrelse (µm)	Kornfordeling (%)	Sedimentert (tonn)	Suspendert (tonn)	Totalt (tonn)
0 - 4	4	0,1	64,7	64,8
4 - 8	10	1,5	160,5	162,0
8 - 16	13	10,7	199,9	210,6
16 - 24	14	47,1	179,7	226,8
24 - 36	14	120,7	106,1	226,8
36 - 48	15	188,2	54,8	243,0
48 - 64	15	215,6	27,4	243,0
64 - 100	15	232,0	11,0	243,0
Sum	100	815.8	804.2	1620.0



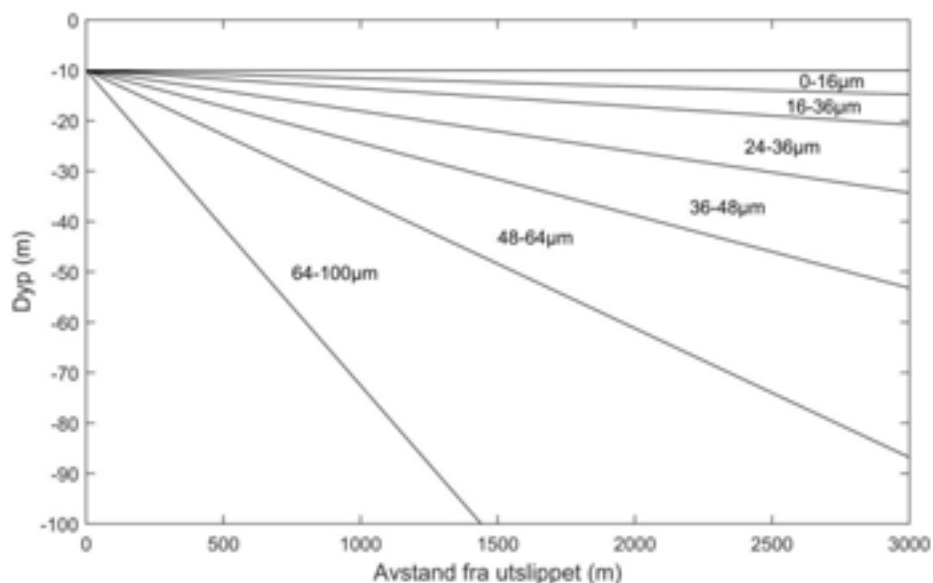
Figur 13. Kornfordelingskurve brukt i modelleringen av utslippet.

4.2 Synkehastighet

Modellen beregner synkehastighet ut ifra Stokes lov og dette er vist i **Figur 14**. Hvis vi tar utgangspunkt i disse synkehastighetene og basert på **Figur 11** en strømstyrke på 10 cm/s, kan vi få et innledende bilde av hvordan partikler med forskjellig kornstørrelse vil spres. I **Figur 15** vises mulige partikkelbaner for partikler sluppet ut i 10 m dyp, vist som svarte kurver. Det er tydelig at alt finstoff potensielt kan spres over hele indre del av Ranfjorden som er vist i **Figur 1**.



Figur 14. Synkehastighet etter Stokes lov.



Figur 15. Beregnede partikkelbaner for partikler med forskjellig kornstørrelse, basert på en strømhastighet på 10 cm/s.

4.3 Forurensede sedimenter

I undersøkelser utført av Multiconsult ble det foretatt analyse av miljøgiftinnhold i sedimentene i mudringsområdet (Hasle, 2014). Det ble tatt prøver av de øverste 10 cm av sedimentene på fem stasjoner, og prøver i 40-50 cm dyp på en stasjon. Basert på dette ble det konkludert med at de øverste 50 cm av sedimentene er forurensede. Basert på et mudringsareal på 37 000 m², som tilsvarer det grønne området i **Figur 5**, så utgjør dette 90 tonn tørr masse som spres. Det er da benyttet samme tetthet og vanninnhold, og antatt at like stor andel spres (2 %). Middelerdien for de fem prøvene i overflatesedimentet er antatt å representere konsentrasjonen i hele den forurensede massen. Beregnet total mengde av utvalgte miljøgifter er vist i **Tabell 2**.

Tabell 2. Beregnet total mengde med forurensede sedimenter som antas å spres, gitt at 2 % av det totale mudringsvolumet spres. Andelen som sedimenterer og som er suspendert i vannmassen er basert på modellberegningene. Konsentrasjonene brukt i beregningene er utarbeidet basert på Hasle (2014).

Stoff	Sedimentert	Suspendert	Totalt	Konsentrasjoner brukt i beregningene
Total masse (tonn)	815,8	804,2	1620,0	
Forurenset masse (tonn)	111,8	110,2	222,0	
Bly (Pb) (kg)	9,6	9,4	19,0	85,72 mg/kg
Kobber (Cu) (kg)	7,2	7,1	14,3	64,34 mg/kg
Sink (Zn) (kg)	33,7	33,3	67,0	301,8 mg/kg
Benso(a)pyren (g)	75,9	74,8	150,6	678,6 µg/kg
Sum PAH16 (g)	755,3	744,5	1499,8	6756 µg/kg
Sum PCB7 (g)	2,0	2,0	4,0	17,80 µg/kg
Tributyltinn (TBT) (g)	4,3	4,3	8,6	38,8 µg/kg

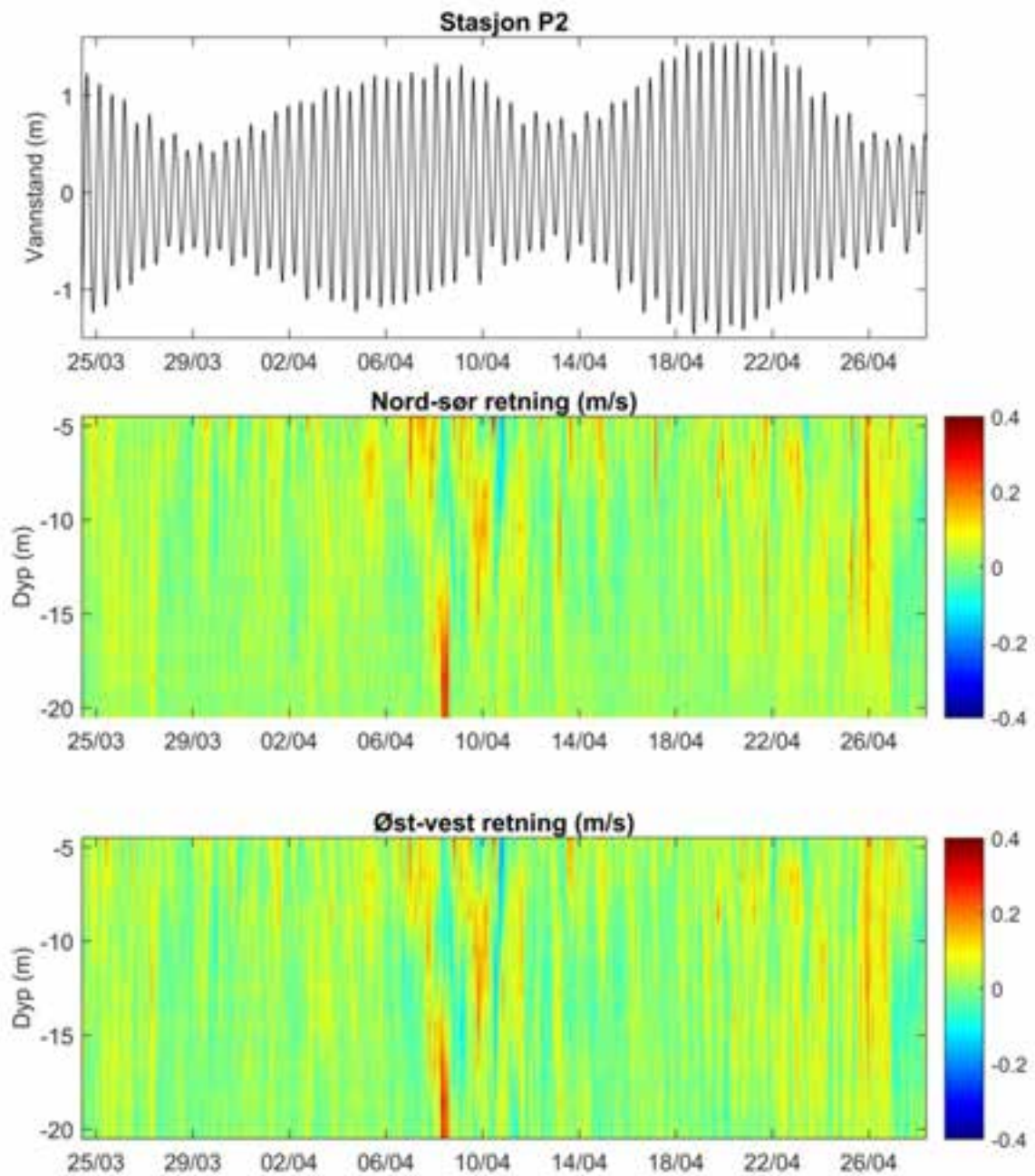
5. Kartlegging av strømforholdene

5.1 Kartlegging av strømforholdene med observasjoner

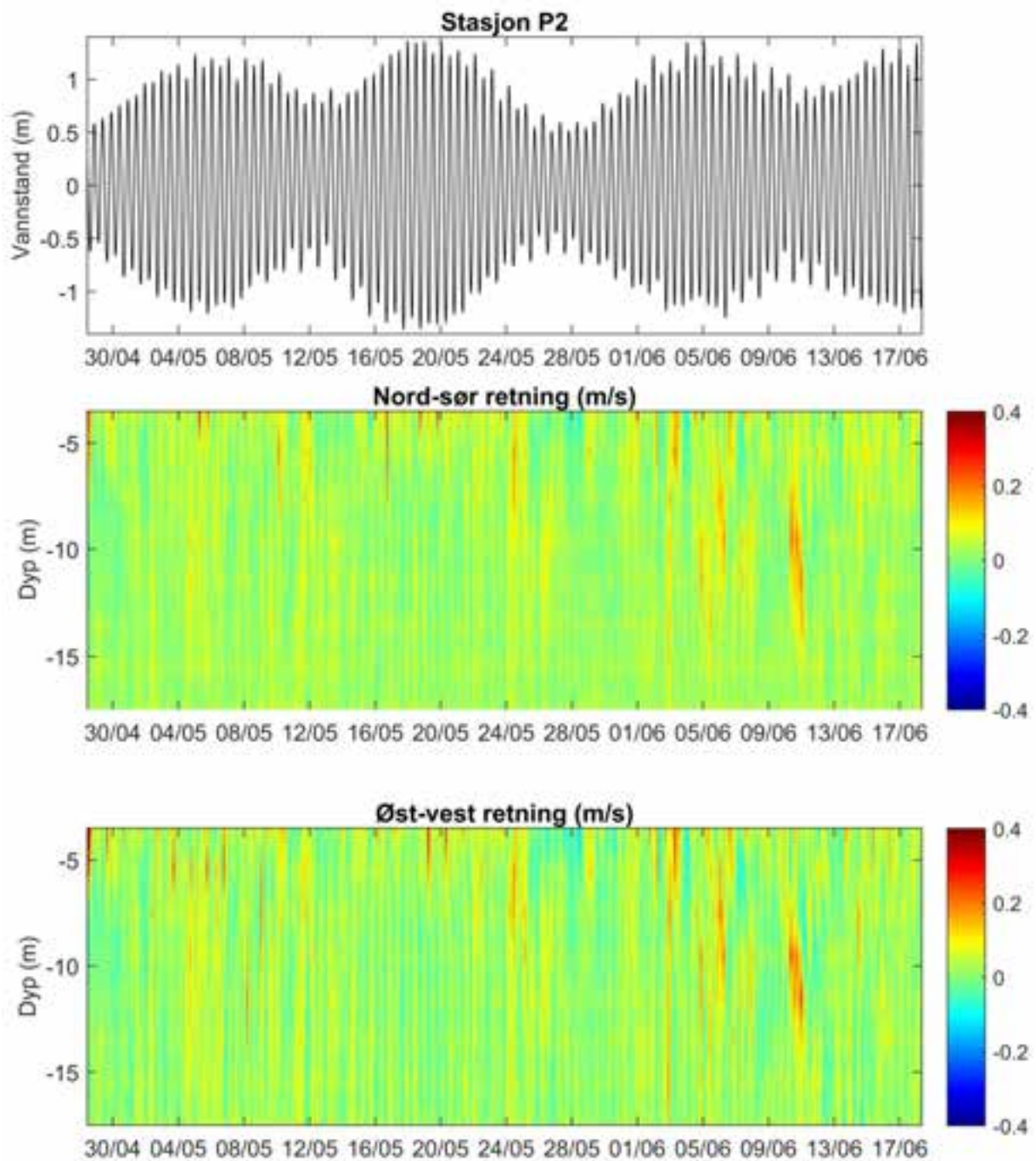
Det ble foretatt strømmålinger i to posisjoner, i overflata ved P1 og i hele vannsøylen ved P2 (se **Figur 5**). **Figur 16** og **Figur 17** viser målt strøm på stasjon P2. Strømretningen er hovedsakelig rettet langs bunntopografien. Kraftige strømmer med hastighet opp mot 0,4 m/s opptrer innimellom i et lite forutsigbart mønster. Variabiliteten i strømmen kan deles opp i en del som kan knyttes til tidevannsvariasjon med typiske perioder på 12 og 24 timer (tidevannsstrøm), en del som varierer saktere enn 24 timer (middelstrøm) og en del som varierer med kortere irregulære perioder. Tidevannsstrømmen er forårsaket av varierende vannstand. Mittelstrømmen kan knyttes til meteorologiske forhold som gir vindstress på overflata eller endrer vannføringen i elvene. **Tabell 3** viser maksimal observert strøm, tidevannsstrøm og middelstrøm i hvert dyp på stasjon P2. Fra tabellen ser vi at middelstrømmen forklarer en større andel av den observerte maksimalstrømmen enn det tidevannet gjør.

Tabell 3. Maksimal observert strøm, tidevannsstrøm og middelstrøm i hvert dyp.

Stasjon	Dyp (m)	Max observert strøm (m/s)	Max tidevannsstrøm (m/s)	Max middelstrøm (m/s)
Periode: 24. mars til 28. april				
P1	1,2	0,50		
P2	4,5	0,43	0,09	0,14
	6,5	0,33	0,09	0,13
	8,5	0,35	0,09	0,14
	10,5	0,35	0,06	0,16
	12,5	0,36	0,07	0,15
	14,5	0,34	0,07	0,12
	16,5	0,36	0,06	0,15
	18,5	0,42	0,06	0,13
	20,5	0,40	0,06	0,11
Periode: 28. april til 18. juni				
P1	1,2	0,62		
P2	3,5	0,50	0,06	0,17
	5,5	0,34	0,05	0,17
	7,5	0,30	0,03	0,14
	9,5	0,36	0,04	0,19
	11,5	0,35	0,05	0,15
	13,5	0,25	0,05	0,09
	15,5	0,25	0,04	0,07
	17,5	0,20	0,04	0,03

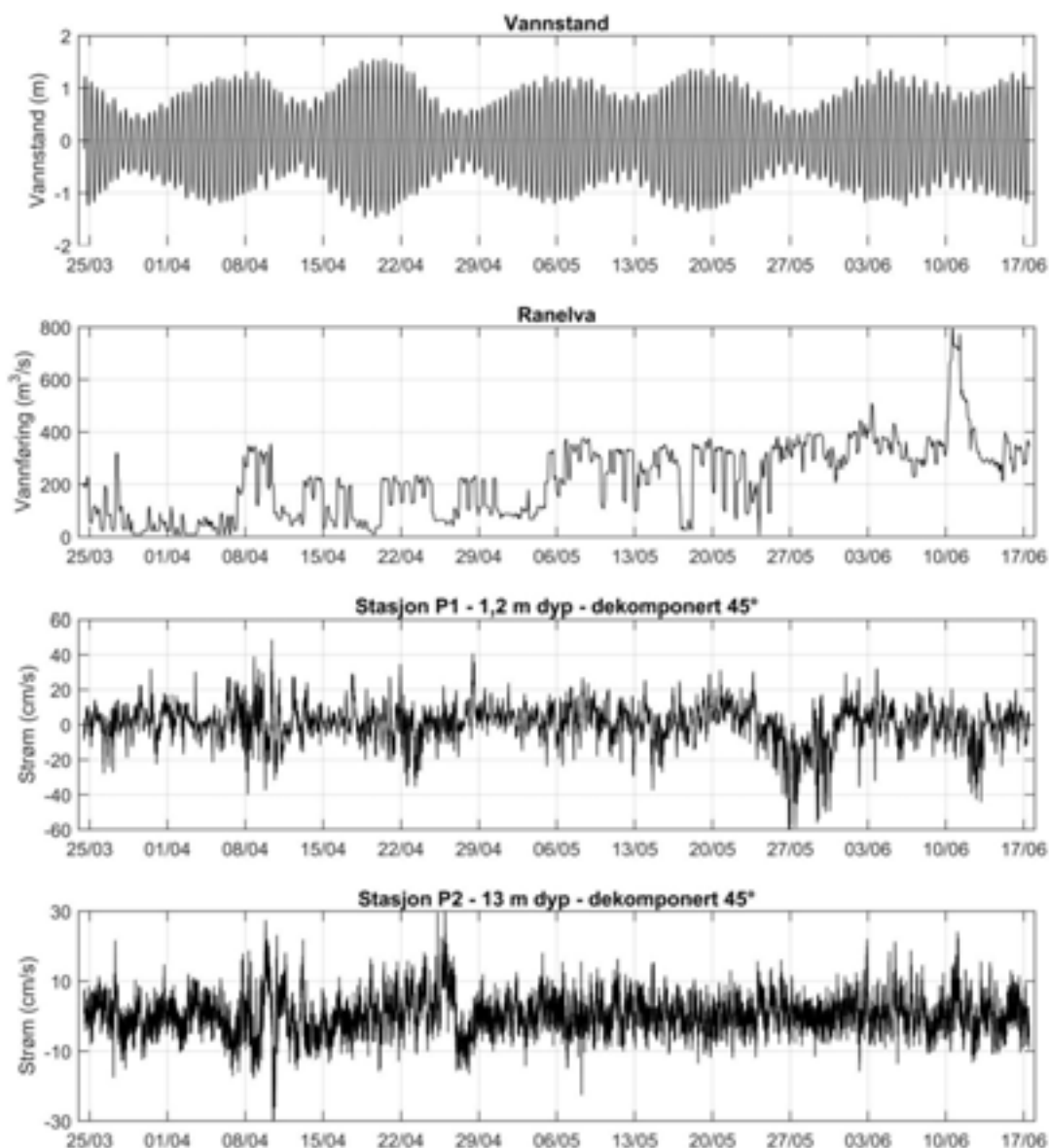


Figur 16. Profilerende strømmålinger på stasjon P2 fra 24. mars til 28. april 2015, nord-sør retning (i midten) og i øst-vests retning (nederst). Dette er sammenlignet med variasjon av vannstanden (øverst). Fargeskalaen angir strømstyrke i m/s, hvor rødt indikerer strøm i nordlig eller østlig retning, mens blå farge indikerer strøm i sørlig eller vestlig retning.

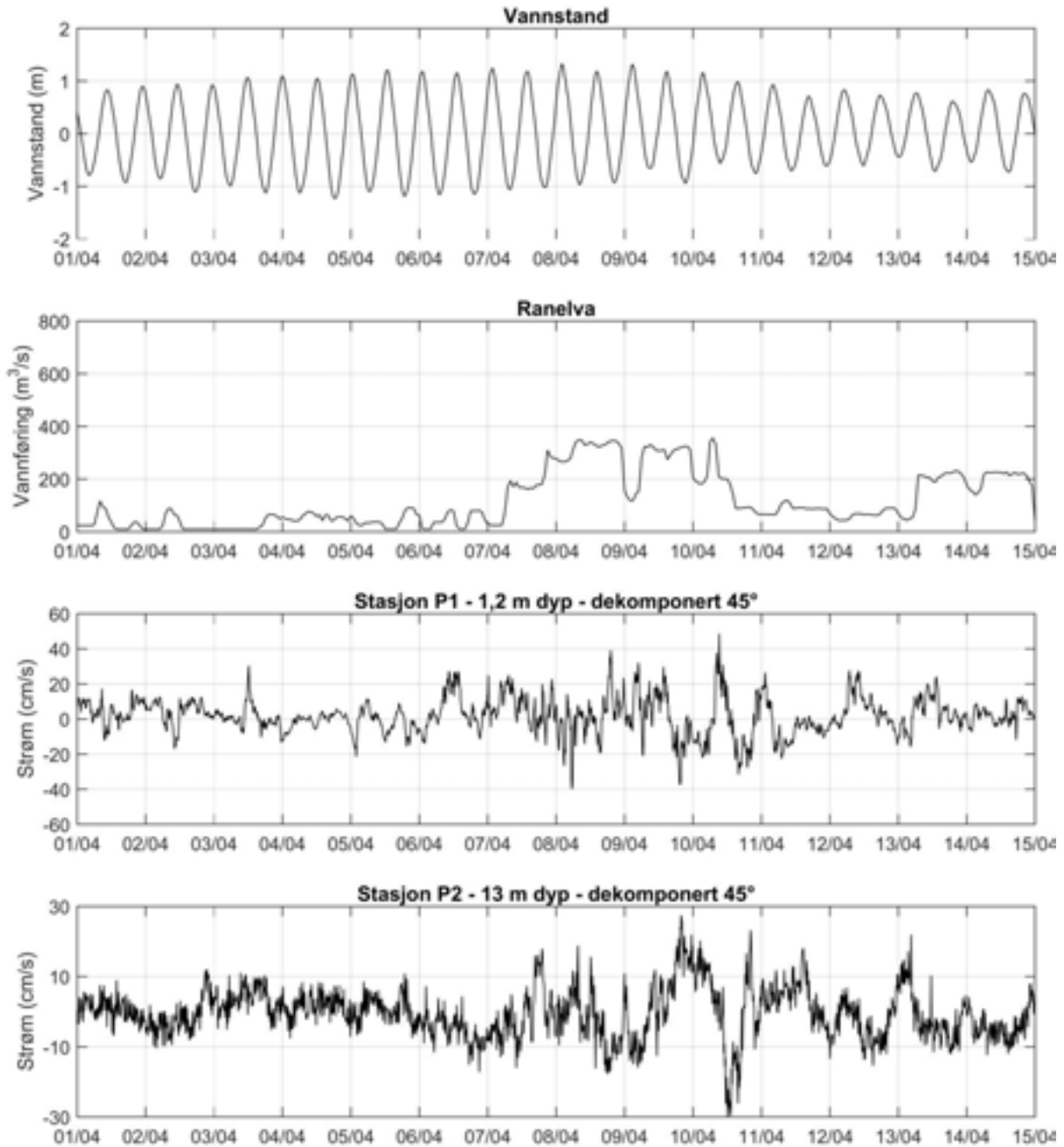


Figur 17. Profilerende strømmålinger på stasjon P2 fra 28. april 2015 til 18. juni, nord-sør retning (i midten) og i øst-vests retning (nederst). Dette er sammenlignet med variasjon av vannstanden (øverst). Fargeskalaen angir strømstyrke i m/s, hvor rødt indikerer strøm i nordlig eller østlig retning, mens blå farge indikerer strøm i sørlig eller vestlig retning.

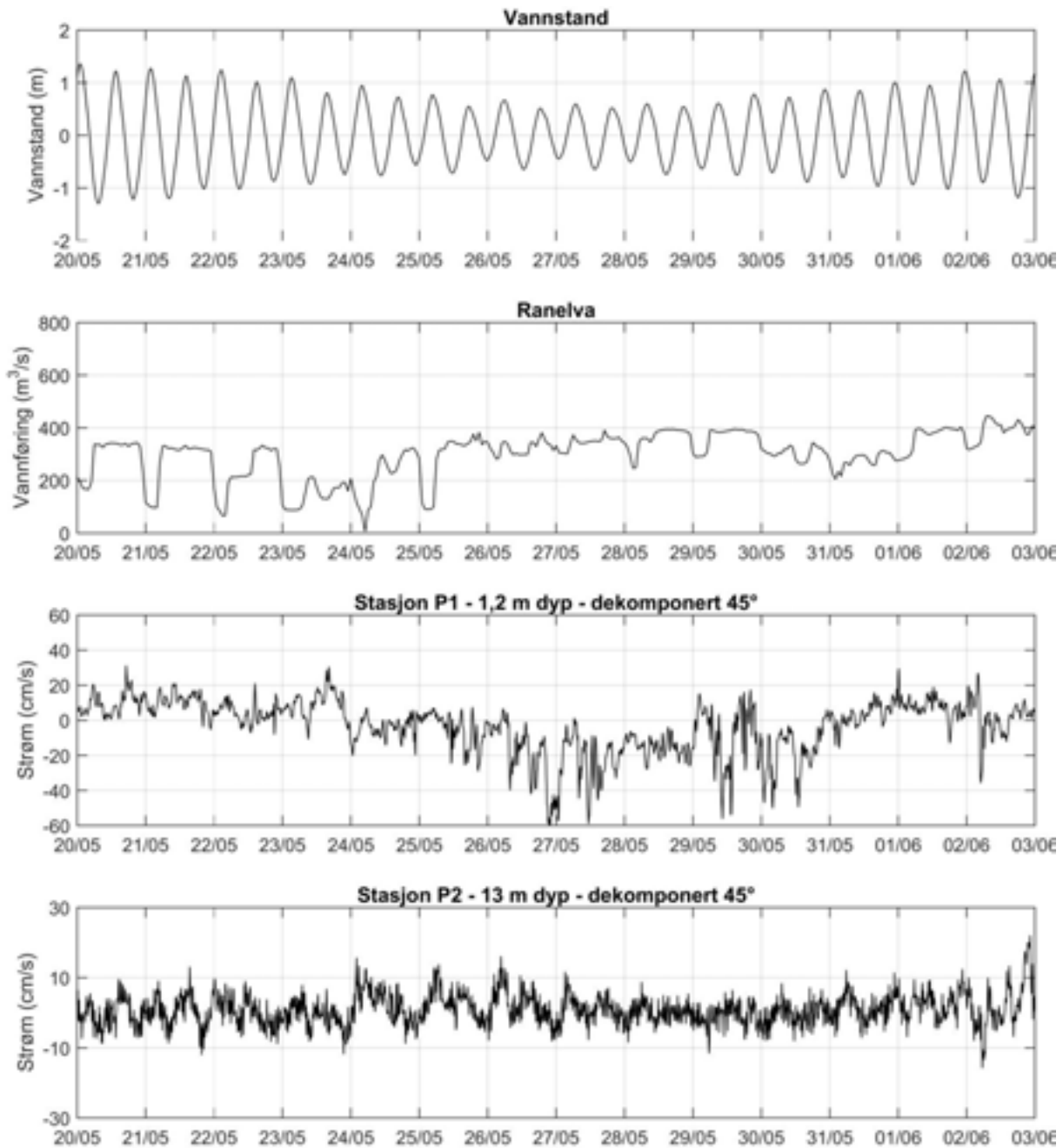
Figur 18 til **Figur 21** viser strømmen dekomponert langs bunntopografien i overflata på stasjon P1 og i 13 m dyp på stasjon P2. Strømmålingene er vist sammen med vannstandsendringer og vannføring i Ranelva. **Figur 18** viser hele måleperioden, og det er tydelig at måleperioden dekker flere spring/nipp-flo perioder. **Figur 19** viser en periode med relativt lave vannføringer. **Figur 20** viser en periode med mye vann i Ranelva men ingen stor flom. **Figur 21** viser en periode hvor det var en kortvarig flom. Ut i fra figurene er det ikke tydelig at vannføringen har en direkte innvirkning på strømstyrken utenfor RIT, selv om ingen veldig kraftige strømepisoder opptrer i den første perioden av måleserien, da vannføringen var svært lav (før 7. april, se **Figur 19**). Ranelva har helt klart en virkning på strømbildet utenfor RIT, men lav vannføring i Ranelva er ingen garanti for at det kun er lave strømhastigheter utenfor kaiområdet. På 13 m dyp kan det være like lave strømhastigheter i perioder med mye vann i Ranelva, som i perioder med svært lite vann i elva. Det kan virke som om høye strømhastigheter opptrer i forbindelse med store *endringer* i vannføringen.



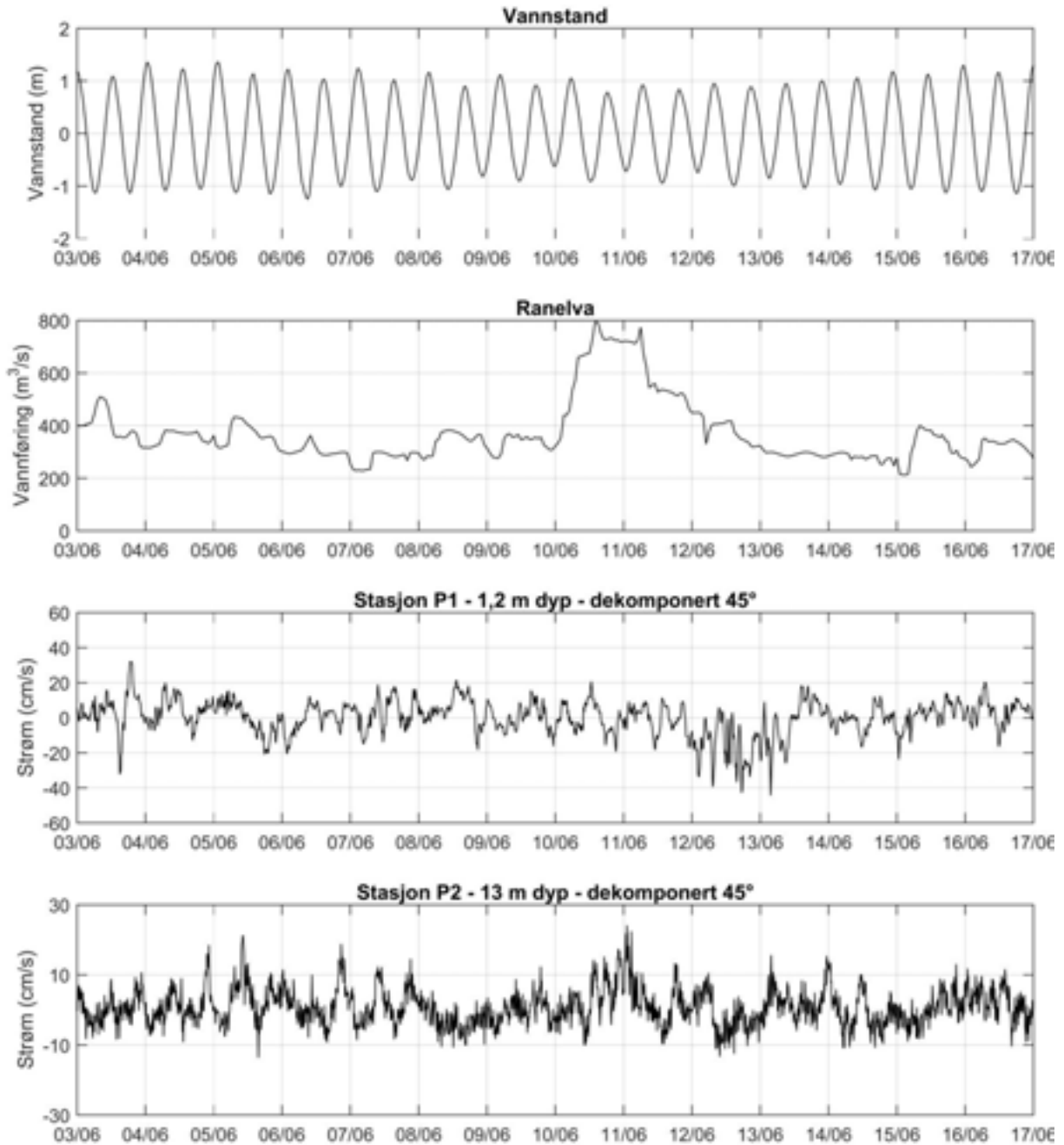
Figur 18. Vannstand, vannføring i Ranelva, strøm på 1,2 m dyp på stasjon P1 og strøm på 13 m dyp på stasjon P2 for hele måleperioden. Strømmen er dekomponert slik at positive verdier går i retningen 45°, og negative verdier i retningen 225°.



Figur 19. Vannstand, vannføring i Ranelva, strøm på 1,2 m dyp på stasjon P1 og strøm på 13 m dyp på stasjon P2 for første del av april 2015. Strømmen er dekomponert slik at positive verdier går i retningen 45°, og negative verdier i retningen 225°.



Figur 20. Vannstand, vannføring i Ranelva, strøm på 1,2 m dyp på stasjon P1 og strøm på 13 m dyp på stasjon P2 for månedsskiftet mai/juni 2015. Strømmen er dekomponert slik at positive verdier går i retningen 45°, og negative verdier i retningen 225°.



Figur 21. Vannstand, vannføring i Ranelva, strøm på 1,2 m dyp på stasjon P1 og strøm på 13 m dyp på stasjon P2 for første del av juni 2015. Strømmen er dekomponert slik at positive verdier går i retningen 45°, og negative verdier i retningen 225°.

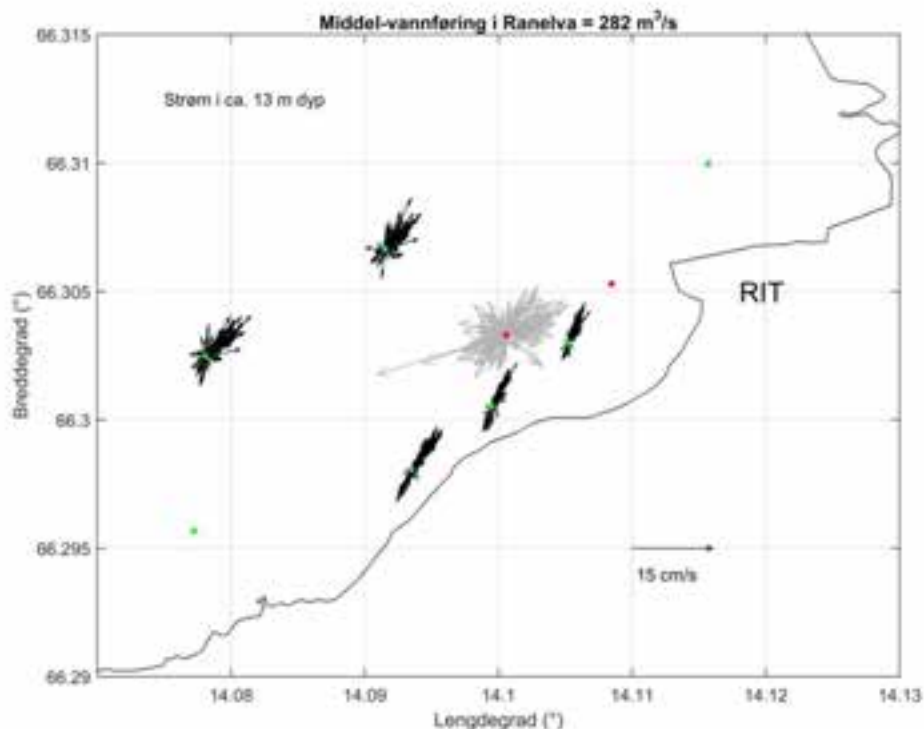
5.2 Effekten av vannføring i Ranelva på strømforholdene

I dette prosjektet ble det kjørt tre modellscenarier med forskjellig vannføring i Ranelva. Sjøktningen i vannmassene, vannstandsendringer og værforhold var likt i de tre modellkjøringene. I et modellscenario ble det benyttet nøyaktig den samme vannføringen som ble målt i perioden hvor strømmålerne var utplassert. Det er resultater fra denne modellkjøringen som er vist i **Figur 11**. Det ble i tillegg til dette kjørt et modellscenario med svært lav vannføring og et hvor vannføringen var konstant lik 1000 m³/s. Modellsenarioene er oppsummert i **Tabell 4**.

Tabell 4. Oversikt over modellscenarier.

Navn	Vannføring i Ranelva
VAL	Realistisk vannføring med middelvei = 282 m ³ /s
LAV	Lav vannføring med middelvei = 12 m ³ /s
FLOM	Konstant vannføring = 1000 m ³ /s

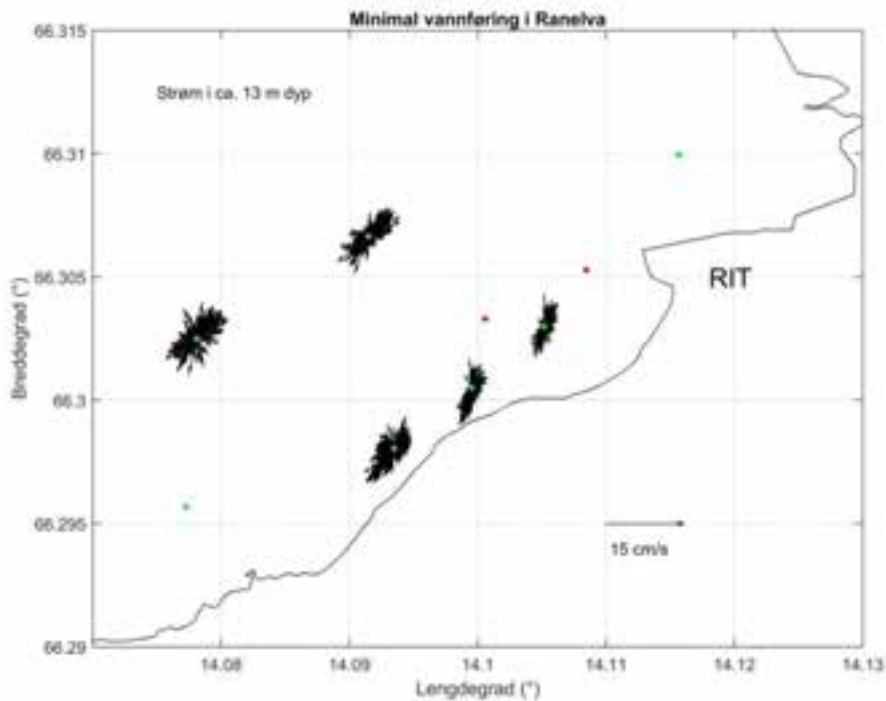
Resultater fra det første scenariet (VAL) for strømbildet i 13 m er vist i **Figur 22**. På fem stasjoner (grønne prikker) er resultater fra modellen vist som svarte strømpiler. På stasjon P2 (rød prikk) er resultatene fra observasjonene i samme dyp som gråe strømpiler. Slik som i 5 m dyp (**Figur 11**) er modellstrømmen mer ensrettet og noe svakere enn det observasjonene viser.



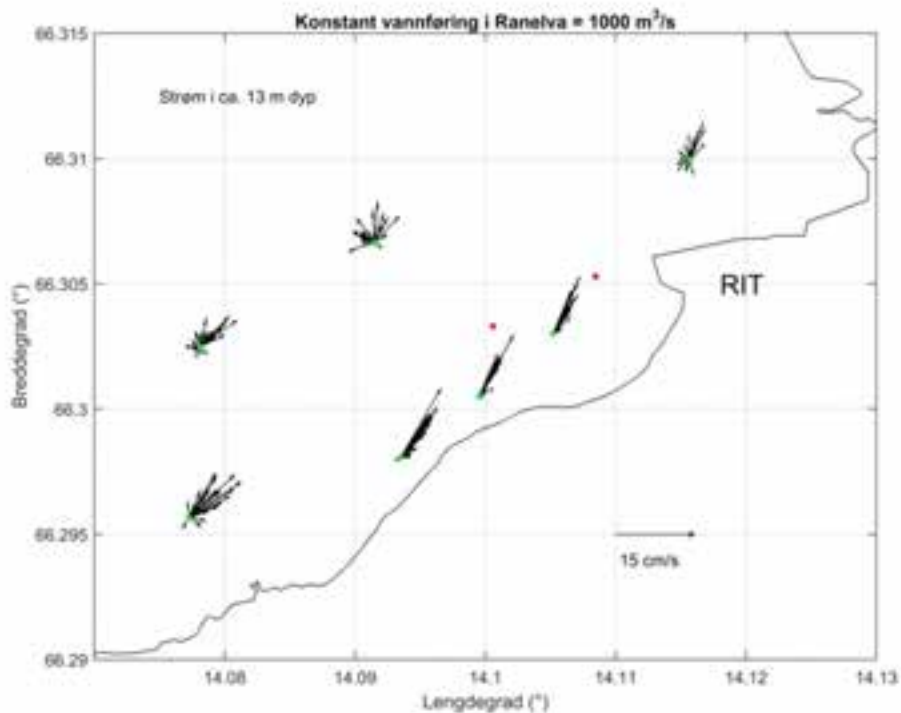
Figur 22. Strøm i ca. 13 m dyp basert på modellscenarioet VAL (se **Tabell 4**). Modellresultater er vist med svarte piler. Observert strøm er vist med grå piler.

Når vannføringen i modellen reduseres i scenario LAV (**Figur 21**), blir modellstrømmen mindre ensrettet og faktisk mer lik observasjonene, selv om strømstyrken er lavere. Når vannføringen økes i modellen i

scenario FLOM (**Figur 24**) går strømmen i 13 m dyp i nordvestlig retning. Strømmen blir ikke vesentlig kraftigere ved høy vannføring, men det kan forventes et spredningsmønster hvor partikler i større grad fraktes inn i Movika.



Figur 23. Strøm i ca. 13 m dyp basert på modellscenariet LAV (se **Tabell 4**). Modellresultater er vist med svarte piler.



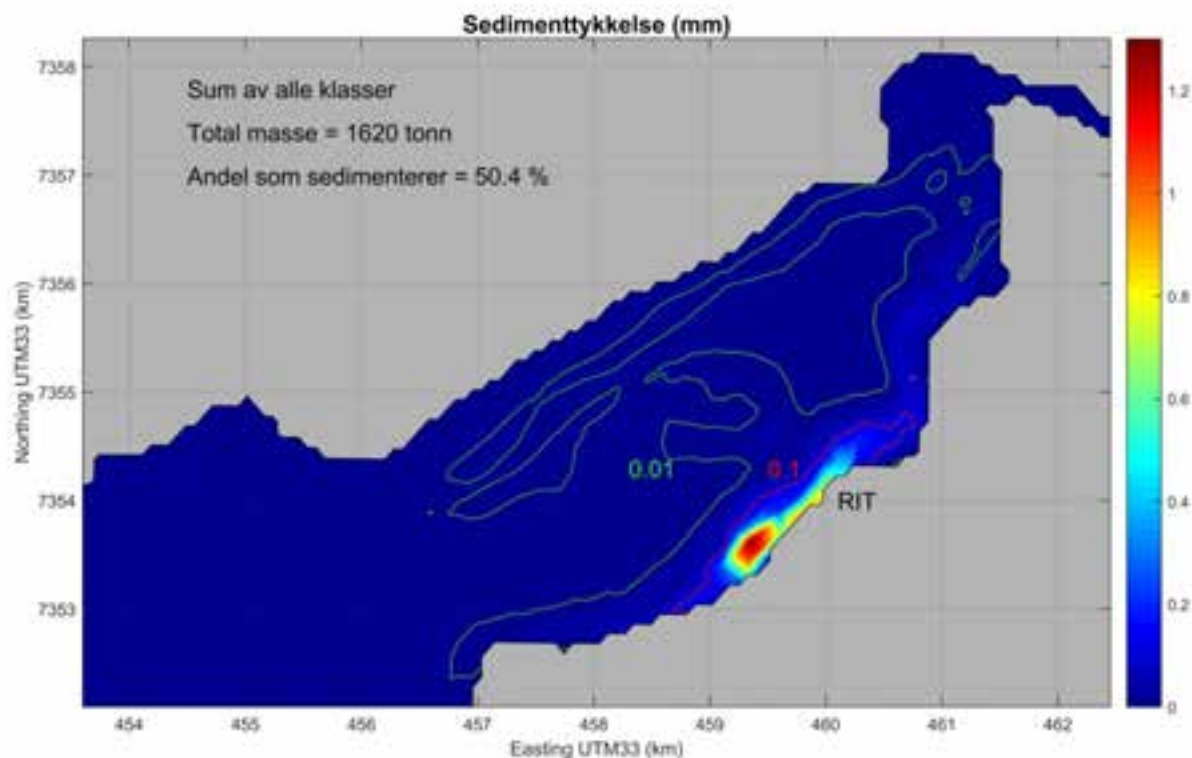
Figur 24. Strøm i ca. 13 m dyp basert på modellscenariet FLOM (se **Tabell 4**). Modellresultater er vist med svarte piler.

6. Spredning av partikler

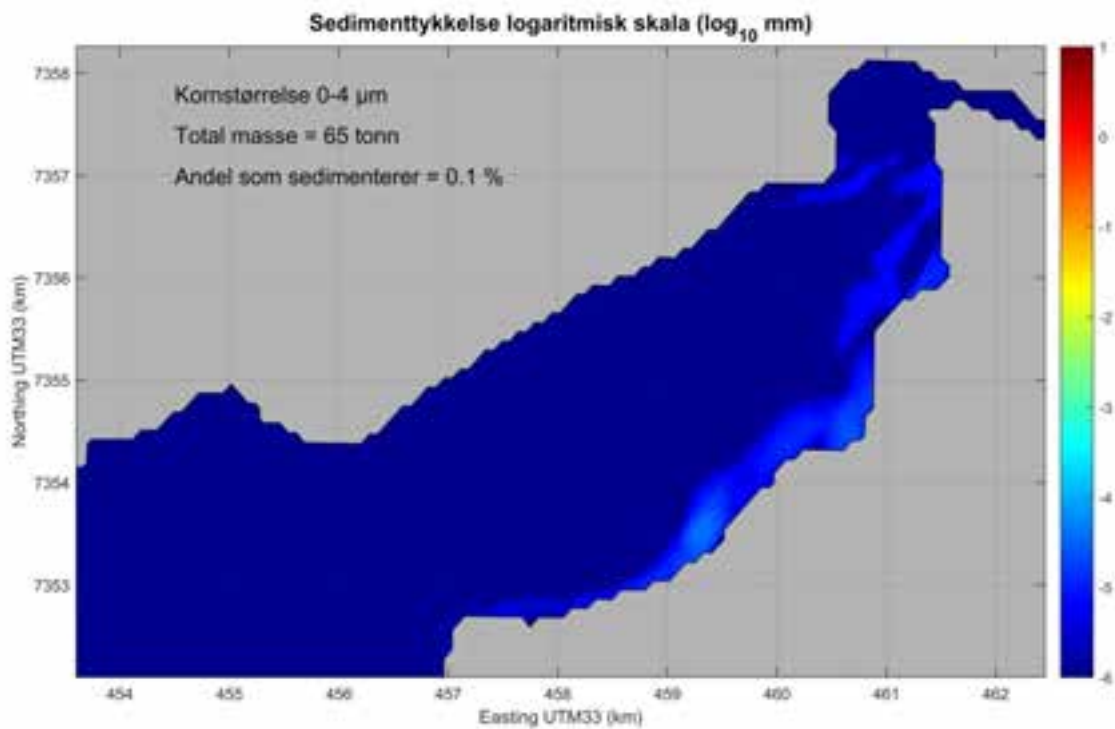
6.1 Vurdering av spredning av total mengde partikler under mudringsoperasjonen

Figur 25 viser tykkelsen av sedimenterte masser som stammer fra mudringsoperasjonen. Fargeskalaen som angir sedimenttykkelse i mm er skalert slik at summert masse i hele modellområdet utgjør 1620 tonn tørr masse, som er lik den totale massen som spres. Av dette er det 50,4 % som sedimenterer. Resten av massen er suspendert i vannmassene og vil spres videre utover i fjorden. For å se i større detalj hvor disse massene ender opp, er sedimenttykkelsen for hver sedimentklasse vist på en logaritmisk skala i **Figur 26** til **Figur 33**. En logaritmisk skala gjør at det er mulig å se også sedimenttykkelser med lav verdi. Dette gir en indikasjon på spredningsmønsteret til de massene som fortsatt er i vannsøylen.

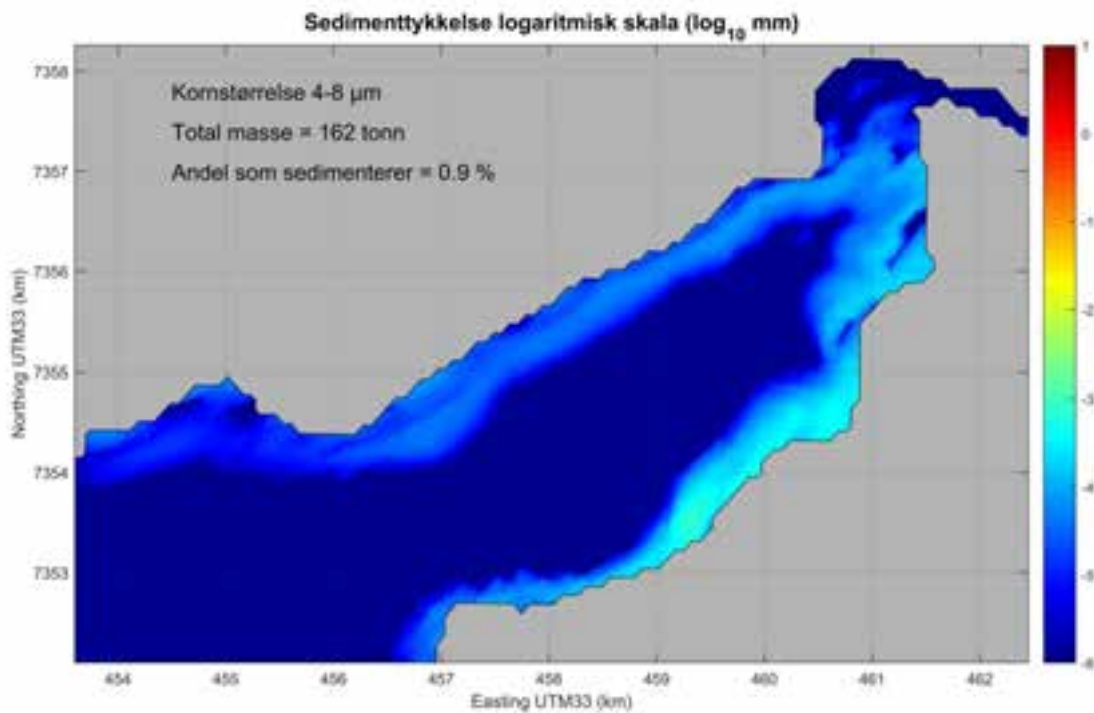
En partikkelkonsentrasjon på 10 mg/L er ikke uvanlig i en elv. Med en vannføring på 300 m³/s som var en typisk verdi i Ranelva i måleperioden, så vil det komme 260 tonn med partikler ut i fjorden fra elva. Den totale massen som antas spres i fjorden, 1620 tonn, tilsvarer altså den samme mengden som kommer fra Ranelva i løpet av omtrent en uke. Siden mudringsoperasjonen vil foregå i en begrenset periode og siden den totale mengden er begrenset vurderes ikke dette som et betydelig miljøproblem i seg selv.



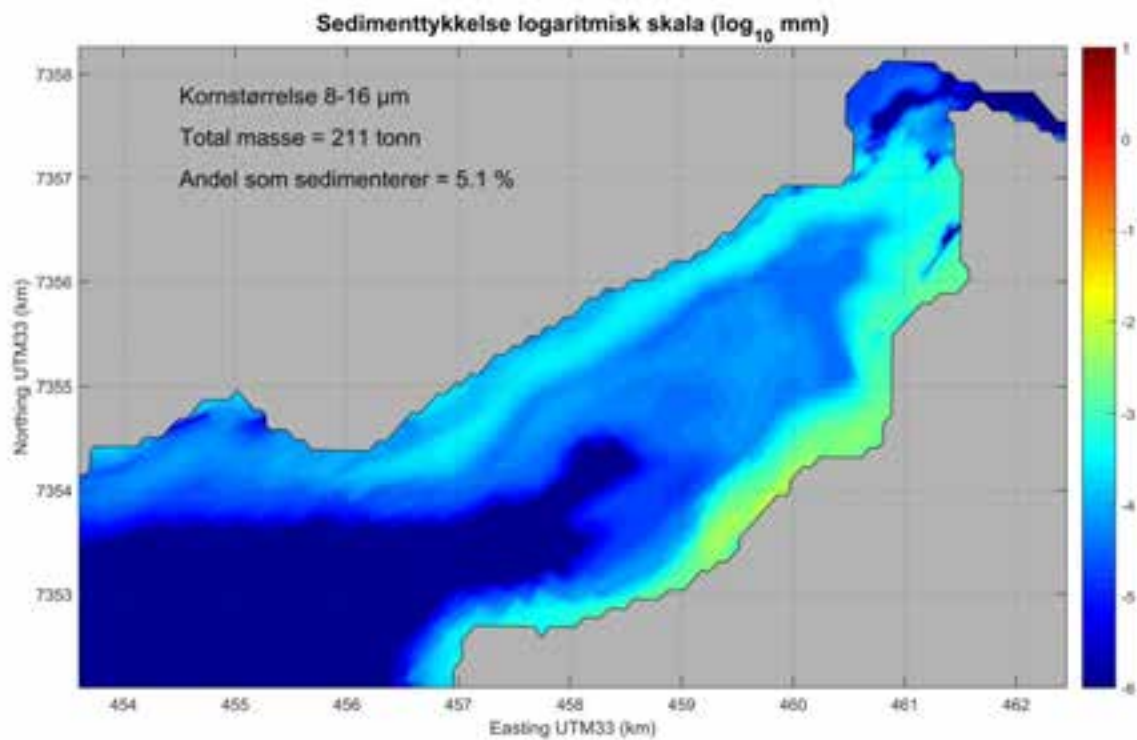
Figur 25. Modellert sedimenttykkelse forårsaket av mudring basert på modellscenariet VAL, gitt at totalt 1620 tonn tørr masse spres i modellen. Fargeskalaen angir sedimenttykkelsen i mm. Konturlinjer for en tykkelse på 0,1 mm og 0,01 mm er tegnet inn med henholdsvis røde og grønne linjer.



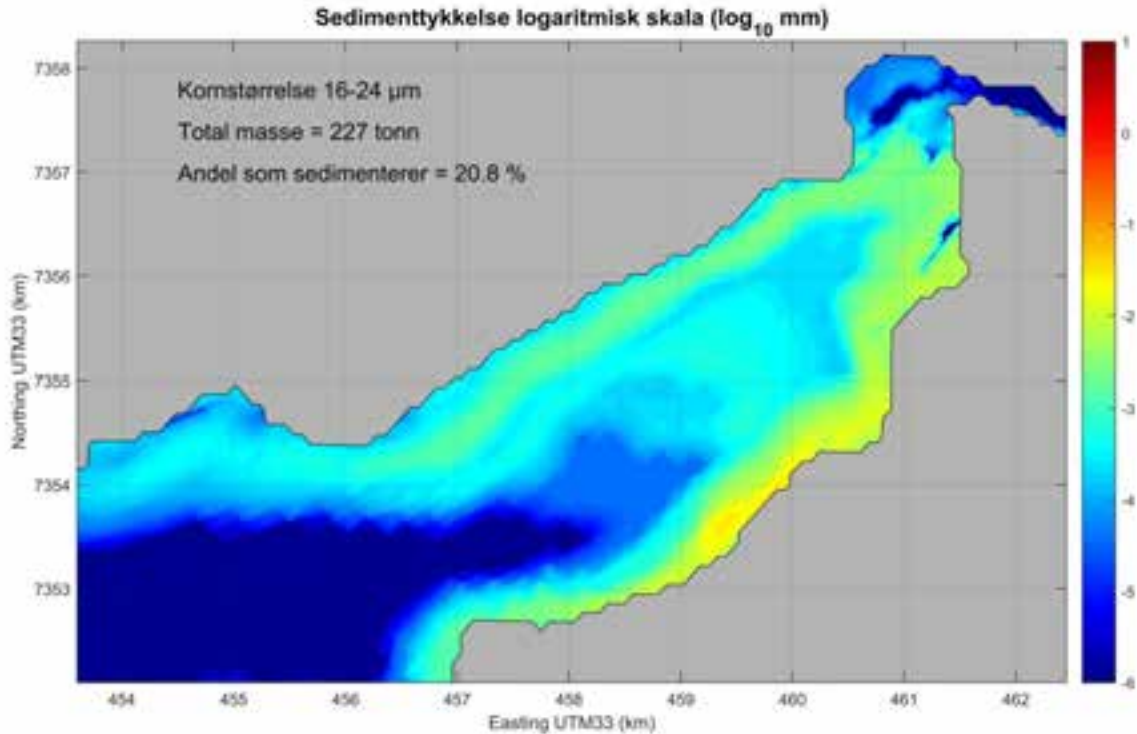
Figur 26. Modellert sedimenttykkelse forårsaket av mudring basert på modellscenariet VAL, for partikler med kornstørrelse 0-4 μm . Fargeskalaen angir sedimenttykkelsen i mm på en logaritmisk skala. Konturlinjer for en tykkelse på 0,1 mm røde linjer.



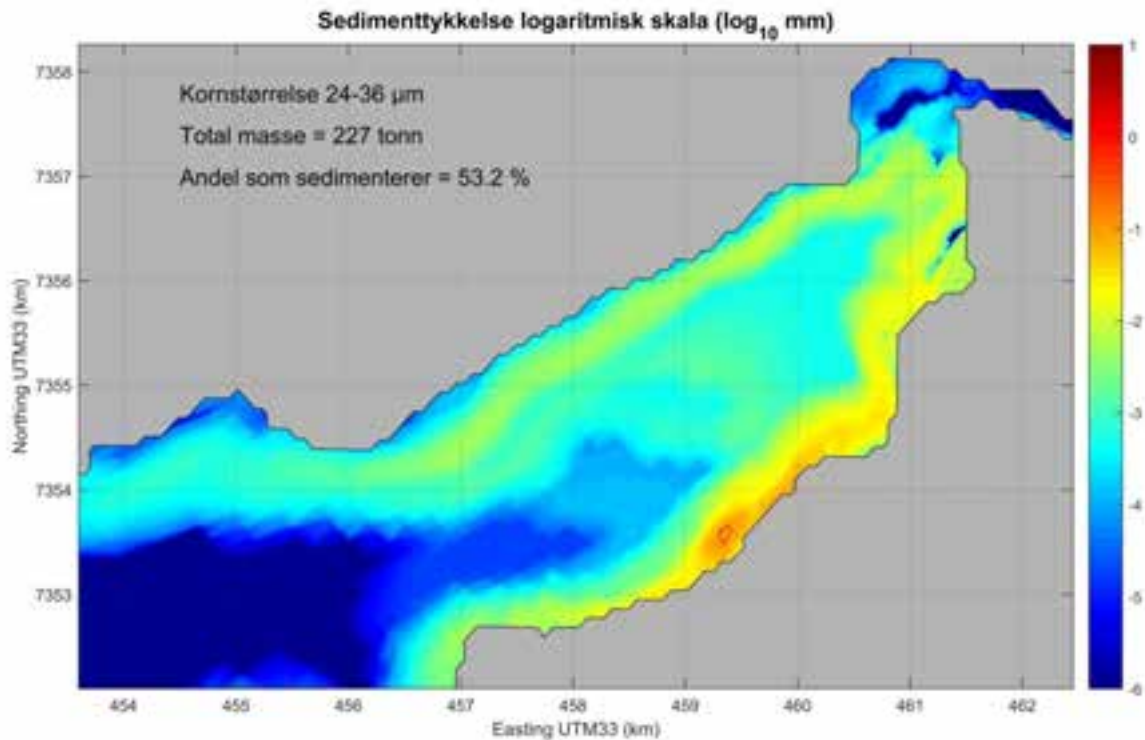
Figur 27. Modellert sedimenttykkelse forårsaket av mudring basert på modellscenariet VAL, for partikler med kornstørrelse 4-8 μm . Fargeskalaen angir sedimenttykkelsen i mm på en logaritmisk skala.



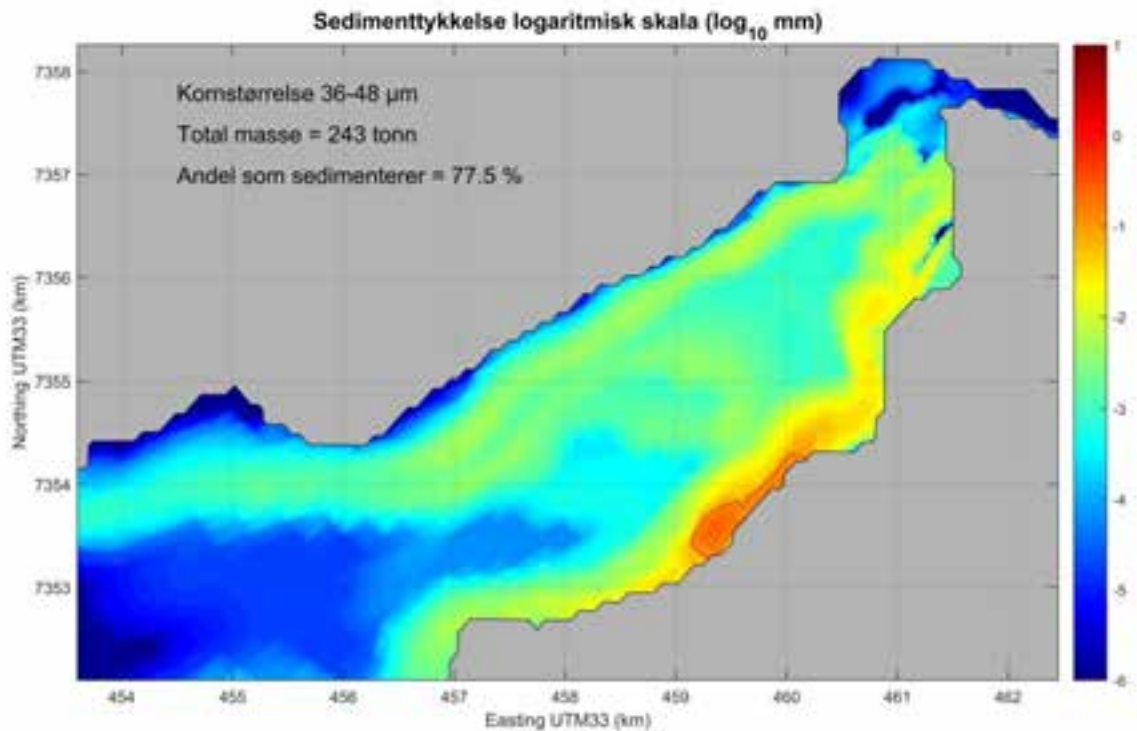
Figur 28. Modellert sedimenttykkelse forårsaket av mudring basert på modellscenariet VAL, for partikler med kornstørrelse 8-16 μm . Fargeskalaen angir sedimenttykkelsen i mm på en logaritmisk skala. Konturlinjer for en tykkelse på 0,1 mm røde linjer.



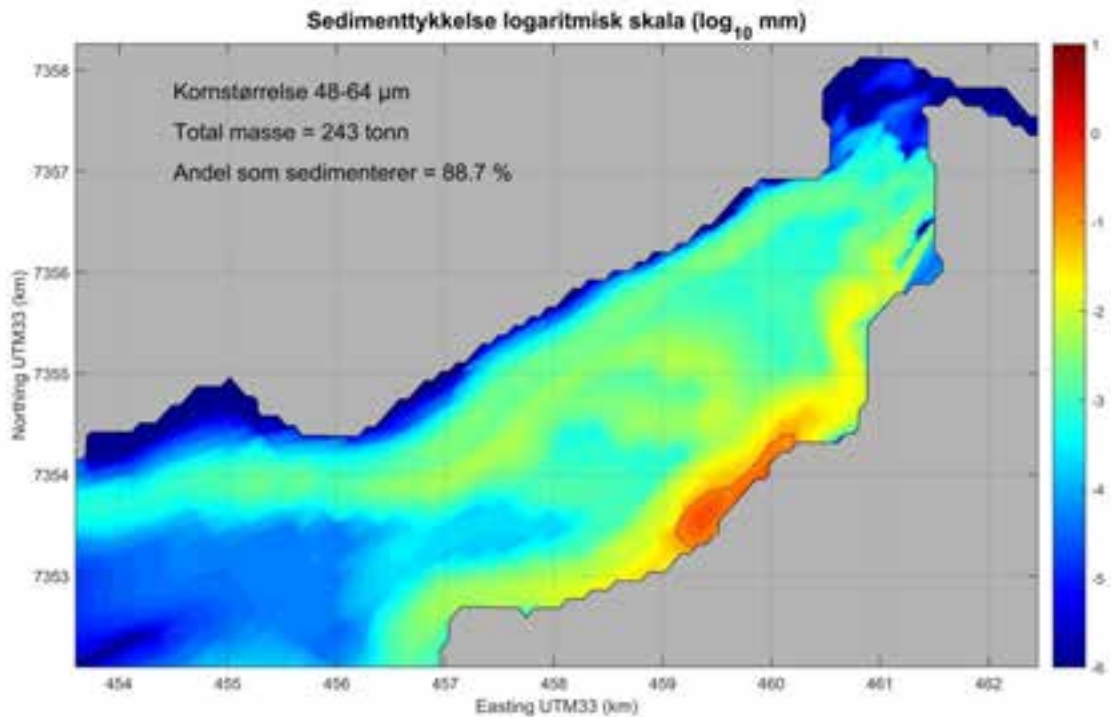
Figur 29. Modellert sedimenttykkelse forårsaket av mudring basert på modellscenariet VAL, for partikler med kornstørrelse 16-24 μm . Fargeskalaen angir sedimenttykkelsen i mm på en logaritmisk skala. Konturlinjer for en tykkelse på 0,1 mm røde linjer.



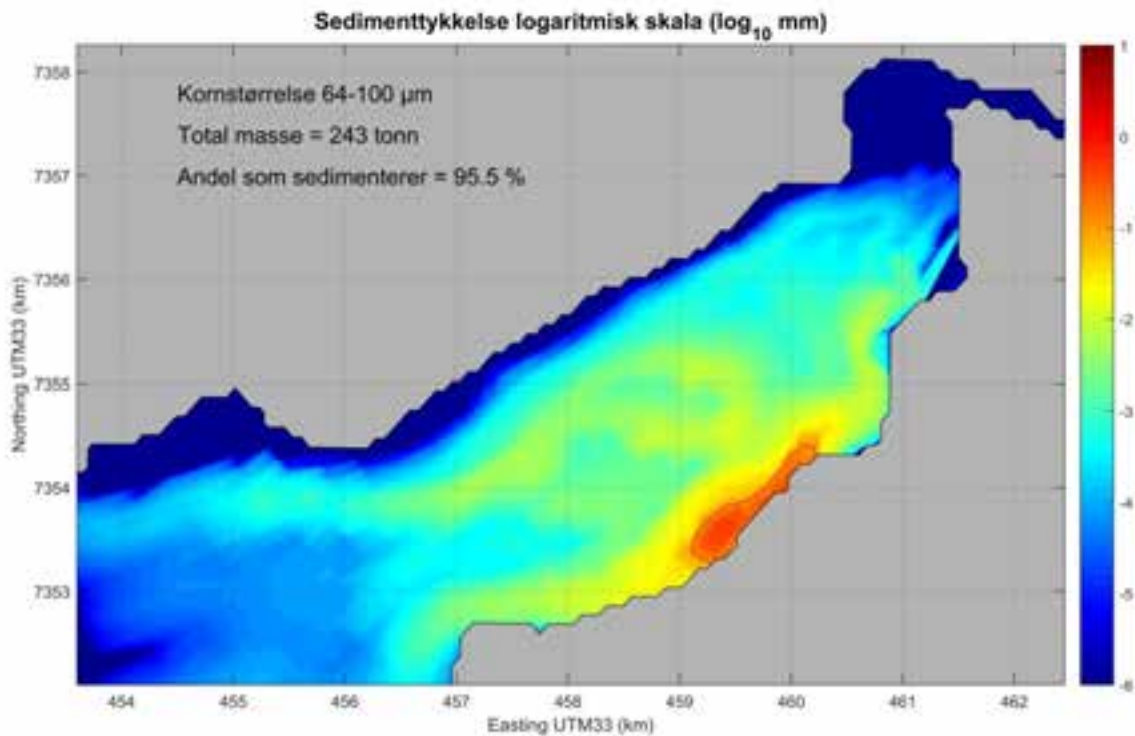
Figur 30. Modellert sedimenttykkelse forårsaket av mudring basert på modellscenariet VAL, for partikler med kornstørrelse 24-36 μm . Fargeskalaen angir sedimenttykkelsen i mm på en logaritmisk skala. Konturlinjer for en tykkelse på 0,1 mm røde linjer.



Figur 31. Modellert sedimenttykkelse forårsaket av mudring basert på modellscenariet VAL, for partikler med kornstørrelse 36-48 μm . Fargeskalaen angir sedimenttykkelsen i mm på en logaritmisk skala. Konturlinjer for en tykkelse på 0,1 mm røde linjer.



Figur 32. Modellert sedimenttykkelse forårsaket av mudring basert på modellscenariet VAL, for partikler med kornstørrelse 48-64 μm . Fargeskalaen angir sedimenttykkelsen i mm på en logaritmisk skala. Konturlinjer for en tykkelse på 0,1 mm røde linjer.



Figur 33. Modellert sedimenttykkelse forårsaket av mudring basert på modellscenariet VAL, for partikler med kornstørrelse 64-100 μm . Fargeskalaen angir sedimenttykkelsen i mm på en logaritmisk skala. Konturlinjer for en tykkelse på 0,1 mm røde linjer.

6.2 Vurdering av spredning av forurensede masser under mudringsoperasjonen

Slik som det går fram av **Tabell 2** så vil det kunne spres betydelig mengder miljøgifter i fjorden under mudringsoperasjonen., blant annet anslagsvis 19 kg bly, 1,5 kg PAH-forbindelser og 8-9 g tributyltinn (TBT). Omtrent halvparten av denne massen vil flyttes anslagsvis 1-2 km nedover kysten eller oppover kysten og inn i Movika (se **Figur 25**). I disse anslagene er det antatt at 2 % av den mudrede massen spres. Dette tallet er som det har blitt nevnt tidligere i rapporten, et usikkert estimat., som er svært avhengig av mudringsteknikken som benyttes. Det anbefales at det benyttes den mudringsteknologien som gir minst mulig spredning når de forurensede massene skal tas opp.

I denne sammenhengen må det påpekes at anslagsvis 222 tonn forurensede masser fjernes i mudringsoperasjonen. Dette tallet er et mye mer sikkert anslag, siden usikkerheten her ikke er knyttet til mudringsteknologi. Gitt at den best mulige teknologi benyttes for mudring, med tanke på at minst mulig av denne massen spres, bør denne mudringsoperasjonen sees som et positivt miljøtiltak. Det er da antatt at det ikke er noen fare for at disse massene spres i framtida.

6.3 Vurdering av rekkevidde for spredning av propelloppvirvling

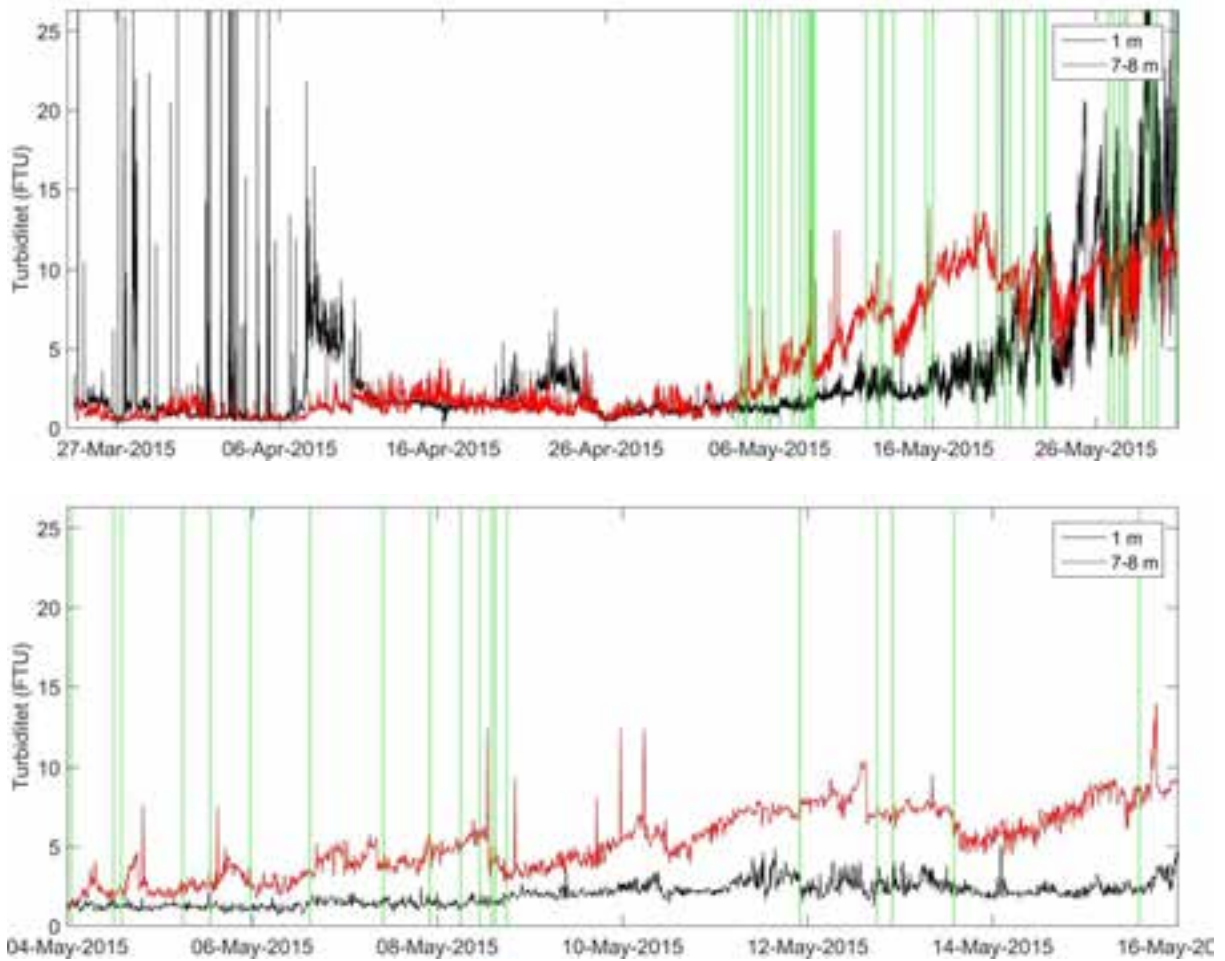
I veileder TA-2802/2011 vedlegg IX (Bakke, et al. 2012), finner man følgende formel for å beregne mengde sediment som virvles opp ved et skipsanløp

$$M_{erodert} = 24,78 \cdot D_{sjø}^{-1,24} \cdot Br \cdot f_{si} \cdot Tr$$

Hvor $M_{erodert}$ er kg tørrvekt per skipsanløp, $D_{sjø}$ er klaringsdypet, det vil si avtand mellom propell og bunn (m), Br er skipets bredde (m), f_{si} er andel finstoff (< 63 μm) og Tr er skipstraseens lengde (m). Skipet på flyfotoet i **Figur 6** er omtrent 13 m bredt og 84 m langt. Hvis vi antar et klaringsdyp på 3 m, en skipstrase på 250 m og en finfraksjon på 85 %, vil et skipsanløp virvle opp 17,5 tonn tørrstoff. I tidligere veiledere ble det benyttet et erfaringstall hvor det ble antatt at 400 kg masse ble spredd per skipsanløp. Det blir påpekt i den nyere veilederen (TA-2802/2011, Bakke, et al. 2012) at ved å benytte formelen over så får man et betydelig høyere resultat. Disse beregningene virker likevel noe høye. Hvis denne mengden spres likt utover et volum formet som en 10 m høy vannsøyle med 250 m i diameter, blir partikkelkonsentrasjonen over 350 mg/L. **Figur 34** viser partikkelkonsentrasjon ved stasjon P1. De høye verdiene på slutten av måleperioden kan skyldes begroing på instrumentet. Det ble ikke observert slike høye konsentrasjoner som antydes i eksemplet over, men dette kan skyldes at partikkelskya ikke passerte forbi stasjon P1.

Fra 3. mai 2015 til 2. juni 2015 var det 44 skipsanløp til RIT. Det vil si at anslagsvis 770 tonn tørrstoff spres i løpet av en måned. Hvis det gamle erfaringstallet på 400 kg spredt masse per skipsanløp hadde vært benyttet, så hadde resultatet blitt at totalt 17,6 tonn masse hadde blitt spredd i samme periode. Spredningsmønsteret vil være tilsvarende det som er vist i **Figur 25** til **Figur 33**.

Det materialet som spres på denne måten vil for en stor del være forurenset sediment. Den mengden forurenset masse som spres på grunn av propelloppvirvling i løpet av en måned er altså av samme størrelsesorden som det som kan spres av forurensede masser i løpet mudringsoperasjonen.



Figur 34. Partikkelkonsentrasjon på stasjon P1 målt som turbiditet. En turbiditetsenhet (FTU) tilsvarer omtrent partikkelkonsentrasjon på 1 mg/L. Den svarte kurven viser konsentrasjonen i 1 m dyp, mens den røde linjen viser konsentrasjonen i 7-8 m dyp. De grønne vertikale linjene angir tidspunkt for skipsavganger. Øverst vises hele måleperioden, mens nederst vises det samme i en kortere periode.

7. Referanser

- Bakke, T., Oen, A., Kibsgaard, A., Breedveld, G., Eek, E., Helland, A., . . . Laugesen, J. (2012). *Veileder: Risikovurdering av forurenset sediment*. Klif, TA-2802/2011.
- Beldring, S., Engeland, K., Roald, L. A., Sælthun, N. R., & Voksø, A. (2003). Estimation of parameters in a distribution precipitation-runoff model for Norway. *Hydrology and Earth System Sciences*, 7(3), 304-316.
- Hasle, K. (2014). *Utvidelse Rana Industriterminal*. Tromsø: Multiconsult 416788-RIGm-RAP-001-Rev.01.
- Kramvik, E. O. (2015). *Utvikling av kaikapasitet ved RIT*. Tromsø: Multiconsult Notat 712538-RIGm-NOT-01.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no