

## **Modellsimuleringer av sedimenttransport ved mudring i kanal ved Leirpollen, Tana kommune, Finnmark, 2017**



*Forsidebilde: Skip på vei fra kvartsittbruddet til Elkem i Leirpollen gjennom kanalen mellom Leirpollen og Tana fjorden. Tidevannsdeltaet til utløpet av Tanaelva i bakgrunnen er oversvømt, og kystlinja er ikke synlig.*

*(Foto: Ø. Leikvin, Akvaplan-niva, 27. mars 2014)*

**Rapporttittel / Report title**

Modellsimuleringer av sedimenttransport ved mudring i kanal ved Leirpollen, Tana kommune, Finnmark, 2017

**Forfatter(e) / Author(s)**

Qin Zhou  
Frank Gaardsted  
Øyvind Leikvin

**Akvaplan-niva rapport nr. / report no.**

8443.01

**Dato / Date**

20.4.2017

**Antall sider / No. of pages**

28 + vedlegg

**Distribusjon / Distribution**

Gjennom oppdragsgiver

**Oppdragsgiver / Client**

Multiconsult, Tromsø

**Oppdragsgivers referanse / Client's reference**

Juni Vaardahl Lunde

**Sammendrag / Summary**

I forbindelse med utbedring av seilingsleden til Leirpollen i Finnmark planlegges det mudring i kanalen fra Tanafjorden til Leirpollen. Totalt skal ca. 256 000 m<sup>3</sup> masser fjernes fra området. I selve mudringsprosessen forventes det at noe av mudringsmassen (ca. 2 % - 5 %) lekker ut i vannsøylen og spres med strømmen. Denne rapporten omhandler utelukkende spredningen og deponeringen (plassering på bunnen) av disse utslippsmassene. Skjebnen til de resterende 95 % - 97 % av massene, altså brorparten av mudringsmassen, er ikke vurdert her.

Numeriske modellstudier er brukt til å utrede spredning og deponering av massene som lekker ut i mudreprosessen. To ulike mudringsmetoder er vurdert:

1. Grabbmudring (tapsrate: 5% av totalt mudret masse).
2. Sugemudring (tapsrate 2: % av totalt mudret masse).

Simuleringene indikerer at store deler av utslippsmassen vil deponere på bunnen på ca. 10 m – 25 m dyp rett sør/sør-vest for Stangnes. Maksimal tykkelse på sedimentlaget estimeres til ca. 108 mm for grabbmudring og ca. 39 mm for sugemudring. Arealet som dekkes av et sedimentlag med tykkelse større enn 25 mm vil være ca. 152 000 m<sup>2</sup> for grabbmudring og 23 000 m<sup>2</sup> for sugemudring.

Mengden av suspendert utslippsmasse i vannsøylen avhenger i stor grad av strømstyrken i området. I perioder med sterk tidevannsstrøm kan resuspensjon av tidligere deponerte utslippsmasser føre til økt turbiditet i vannsøylen. Effekten vil være sterkest nært bunnen og avta mot overflaten. Simuleringene indikerer at de høyeste konsentrasjonene av mudringsmasse vil oppstå i selve mudringsområdet (> 1000 mg/l). Konsentrasjonen i det nærliggende tidevannsdeltaet kan i begrensede områder komme opp mot 600 mg/l ved grabbmudring og 400 mg/l for sugemudring. Slike konsentrasjoner vil imidlertid være kortvarige ettersom strømmen sjelden er sterk nok til å genere resuspensjon.

**Prosjektleder/Project manager**



Qin Zhou

**Kvalitetskontroll/Quality control**



Anne Tårånd Aasen,

Tore Hattermann

© 2017 Akvaplan-niva. Rapporten kan kun kopieres i sin helhet. Kopiering av deler av rapporten (tekstutsnitt, figurer, tabeller, konklusjoner, osv.) eller gjengivelse på annen måte, er kun tillatt etter skriftlig samtykke fra Akvaplan-niva.

# INNHOLDSFORTEGNELSE

FORORD.....	2
1 INNLEDNING.....	3
1.1 Prosjektbeskrivelse.....	3
1.2 Områdebeskrivelse.....	3
2 METODIKK.....	6
2.1 Strømmodellering.....	6
2.1.1 Inngangsdata.....	6
2.2 Sedimentmodellering.....	7
2.2.1 Inngangsdata.....	7
2.3 Modellscenarier.....	9
3 RESULTATER.....	10
3.1 Sedimentering.....	10
3.1.1 Sedimentering på bunnen.....	10
3.2 Partikkelkonsentrasjon i vannsøylen.....	14
3.2.1 Sterk strøm, mudring i område 1.....	15
3.2.2 Sterk strøm, mudring i område 2.....	21
3.3 Strøm.....	25
4 OPPSUMMERING.....	27
5 REFERANSER.....	28
APPENDIKS 1: STRØMMODELLERING.....	29
Modelloppsett.....	29
Kystmodell: Norkyst-800.....	29
Regional modell: FVCOM – Finnmark.....	30
Sammenligning av modelldata og måldata.....	32
APPENDIKS 2: SEDIMENTMODELL.....	35
Matematisk representasjon av sedimenttransport.....	35
Synkehastighet til mudringsmasser.....	36

# Forord

---

Foreliggende rapport er utarbeidet for Multiconsult AS. Akvaplan-niva er underleverandør for Multiconsult i deres arbeid for Kystverket vedrørende utbedring av farled mellom Tanafjorden og Leirpollen.

Følgende personer har deltatt i prosjektet:

<i>Qin Zhou</i>	<i>Akvaplan-niva AS</i>	<i>Prosjektleder, modellering, analyse, rapportering</i>
<i>Frank Gaardsted</i>	<i>Akvaplan-niva AS</i>	<i>Rapportering, analyse</i>
<i>Øyvind Leikvin</i>	<i>Akvaplan-niva AS</i>	<i>Rapportering, analyse</i>
<i>Eli Børve</i>	<i>Akvaplan-niva AS</i>	<i>Modelloppsett</i>
<i>Anne Tårånd Aasen</i>	<i>Akvaplan-niva AS</i>	<i>Kvalitetssikring</i>
<i>Tore Hattermann</i>	<i>Akvaplan-niva AS</i>	<i>Kvalitetssikring</i>

Akvaplan-niva vil takke Juni Vaardahl Lunde, Multiconsult, for godt samarbeid i prosjektperioden

Tromsø, 20. april 2017



Qin Zhou  
Prosjektleder

# 1 Innledning

---

## 1.1 Prosjektbeskrivelse

I forbindelse med utbedring av farleden mellom Tanafjorden og Leirpollen planlegger Kystverket å mudre til 9.3 m dyp LAT (referert til laveste astronomiske tidevann). Totalt skal ca. 256 000 m<sup>3</sup> masser fjernes fra området. I selve mudringsprosessen forventes det imidlertid at noe av mudringsmassen (ca. 2 – 5 %) lekker ut i vannsøylen og spres med strømmen. Denne rapporten omhandler utelukkende spredningen og deponeringen (plassering på bunnen) av disse utslippsmassene. Skjebnen til de resterende 95 % - 98 % av massene, altså brorparten av mudringsmassen, er ikke vurdert her.

To hovedspørsmål er søkt besvart:

1. Hvor deponeres utslippsmassene og hvor tykt blir deponeringslaget?
2. Hvor mye øker konsentrasjonen av partikler (turbiditeten) i vannmassene i mudringsperioden som følge av lekkasje i mudreprosessen?

Begge problemstillingene er utredet for to ulike mudremetoder; mudring med grabb og sugemudring.

Beregning av spredning av mudringsmasser krever detaljert kunnskap om strømfeltet i utslippsområdet. Da det generelt er vanskelig å få oversikt over variabilitet i strømfeltet i et område utelukkende gjennom målinger, er det brukt en numerisk modell for å simulere både strømmen i utslippsområdet og den resulterende spredningen og deponeringen av mudringsmassene.

En kort beskrivelse av modelleringsverktøyet er gitt i Kapittel 2 og resultatene presenteres i Kapittel 3. En grundigere beskrivelse av metodikken er gitt i Appendiks 1 og 2.

## 1.2 Områdebeskrivelse

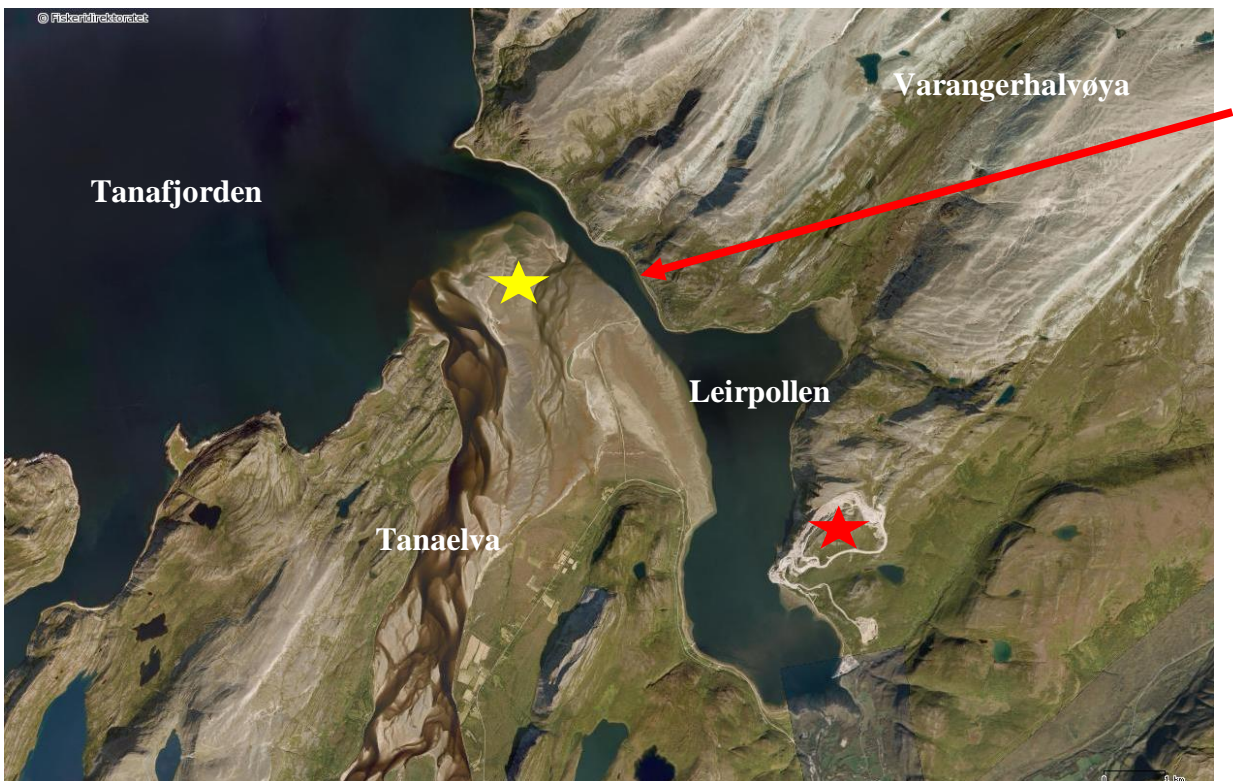
Tanafjorden ligger helt nord i Finnmark, og er rettet med fjordbunn i sør og fjordåpning mot nord, mot Barentshavet (Figur 1). Tanafjorden er nesten 60 km lang og har maksimaldyp på drøye 300 m ytterst i fjorden og drøye 200 m i indre deler av fjorden.

Innerst i fjorden i sørøst, har Tanaelva sitt utløp. Tanaelva er Norges nest lengste elv (366 km regnet fra fjerneste kilde) og har høy vannføring spesielt i forbindelse med snøsmelting om våren (NVE-Atlas, 2017). Middelvannføring er 197 m<sup>3</sup>/s. Øst for Tanaelvas utløp ligger Leirpollen (Figur 2). Tanaelva har et relativt stort tidevannsdelta ytterst og litt mot øst for selve utløpet. Tidevannsdeltaet løper av og til tørt på lavvann. Tidevannsdeltaet medfører at farleden inn til Leirpollen er relativt smal (ca. 260 m). Farleden er mellom 7 og 17 m dyp.

Kvartsittbruddet til Elkem er markert med rød stjerne i Figur 2. Kvartsittbruddet er en av verdens største forekomster av kvartsitt og forsyner ferrosilisiumindustrien i hele verden med Norge, Sverige og Island som viktigste mottakere (Måsø, 2016). Eksport av kvartsitt foregår med skip, og farleden mellom tidevannsdeltaet til Tanaelva og Varangerhalvøya er dermed kritisk. I 2014 var det gjennomsnittlig 3.4 skipsanløp per uke på grunn av kvartsittbruddet. Hovedformålet med mudringen er å gjøre seilingsforholdene for denne trafikken tryggere. Figur 3 viser hvor Kystverket planlegger å mudre og deponiområde for massene som fjernes.



Figur 1. Oversiktskart over Tanafjorden og omegn. Interesseområdet ved innseilingen til Leirpollen fra Tanafjorden er merket med rød pil (kartkilde: [www.fdir.no](http://www.fdir.no)).



Figur 2. Oversikt over området ved innseilingen til Leirpollen. Selve innseilingen er merket med rød pil. Kvartsittbruddet er merket med rød stjerne. Tidevannsdeltaet, som oftest er dekket av sjø, er indikert med gul stjerne (kartkilde: [www.fdir.no](http://www.fdir.no)).



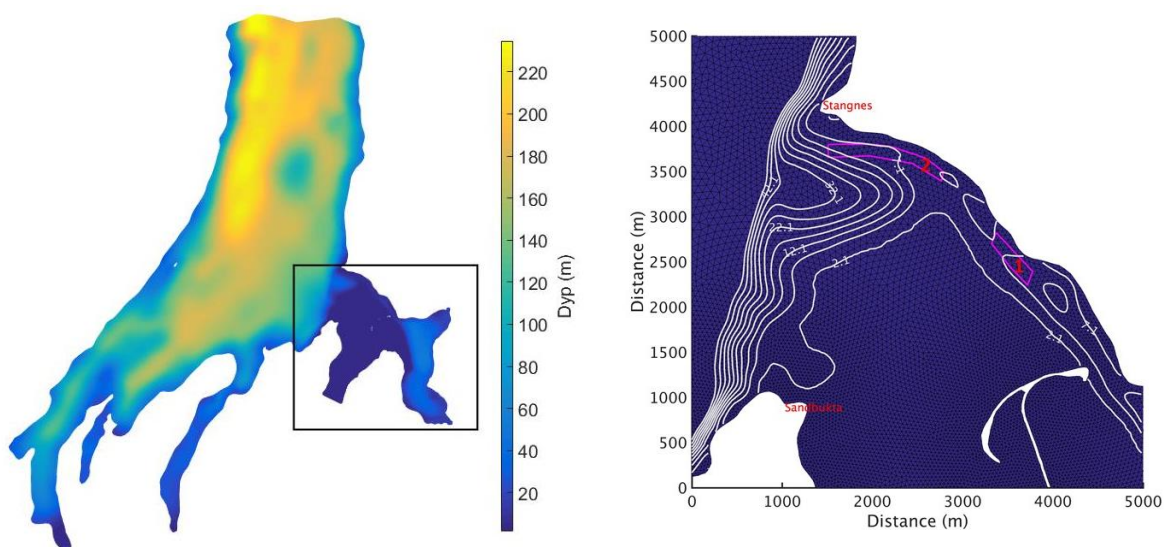


Figur 3. Oversikt over mudringsområdet (rødt) og deponiområde (blå firkant, kilde: Multiconsult AS).

## 2 Metodikk

### 2.1 Strømmodellering

Beregning av strømsirkulasjon i indre del av Tanafjorden (Figur 4) er utført med modellen FVCOM (The unstructured grid Finite Volume Community Ocean Model, Chen m.fl. 2003). FVCOM er utviklet ved The Marine Ecosystem Dynamics Modeling Laboratory ved University of Massachusetts-Dartmouth (USA) og er spesielt godt egnet til å simulere strøm i områder med irregulær og komplisert kystlinje, slik som Tanafjorden og resten av kysten i Finnmark. Grunnen til dette er at FVCOM er en ustrukturert-grid modell som tillater at man varierer avstanden mellom modellens beregningspunkter (oppløsning) fra område til område i modelldomenet. For å produsere gode resultater trengs det for eksempel mye høyere oppløsning (kort avstand mellom beregningspunkter) i smale deler av en fjord enn på åpent hav der lavere oppløsning (stor avstand mellom beregningspunkter) kan være akseptabelt. I dette tilfellet varierte oppløsningen fra ca. 30 m i innerste del av Leirpollen til ca. 500 m i ytre del av modellområdet. Modellen hadde 30 vertikale lag.



Figur 4. Modellområde. Venstre: Hele modellområdet. Fargene indikerer dybde. Firkanten markerer hovedinteresseområdet. Høyre: Gitteroppløsning i hovedinteresseområdet (ses som trekant). De to mudreområdene (1 og 2) er markert med lilla. Bunndypet er markert med hvite konturer.

#### 2.1.1 Inngangsdata

Bunndata er hentet fra følgende kilder:

- Innkjøpte data fra Statens kartverk, Sjøkartverket, med 50 m oppløsning (ytre deler av Tanafjorden og indre deler av Leirpollen)
- Data fått fra Multiconsult (område nord for Tanaelva, samt for elvedelta).

Initialbetingelser, samt randbetingelser (saltholdighet, temperatur, vannstandsvariasjon) er tatt fra en større FVCOM-simulering som dekker hele Finnmark fylke (<http://finnmark.akvaplan.com/metoder/strommodellering>).

Elveavrenningsdata er hentet fra Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE).

Atmosfæriske drivkrefter er hentet fra modellen *Integrated Community Limited Area Modeling System* (ICLAMS, Solomos et. al., 2011).

For mer informasjon om modelloppsettet, se Appendiks 1: Strømmodellering.

Modellen ble kjørt for perioden 1. mai 2013 – 15. mai 2014. En sammenligning av modellresultater og måledata fra siste del av simuleringsperioden er vist i Appendiks 1: Strømmodellering. Spredning av utslippsmasser i forbindelse med mudringsarbeidet var integrert i modellkjøringene i perioden november – desember 2013 (se Kapittel 0).

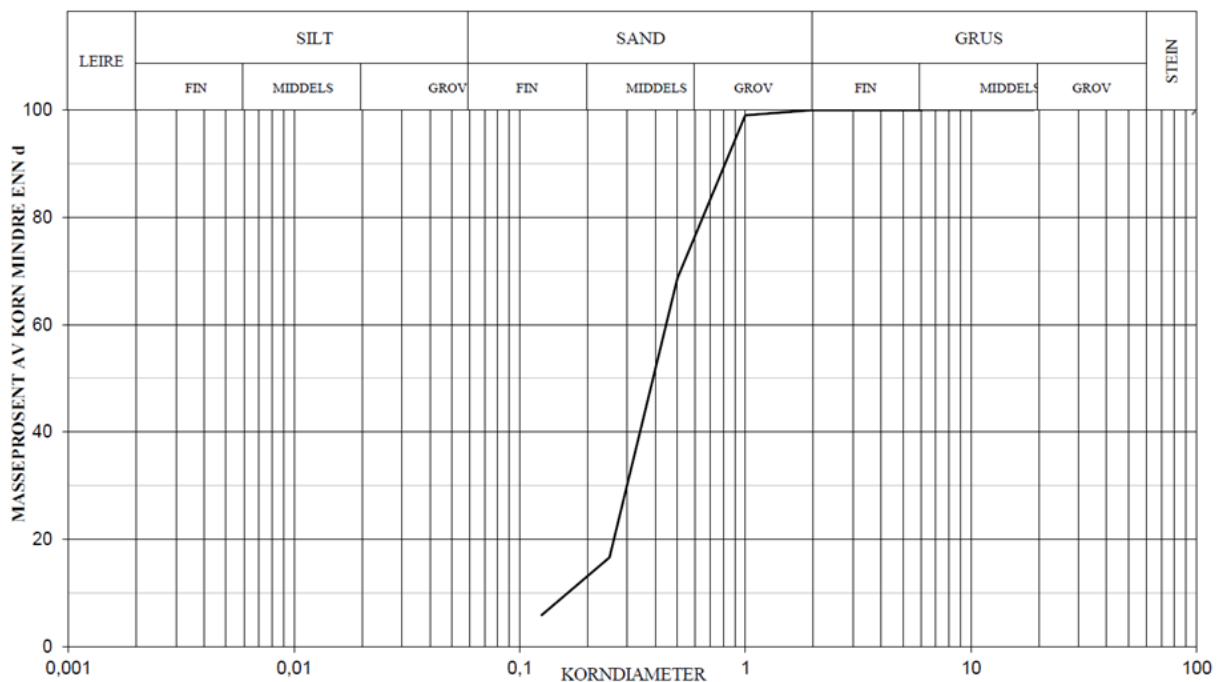
## 2.2 Sedimentmodellering

En sediment-modell som er spesielt tilpasset den hydrodynamiske modellen FVCOM er brukt for å beregne spredning og deponering av mudringsmasser. FVCOM sediment-modellen er basert på Community Sediment Transport Model utviklet av U.S. Geological Survey (Chen et al, 2013). Sedimentmodellen har blitt testet i mange miljørelaterte applikasjoner i kystnære områder for å kartlegge strømindusert erosjon, samt spredning og deponering (Zhang m.fl., 2014; Ge m.fl., 2013).

Modellen har mulighet for å inkludere et ubegrenset antall brukerdefinerte sedimentklasser der partikler i hver sedimentklasse har bestemte verdier for kornstørrelse, tetthet, synkehastighet, kritisk erosjonsskjær og erosjonskonstant. Ytterligere detaljer om hvordan sedimentene representeres matematisk i modellen er gitt i Appendiks 2: Sedimentmodell.

### 2.2.1 Inngangsdata

Spredning og deponering av mudringsmasse er i stor grad avhengig egenskapene til sedimentene. Multiconsult har hentet inn sedimentprøver fra kanalområdet og analysert disse for kornfordeling. Resultater er gjengitt i Figur 5. Sedimentene i området består i hovedsak av middels store sandkorn mellom 0.2 mm og 1.0 mm.. For å representere sedimentene i modellen er kornfordelingskurven i Figur 5 bearbeidet inn i størrelsesklasser (Tabell 1). I tillegg er synkehastighet og skjærspenning beregnet (Appendiks 2: Sedimentmodell).



Figur 5. Resultater fra kornfordelingsanalyse av sedimentprøver fra innseilingsområdet til Leirpollen.

Tabell 1: Størrelsesklasser til sedimentene fra interesseområdet, samt viktige egenskaper til de respektive klassene, som blir benyttet som inngangsdata til sedimenttransport-modellen.

Størrelsesklasse	Diameter (mm)	Andel (%)	Representativ partikkelstørrelse	Synkehastighet (m/s)	Kritisk skjærspenning" for erosjon (pa)
<b>I</b>	$\leq 0.13$	6	0.063	0.011	0.11
<b>II</b>	0.13 - 0.2	7	0.13	0.018	0.145
<b>III</b>	0.2 - 0.27	11	0.2	0.032	0.145
<b>IV</b>	$\geq 0.27$	76	0.27	0.05	0.194

## 2.3 Modellsценарии

Under mudrearbeidet vil deler av mudringsmassene lekke ut i vannsøylen og spres med strømmen. Den nøyaktige mengden vil avhenge av mudremetode og lengden på mudreperioden.

Den totale mudringsmassen er beregnet til 256 000 m<sup>3</sup>. Av dette skal 25 % fjernes fra område 1 (Figur 4) og 75 % fra område 2. Andelen mudringsmasse som forventes å lekke ut (tapsraten) avhenger av mudringsmetode.

### 1. Grabbmudring

Estimert totalt tap: 5 %,

hvorav 45 % i overflaten, 45 % ved bunnen og 10 % i resten av vannsøylen.

### 2. Sugemudring

Estimert totalt tap: 2 %,

alt nært bunnen.

I modellsimuleringene har vi antatt at mudringen foregår kontinuerlig over en periode på 28 dager. Dette gir en mudringsrate på 9142.9 m<sup>3</sup> per dag eller 0. 1058 m<sup>3</sup> per sekund (Tabell 2). Dette samsvarer med lignende arbeid utført i Taunton River, Massachusetts, USA (Swanson and Isaji, 2006). Mengden som lekker ut i modellen (utslippsrate) er gitt ved

$$\text{Utslippsrate} = (\text{Mudringsrate}) \times (1 - \text{Porøsitet}) \times (\text{Tapsrate}) \times (\text{Partikkel tetthet})$$

*Tabell 2: Informasjon om antatte verdier og rater for mudringsmateriale ved to ulike typer for mudring i kanal mellom Tanafjorden og Leirpollen. Porøsitetsverdiene er hentet fra Morris & Johnson (1967).*

Mudringsmetode	Mudringsrate (m <sup>3</sup> /s)	Porøsitet (%)	Tapsrate (%)	Partikkel-tetthet (kg/ m <sup>3</sup> )	Utslippsrate (kg/s)
Grabbmudring	0.1058	39	5	2700	8.7126
Sugemudring	0.1058	39	2	2700	3.4851

Med tanke på sammenligning av de to mudremetodene er det utført to simuleringsscenarier der mudremetoden var eneste forskjell. Simuleringene startet 3. november 2013. De 7 første dagene ble det mudret i område 1 (Figur 4) og i de påfølgende 21 dagene ble det mudret i område 2. Sedimentmodellen ble kjørt i ytterligere 30 dager for å få med spredningsmønsteret til partiklene som var suspendert i vannmassene ved endt mudreperiode. Den totale simuleringsslengden var 58 dager.

Det er viktig å være oppmerksom på at disse simuleringene kun beskriver sedimenttransport av utslippsmasse fra mudreoperasjoner, ikke den generelle situasjonen i området. Det vil si at all erosjon og deponering kun skjer med masser som lekker ut i mudreperioden.

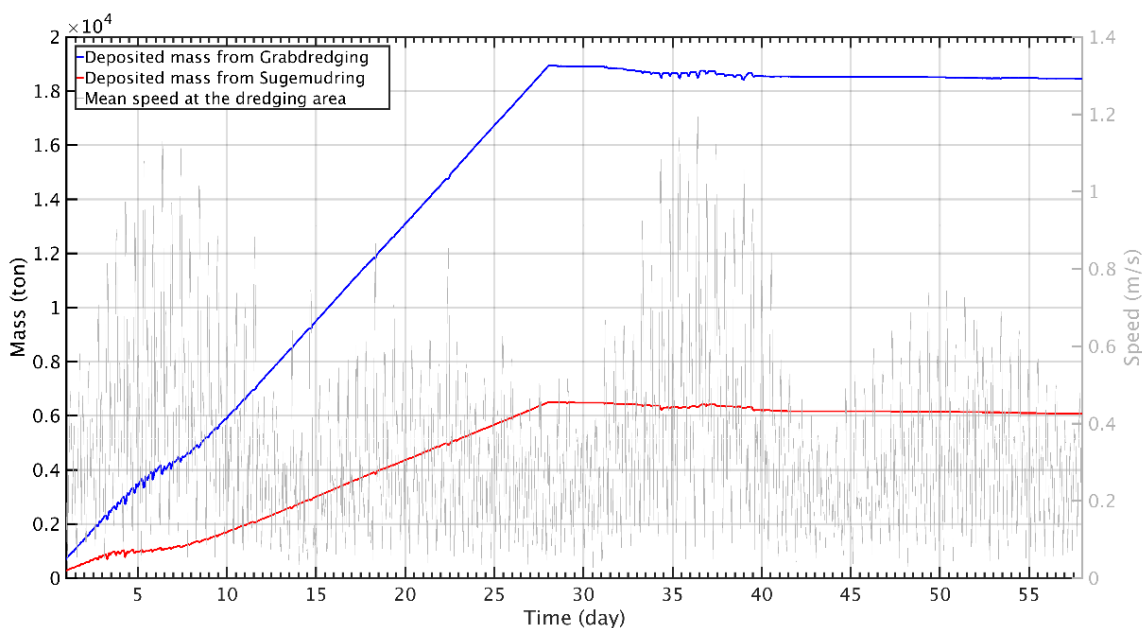
## 3 Resultater

### 3.1 Sedimentering

Den totale mengden mudringsmasse som lakk ut i vannmassene i simuleringene var 21082 tonn og 8432.6 tonn for henholdsvis grabbmudring og sugemudring. Ved slutten av den 58 dager lange simuleringsperioden hadde 12 % av utslippsmassen ved grabbmudring og 27 % av utslippsmassen ved sugemudring blitt transportert ut av modellområdet.

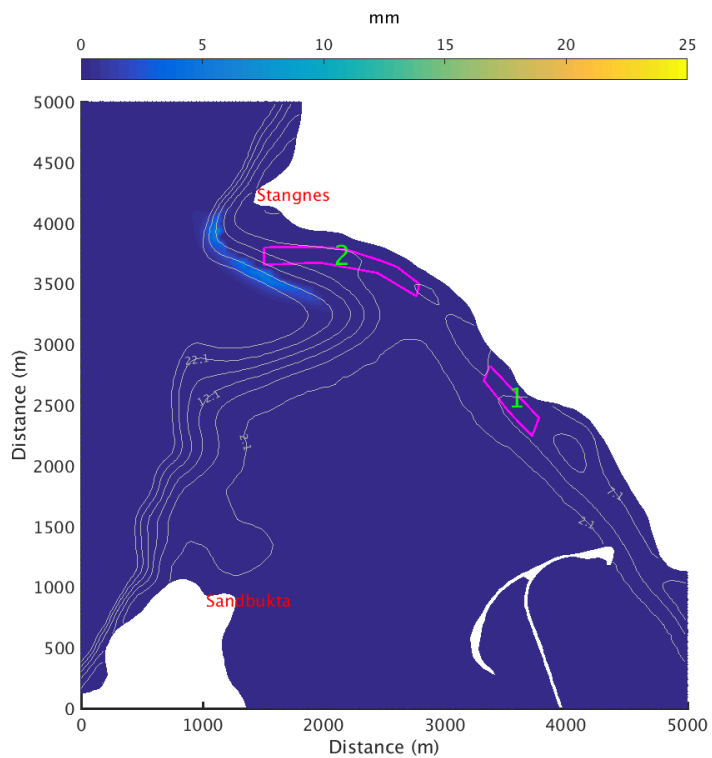
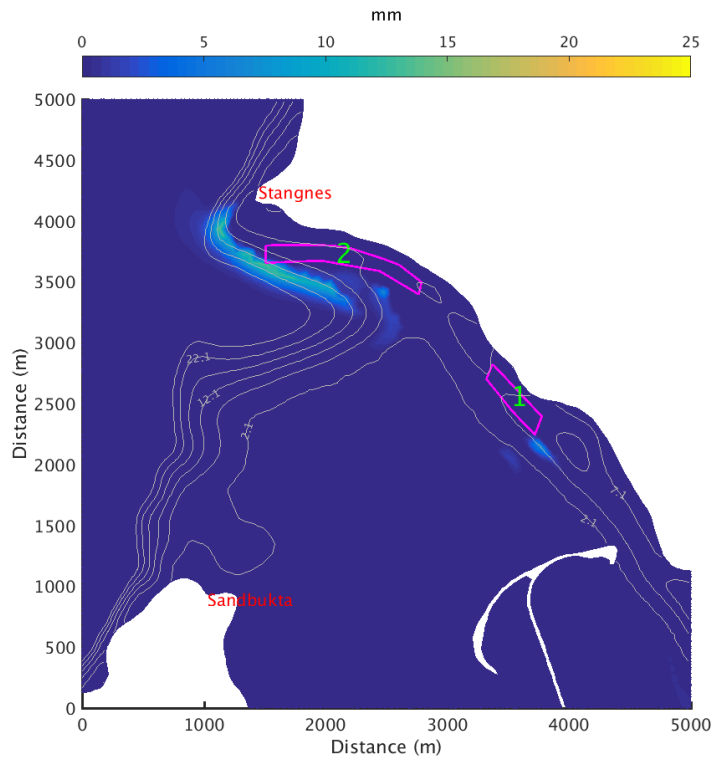
#### 3.1.1 Sedimentering på bunnen

Figur 6 viser en tidsserie av akkumulert masse på bunnen for grabbmudring (blått) og sugemudring (rødt). Ved slutten av simuleringsperioden hadde ca. 18 200 tonn lagt seg på bunnen ved grabbmudring, og ca. 6000 tonn ved sugemudring. Denne forskjellen skyldes hovedsakelig at utslippsraten er forskjellig for de to metodene. Frem til slutten av mudringsperioden (dag 28) var det en stabil og nesten lineær økning i mengden masse som deponerte på bunnen.

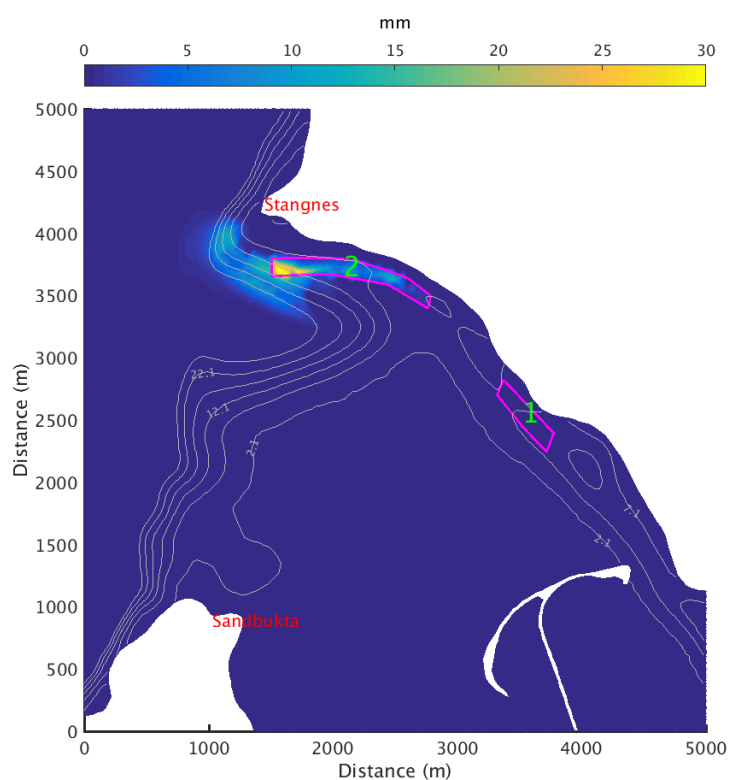
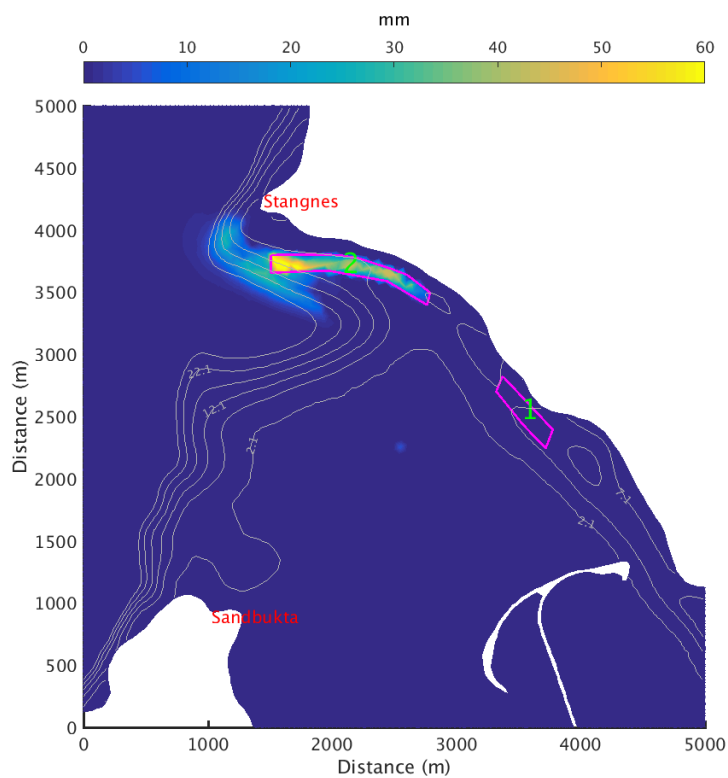


Figur 6. Tidsserie av massedeponering på bunnen for grabbmudring (blått) og sugemudring (rødt). Strømstyrken i mudringsområdet (gjennomsnitt fra de to mudringsområdene) er vist med grått.

Figur 7, Figur 8 og Figur 9 viser den romlige fordelingen av de akkumulerte massene på bunnen etter henholdsvis 7 dager (etter endt mudring i område 1), 28 dager (etter endt mudring i område 2) og 58 dager.

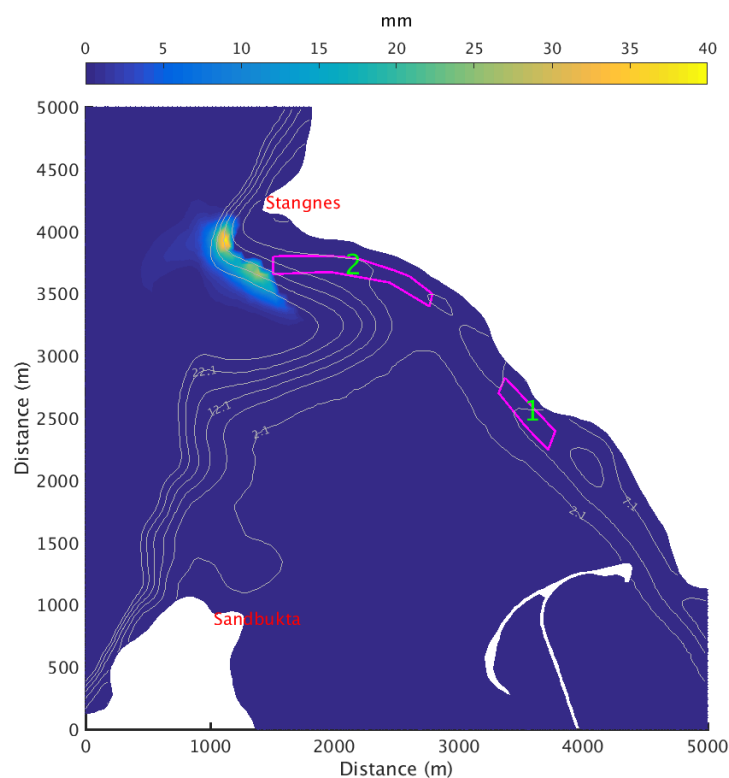
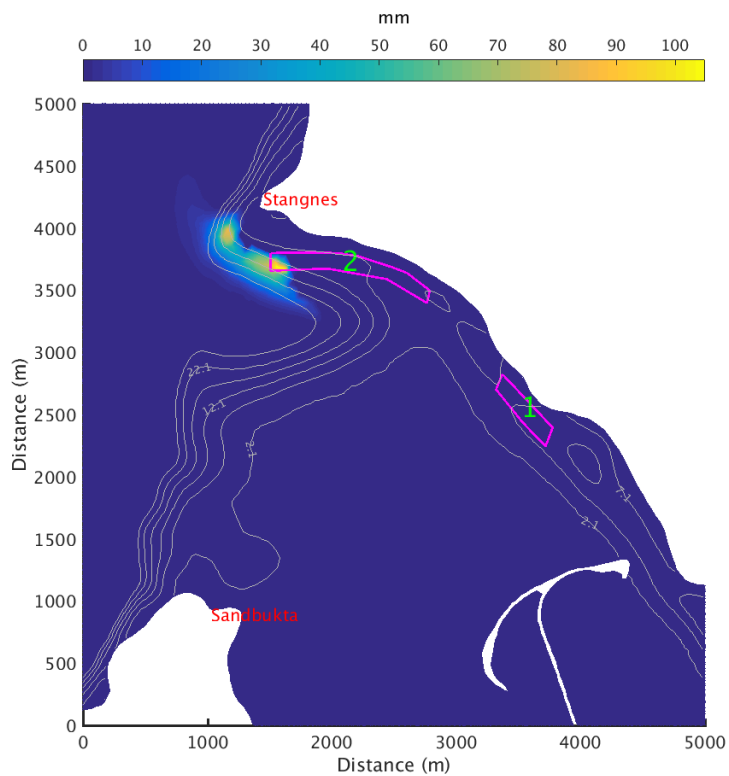


Figur 7. Tykkelse på deponert masse på bunnen etter 7 dager med mudring i det innerste området (mudreamråde 1). Øverst: grabbmuddring. Nederst: sugemuddring.



Figur 8. Tykkelse på deponert masse på bunnen etter 28 dager med mudring. (7 dager i det innerste området (mudreområde 1) etterfulgt av 21 dager i det ytterste området (mudreområde 2)). Øverst: grabbmudring. Nederst: sugemudring. Legg merke til at fargeskalaen for de to mudremetodene er ikke er den samme.





Figur 9. Tykkelse på deponert masse på bunnen 30 dager etter avsluttet mudring. Øverst: grabbmudring. Nederst: sugemudring. Legg merke til at fargeskalaen for de to mudremetodene er ikke er den samme.

De to mudringsmetodene hadde stort sett samme romlige fordelingsmønster, men med høyere tykkelse på sedimentlaget ved grabbmudring. Etter 7 dager, rett etter at mudringen var ferdig i område 1, hadde størstedelen av utslippsmassen blitt transportert til skråningen like sør/sør-vest for Stangnes. Det meste av massene hadde deponert på bunnen mellom ca. 12 og 22 m dyp. Dybden på sedimentlaget varierte fra 5 – 15 mm for grabbmudring og den var ca. 5 mm for sugemudring.

Etter fullført mudring i område 2 (dag 28) hadde det lagt seg noe mer sedimenter i skråningen sør for Stangnes, men en stor del av utslippsmassene hadde lagt seg på bunnen i selve mudreområdet. Tykkelsen på bunnet varierte på dette tidspunktet fra ca. 10 mm – 65 mm for grabbmudring og fra ca. 5 mm – 35 mm for sugemudring.

Ved slutten av simuleringsperioden (dag 58), 30 dager etter endt mudring, hadde det meste av utslippsmassen lagt seg i skråningen sør for Stangnes. Tykkelsen varierte fra 20 mm – 108 mm for grabbmudring og fra 5 mm – 40 mm for sugemudring. Grabbmudring ga tykkeste deponeringslag helt i den vestlige enden av deponeringsområdet, mens sugemudring ga høyeste tykkelse i skråningen lengre vest. Deponeringsareal for ulike lagtykkelser er oppsummert i Tabell 3.

Tabell 3. Deponeringsareal som funksjon av tykkelse 30 dager etter endt mudring.

	Grabbmudring	Sugemudring
Maksimal deponeringstykkelse	108 mm	39 mm
Areal med deponeringstykkelse større enn 25 mm	152 330 m <sup>2</sup>	22 814 m <sup>2</sup>
Areal med deponeringstykkelse større enn 50 mm	68 550 m <sup>2</sup>	0 m <sup>2</sup>
Areal med deponeringstykkelse større enn 100 mm	6 930 m <sup>2</sup>	0 m <sup>2</sup>

Svært lite masser endte opp i området innenfor mudreområdene (ca. 2 % for både grabbmudring og sugemudring).

### 3.2 Partikkelkonsentrasjon i vannsøylen

Figur 10 viser mengden utslippsmasse som til enhver tid var suspendert i vannsøylen i modellområdet for begge mudringsmetodene. Strømstyrken i området er også vist i figuren.

Generelt er mengden suspendert masse svært avhengig av strømstyrke. Periodene med høyeste mengde suspendert masse sammenfalt generelt i tid med høyeste strømstyrker (periodene med høyeste tidevannsvariasjon, springflo). Dette gjaldt begge mudringsmetodene. I perioden med svakere strøm var mengden suspendert masse betydelig mindre.

Dette kommer enda tydeligere frem i Figur 11 som viser mengden suspendert masse og strømstyrke i en 48 timers periode med generelt sterk tidevannsstrøm. Det meste av utslippsmassen faller forholdsvis raskt til bunnen og utslippsmassen i vannsøylen er i hovedsak tidligere deponert masse som resuspenderes fra bunnen i perioder med sterk strøm. Ved svakere strøm har man ikke denne effekten.

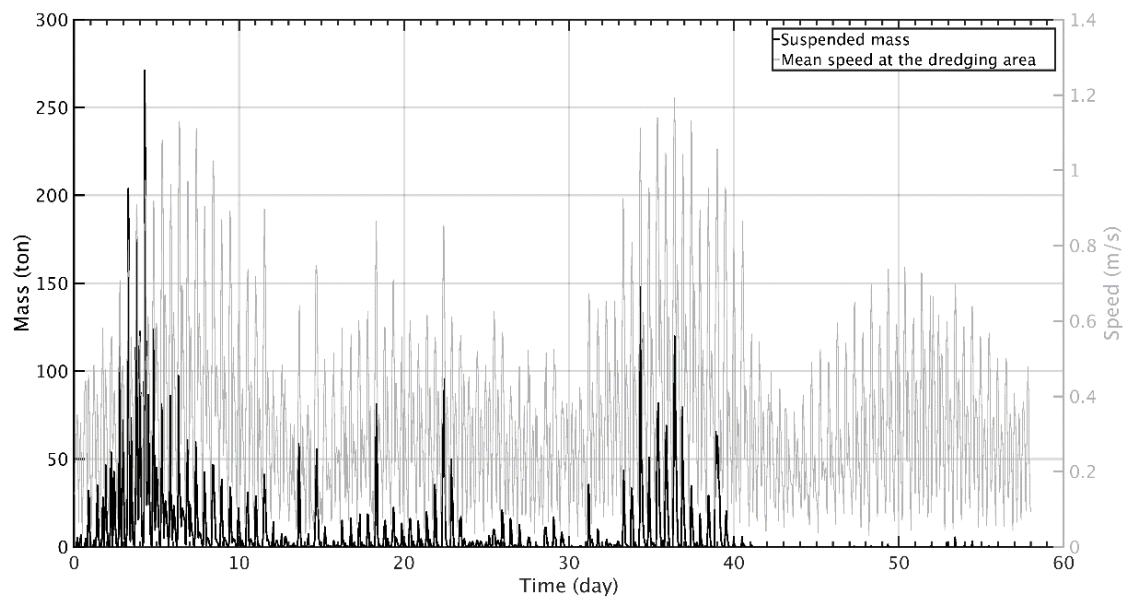
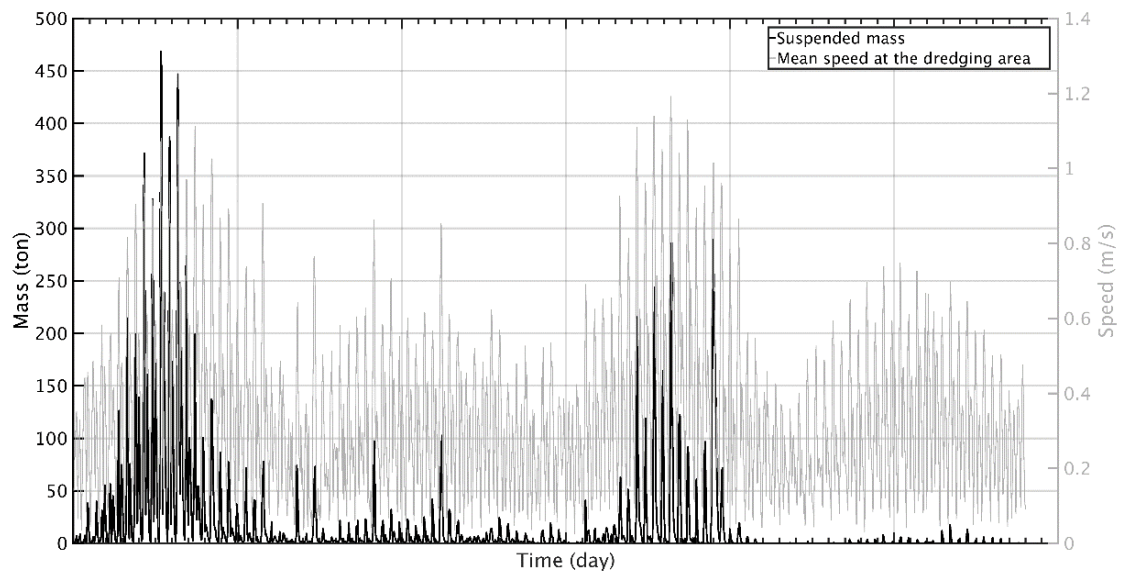
For å illustrere konsentrasjonen av partikler i vannsøylen (turbiditeten) i perioder med sterk strøm er øyeblikksbilder fra dag 5 (pågående mudring i område 1) og dag 23 (pågående mudring i område 2) vist i henholdsvis Figur 12 - Figur 14 og Figur 15 - Figur 17.

I alle tilfellene vises konsentrasjonen på 5 m dyp og ved bunnen. Tilsvarende figurer for grunnere vannlag ville vist lavere konsentrasjoner.

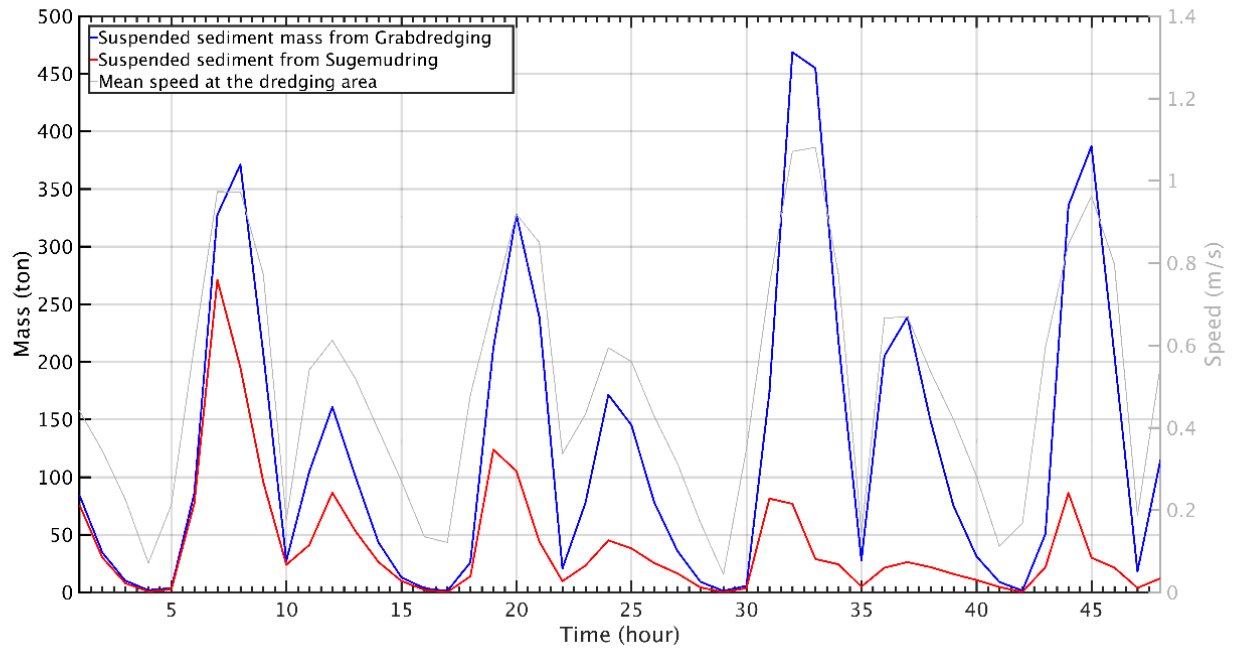
### **3.2.1 Sterk strøm, mudring i område 1**

Figur 12 viser konsentrasjonen av suspenderte masser på 5 m dyp ved sterk strøm på dag 5. Konsentrasjonen var litt høyere for grabbmudring enn for sugemudring, men det romlige spredningsmønsteret var forholdsvis likt, med økte konsentrasjoner fra mudringsområde 1 og utover i kanalen. De høyeste konsentrasjonene ( $> 400$  mg/l) oppsto i den nordlige enden av mudringsområdet.

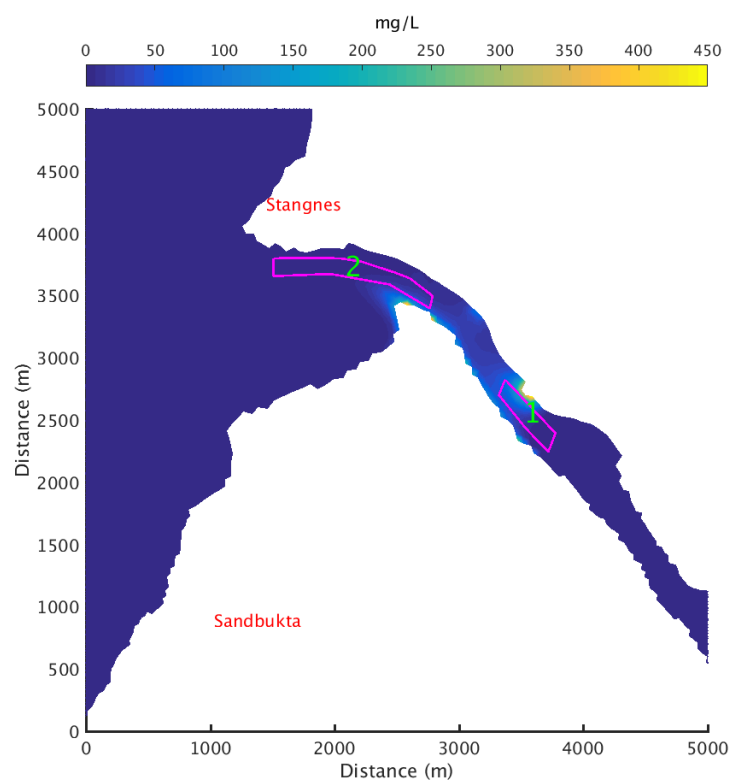
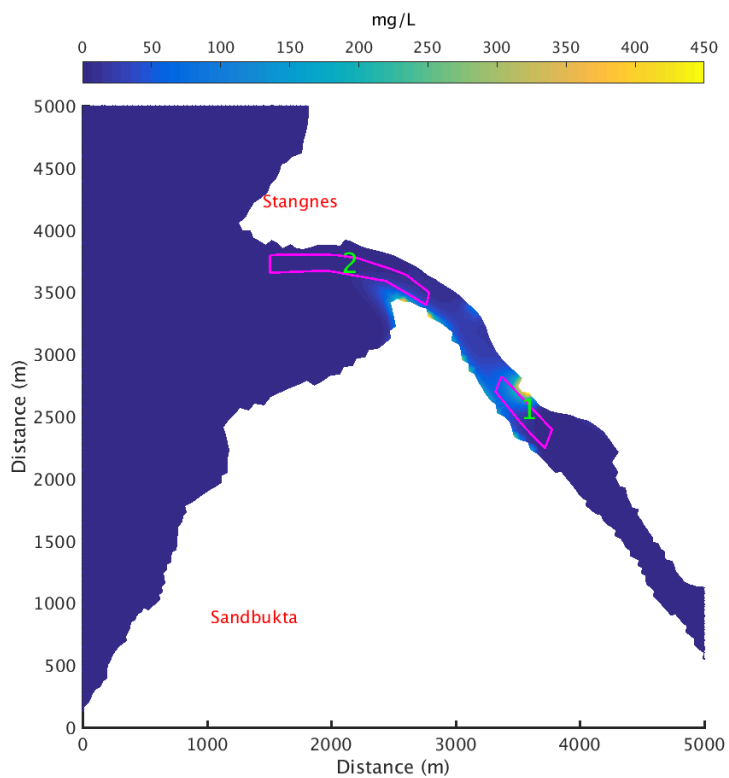
Figur 13 viser konsentrasjonen av suspenderte masser ved bunnen på samme tidspunkt. Til tross for ulike utslippsrater ga de to mudringsmetodene forholdsvis like resultater i dette tilfellet, både når det gjelder konsentrasjoner og romlig fordeling. Sedimentene har blitt transportert nordover til skråningen nært Stangnes og til en viss grad vestover og inn på det grunne tidevannsdeltaet. Den høyeste konsentrasjonen oppsto i mudringsområdet ( $> 1000$  mg/l). Konsentrasjonen i tidevannsdeltaet varierte fra ca. 200 mg/l til 600 mg/l ved grabbmudring mens den var under 400 mg/l for sugemudring.



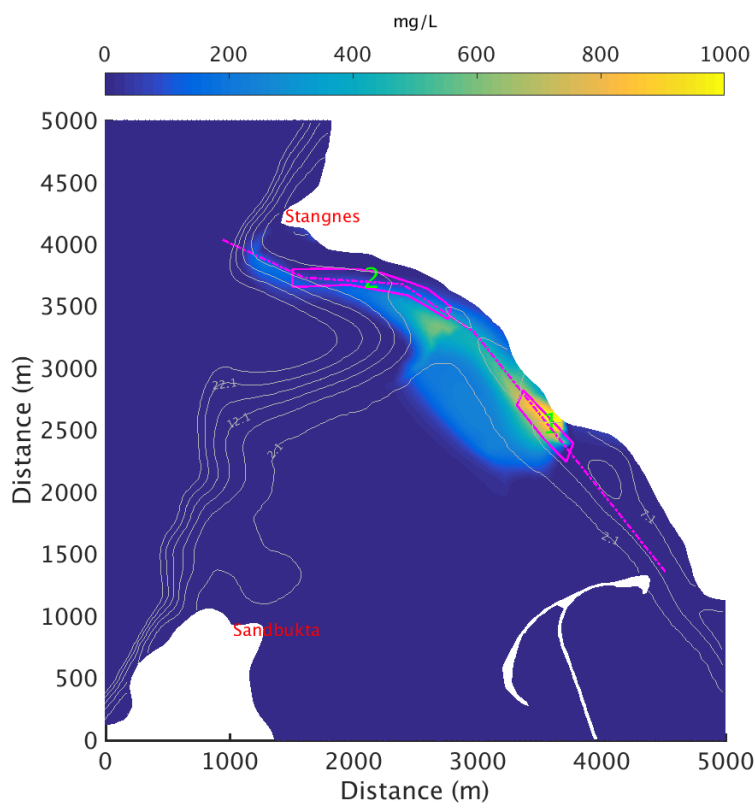
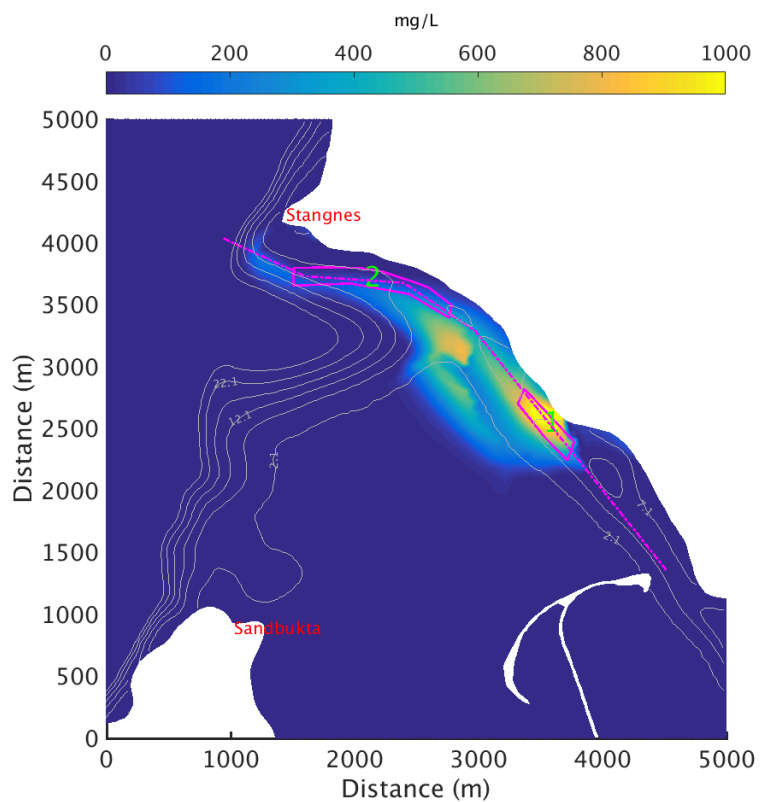
Figur 10. Tidsserie av mengden suspendert masse i vannsøylen (sort kurve) for grabbmudring (øverst) og sugemudring (nederst). Strømstyrken i mudringsområdet (gjennomsnitt fra de to mudringsområdene) er vist med grått



Figur 11. Tidsserie av mengden suspendert masse i vannsøylen for grabbmudring (blå) og sugemudring (rød) for en 48 timers periode (dag 5 og 6) med sterk tidevannsvariasjon. Strømstyrken i mudringsområdet (gjennomsnitt fra de to mudringsområdene) er vist med grått

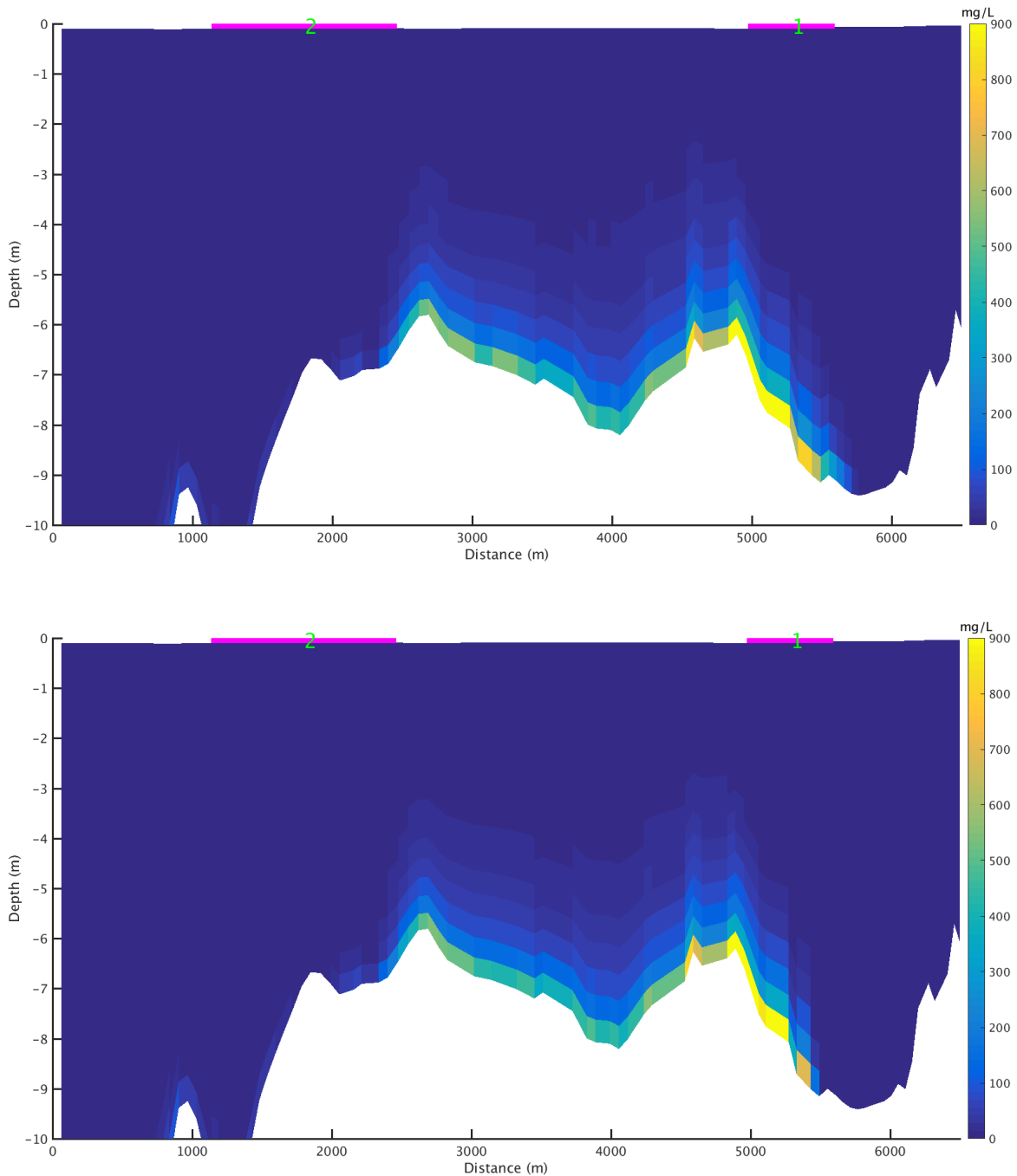


Figur 12. Konsentrasjon (mg/l) av suspendert materiale på 5 m dyp ved tidspunkt for sterk strøm (dag 5, time 7) for grabbmudring (øverst) og sugemudring (nederst). Mudringsområdene er markert med lilla.



Figur 13. Konsentrasjon (mg/l) av suspendert materiale nært bunnen ved tidspunkt for sterk strøm (dag 5, time 7) for grabmudring (øverst) og sugemudring (nederst). Mudringsområdene er markert med lilla og bunnkonturer med grått. Et vertikalt snitt langs kanalen er markert med lilla linje, og konsentrasjoner av suspendert materiale langs snittet er vist i Figur 14.

Et vertikalt snitt langs kanalen (lilla linje i Figur 13) med konsentrasjoner av suspendert masse er vist i Figur 14. For begge mudringsmetodene oppsto de høyeste konsentrasjonene nær bunnen og var raskt avtagende mot overflaten. Konsentrasjonene nær bunnen fra grabbmudring var ca. 100 mg/l høyere enn konsentrasjonene fra sugemudring.



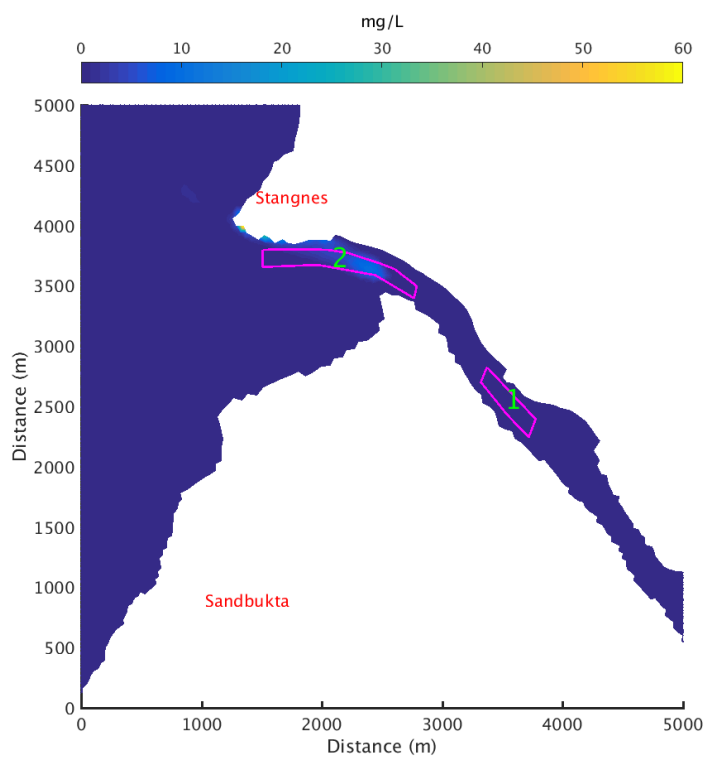
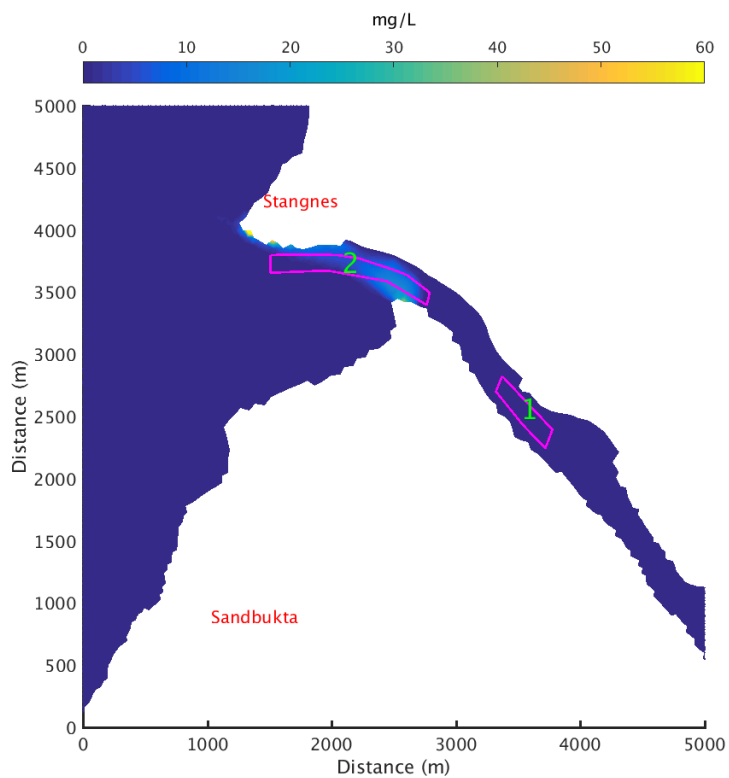
Figur 14. Vertikalt snitt langs kanalen med konsentrasjon av suspendert masse ved tidspunkt for sterk strøm (dag 5, time 7) for grabbmudring (øverst) og sugemudring (nederst). Mudringsområdene er markert med lilla øverst (Område 1 til høyre og område 2 til venstre).



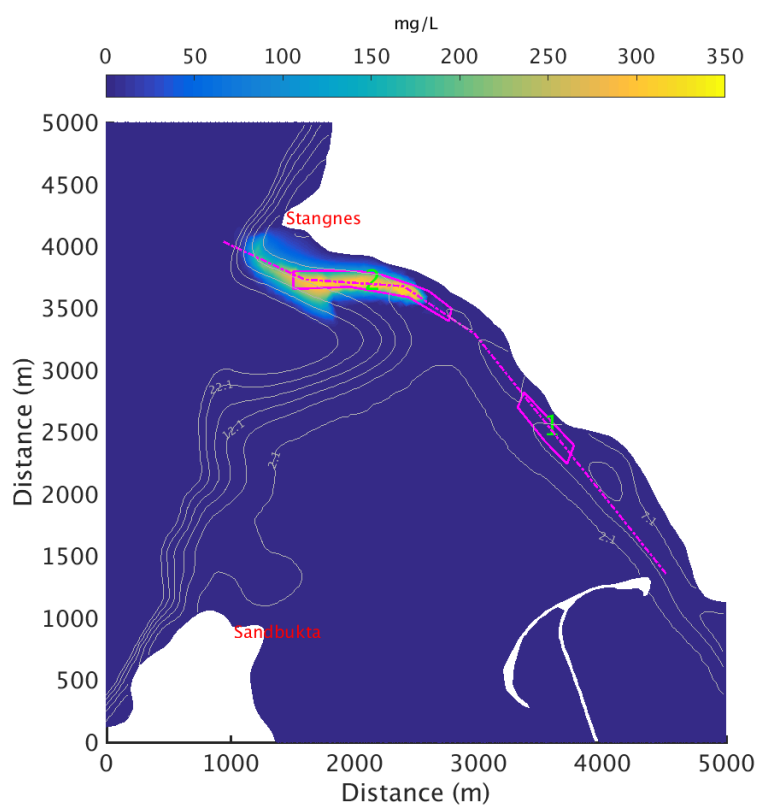
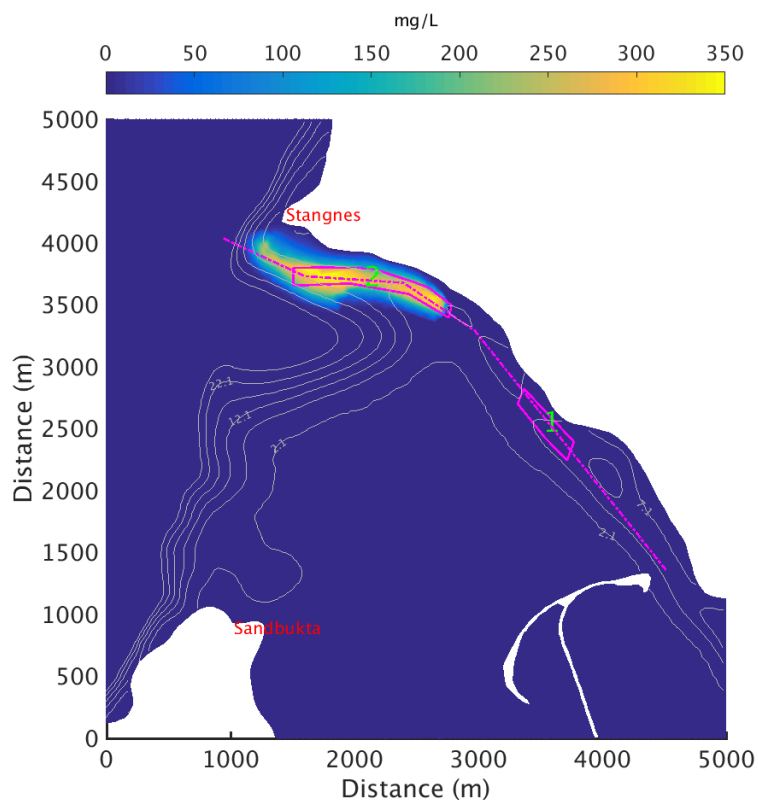
### 3.2.2 Sterk strøm, mudring i område 2

Figur 15 viser konsentrasjonen av suspenderte masser på 5 m dyp ved sterk strøm på dag 23. Økte konsentrasjoner av suspendert masse var stort sett begrenset til mudringsområde 2 for begge mudringsmetodene. Konsentrasjonen var ca. 25 mg/l for grabbmudring og 10 mg/l for sugemudring. Konsentrasjonen ved bunnen for samme tidspunkt er vist i Figur 16. Økte konsentrasjoner av suspenderte masser oppsto i mudringsområdet og i skråningen lengre vest. Konsentrasjonene i området med suspendert materiale varierte fra 50 mg/l – 300 mg/l.

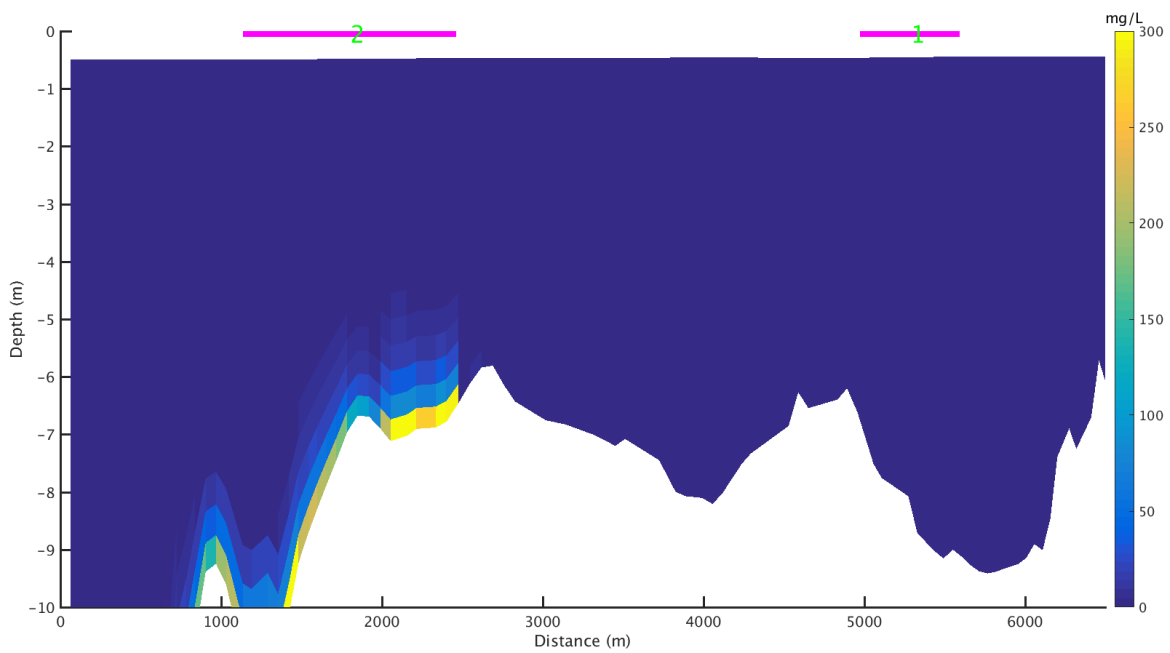
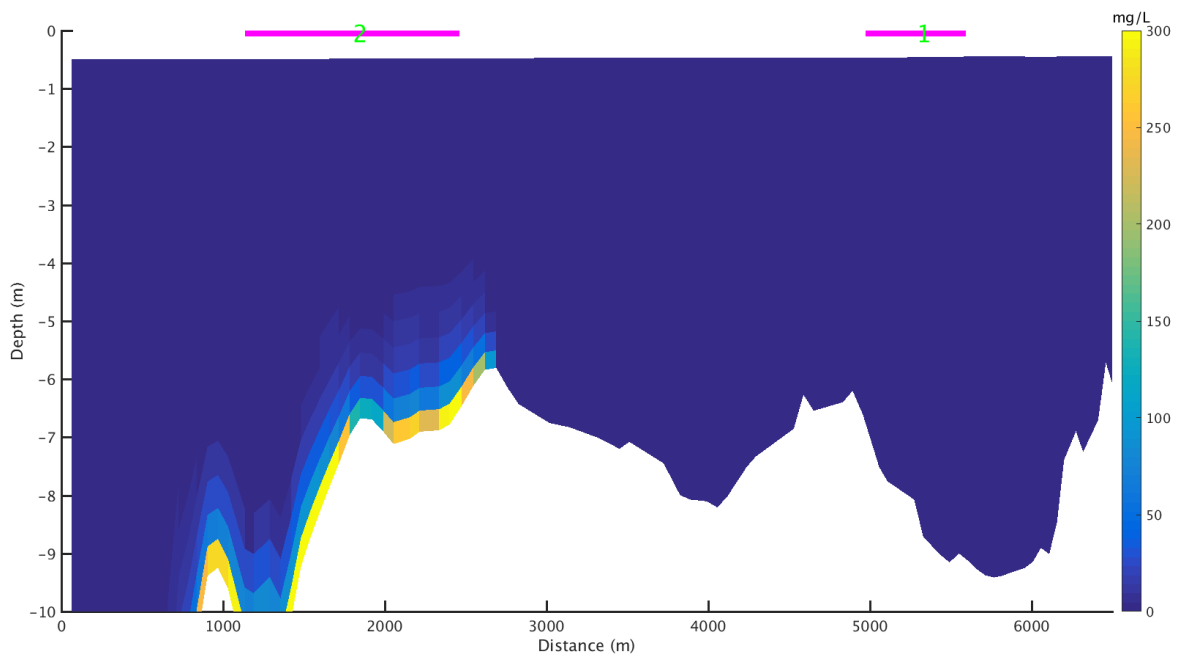
Et vertikalt snitt langs kanalen (lilla linje i Figur 16) med konsentrasjoner av suspendert masse er vist i Figur 17. På samme måte som ved mudring i område 1 oppsto de høyeste konsentrasjonene nært bunnen og avtok raskt mot overflaten.



Figur 15. Konsentrasjon (mg/l) av suspendert materiale på 5 m dyp ved tidspunkt for sterk strøm (dag 23, time 11) for grabbmudring (øverst) og sugemudring (nederst). Mudringsområdene er markert med lilla.



Figur 16. Konsentrasjon (mg/l) av suspendert materiale nært bunnen ved tidspunkt for sterk strøm (dag 23, time 11) for grabbmudring (øverst) og sugemudring (nederst). Mudringsområdene er markert med lilla og bunnkonturer med grått. Et vertikalt snitt langs kanalen er markert med lilla linje, og konsentrasjoner av suspendert materiale langs snittet er vist i Figur 17.



Figur 17. Vertikalt snitt langs kanalen med konsentrasjon av suspendert masse ved tidspunkt for sterk strøm (dag 23, time 11) for grabbmudring (øverst) og sugemudring (nederst). Mudringsområdene er markert med lilla øverst (Område 1 til høyre og område 2 til venstre).

### 3.3 Strøm

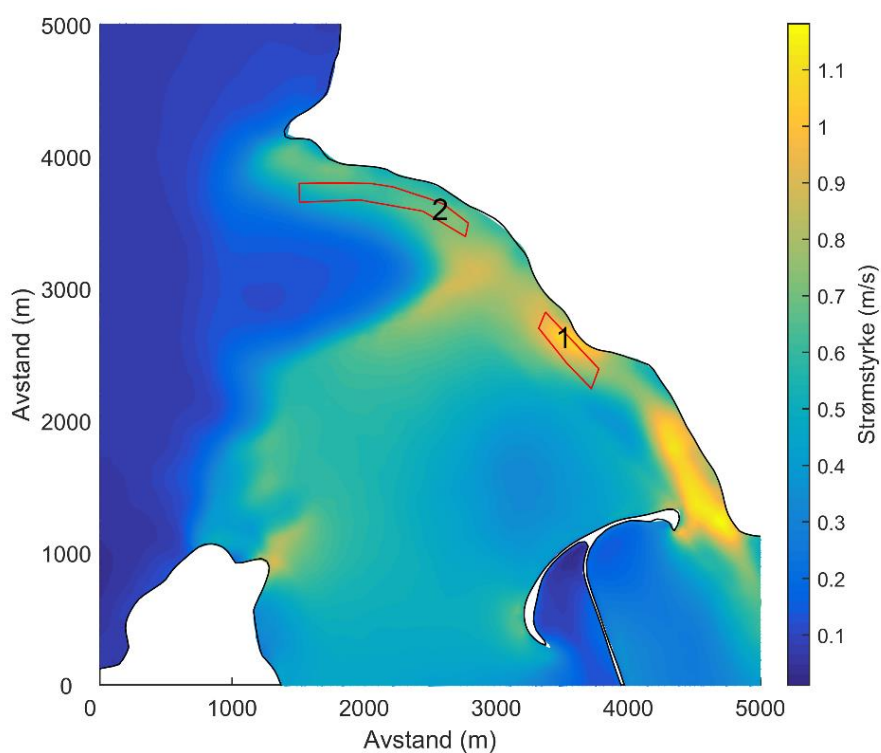
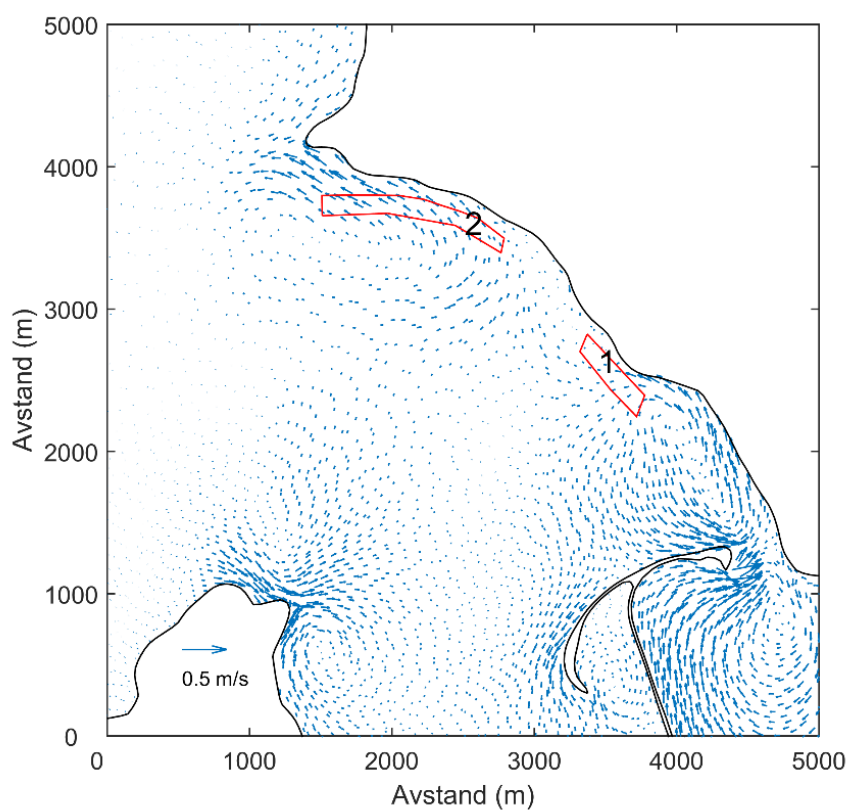
Strømbildet i mudringsområdet er preget av sterk variabilitet, hovedsakelig på grunn av tidevann, og ettersom spredningen og deponeringen av utslippsmassene er et resultat av samspillet over tid mellom strøm og sedimentenes egenskaper, er det vanskelig å illustrere sammenhengen mellom strøm og spredning i noen få figurer. Middelstrømmen og 95 prosentil av strømstyrke (Figur 18) gir likevel et visst inntrykk av hvorfor spredningsmønsteret blir som det blir.

Selv om styrken på middelstrømmen er forholdsvis lav er den tydelig rettet ut av kanalen og ikke innover mot Leirpollen. Dette forklarer hvorfor det meste av massene i hovedsak transporteres utover fra mudringsområde 1.

95 prosentil-kartet indikerer hvilke områder som har sterkest maksimalstrøm, det vil si områder der masse ikke vil bli liggende over tid (selv om de kanskje i første omgang blir deponert der i en periode med svakere strøm). I modellsimuleringene hadde området langs land, fra innerst i kanalen, ut til mudringsområde 1 og videre til mudringsområde 2, forholdsvis høy maksimalstrøm. Dette medfører at masse ikke blir liggende i disse områdene over tid. Området som til slutt blir dekket av massene (se Figur 9) har betydelig lavere maksimalstrøm og er derfor mer utsatt for permanent deponering av masser.

Strømfeltet ved andre tidspunkter kan avvike fra det som er beregnet i denne rapporten, men simuleringsresultatene fra perioden januar til februar 2014 ga lignende middelstrømfelt og 95 prosentilfelt, og ev. forlenging/utsetting av mudring til denne perioden vil sannsynligvis resultere i et lignende spredningsmønster som det som er presentert i denne rapporten.

I simuleringene er det ikke tatt hensyn til at dypet i mudringsområdet endres i løpet av mudringsperioden. Det er rimelig å anta at strømmen i hvert fall ikke blir sterkere etterhvert som kanalen utvides. For å studere strømbildet etter mudring i detalj, bør man foreta ytterligere simuleringer der den nye topografien inkluderes i modellen.



Figur 18. Resultater fra strømmodellen. Øverst: Dybdeintegrert middelsestrøm fra mudringsperioden. En skaleringspil som viser lengden ved strøm på 0.5 m/s er vist i nedre venstre hjørne. Nederst: 95 prosentil av strømstyrke fra mudringsperioden. Det vil si at strømmen var sterkere enn denne verdien kun 5 % av tiden, mens den var svakere 95 % av tiden. Det er altså et mål på forholdsvis vanlig maksimumsstrøm.

## 4 Oppsummering

---

I forbindelse med utbedring av seilingsleden til Leirpollen i Finnmark planlegges det mudring i kanalen fra Tanafjorden til Leirpollen. Totalt skal ca. 256 000 m<sup>3</sup> masser fjernes fra området. I selve mudringsprosessen forventes det at noe av mudringsmassen (ca. 2 % - 5 %) lekker ut i vannsøylen og spres med strømmen. Denne rapporten omhandler utelukkende spredningen og deponeringen (plassering på bunnen) av disse utslippsmassene. Skjebnen til de resterende 95 % - 98 % av massene, altså brorparten av mudringsmassen, er ikke vurdert her.

Numeriske modellstudier er brukt til å utrede spredning og deponering massene som lekker ut i mudreprosessen. To ulike mudringsmetoder er vurdert:

1. Grabbmudring (tapsrate: 5% av totalt mudret masse).
2. Sugemudring (tapsrate 2: % av totalt mudret masse).

Simuleringene indikerer at store deler av utslippsmassen vil deponere på bunnen på ca. 10 m – 25 m dyp rett sør/sør-vest for Stangnes. Maksimal tykkelse på sedimentlaget estimeres til ca. 108 mm for grabbmudring og ca. 39 mm for sugemudring. Arealet som dekkes av et sedimentlag med tykkelse større enn 25 mm vil være ca. 152 000 m<sup>2</sup> for grabbmudring og 23 000 m<sup>2</sup> for sugemudring.

Mengden av suspendert utslippsmasse i vannsøylen avhenger i stor grad av strømstyrken i området. I perioder med sterk tidevannsstrøm kan resuspensjon av tidligere deponerte utslippsmasser føre til økt turbiditet i vannsøylen. Effekten vil være sterkest nært bunnen og avta mot overflaten. Simuleringene indikerer at de høyeste konsentrasjonene av mudringsmasse vil oppstå i selve mudringsområdet (> 1000 mg/l). Konsentrasjonen i det nærliggende tidevannsdeltaet kan i begrensede områder komme opp mot 600 mg/l ved grabbmudring og 400 mg/l for sugemudring. Slike konsentrasjoner vil imidlertid være kortvarige ettersom strømmen sjelden er sterk nok til å genere resuspensjon.

## 5 Referanser

---

- Albretsen J., A. K. Sperrevik, A. Staalstrøm, A. Sandvik, F. Vikebø and L. Asplin. 2011. NorKyst-800 Report No. 1. User Manual and technical descriptions. Fisken og Havet nr 2/2011.
- Børve, E., 2014A. Del1: Resultater fra strømmålinger i Leirpollen i Finnmark, februar – mars 2014. Akvaplan-niva rapport no. 6969.01, 14 sider.
- Børve, E., 2014B. Del2: Resultater fra strømmålinger i Leirpollen i Finnmark, mars - april 2014. Akvaplan-niva rapport no. 6969.02, 13 sider.
- Chen, C., R.C. Beardsley, G. Cowles, J. Qi, Z. Lai, G. Gao, D. Stuebe, H. Liu, Q. Xu, P. Xue, J. Ge, R. Ji, S. Hu, R. Tian, H. Huang, L. Wu, H. Lin, Y. Sun and L. Zhao, 2013. An Unstructured-grid, Finite-volume Community Ocean Model FVCOM User Manual, third ed. SMAST/UMASSD Technical Report-13-0701, University of Massachusetts-Dartmouth.
- Ge, J., P. Ding, C. Chen, S. Hu, G. Fu and L. Wu 2013. An integrated East China Sea-Changjiang Estuary model system with aim at resolving multi-scale regional-shelf-estuarine dynamics. *Ocean Dynamics*, 63: 881. doi:10.1007/s10236-013-0631-3
- ITTC, 1999. <http://itcc.info/media/2017/75-02-01-03.pdf>, 6 sider.
- Morris, D.A. and A.I. Johnson, 1967. Summary of hydrologic and physical properties of rock and soil materials as analyzed by the Hydrologic Laboratory of the U.S. Geological Survey 1948-1960. U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1839-D. 42 p.
- Måsø, N.H., 2016. <https://www.nrk.no/sapmi/gruvegigant-med-store-utvidelsesplaner-midt-i-reinbeiteomrade-1.12811880>, Postet 19.02.2016.
- Solomos, S., G. Kallos, J. Kushta, M. Astitha, C. Tremback, A. Nenes and Z. Levin, 2011: An integrated modeling study on the effects of mineral dust and sea salt particles on clouds and precipitation. *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 873–892
- Shchepetkin, A.F. and J.C. McWilliams, 2005. The Regional Ocean Modeling System (ROMS): a split-explicit, free-surface, topography following coordinate oceanic model. *Ocean Modeling* 9:347-404.
- Swanson, J.C. and T. Isaji, 2006. Modeling dredge-induced suspended sediment transport and deposition in the Taunton River and Mt. Hope Bay, Massachusetts. Presented at WEDA XXVI / 38th TAMU Dredging Seminar, June 25-28, San Diego, CA.
- U.S. Geological Survey, 2013. <https://pubs.usgs.gov/sir/2008/5093/table7.html>.
- Zhang, P., O. W. H. Wai, X. Chen, J. Lu and L. Tian, 2014. Improving sediment transport prediction by assimilating satellite images in a tidal bay model of Hong Kong. *Water*, 6, 642-660; doi:10.3390/w6030642



# Appendiks 1: Strømodellering

---

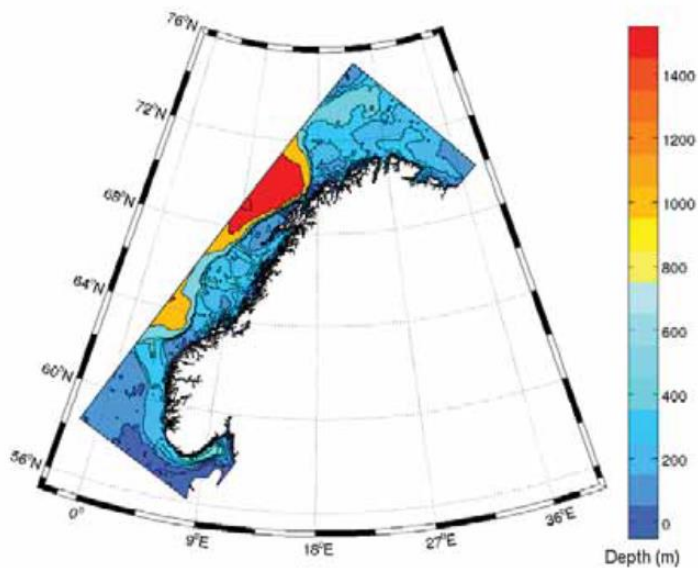
## Modelloppsett

Selv om det i dette tilfellet er knyttet mest interesse til strømsirkulasjonen innerst i Tanafjorden er det nødvendig ta utgangspunkt i modellering av et betydelig større område for å sikre at storskala fenomener i havet utenfor forplanter seg riktig inn mot interesseområdet. I dette tilfellet gjelder dette spesielt tidevannet, men egenskapene til vannmassene i fjorden vil også påvirkes av vannmassene i havet utenfor. Modelleringene må derfor utføres i flere steg der første steg består av å bruke en kystmodell med forholdsvis grov oppløsning (lang avstand mellom beregningspunkter) som dekker et stort område, deretter modelleres det på nytt med mindre dekningsområde og høyere oppløsning i en regional fjordmodell som dekker Finnmark. Siste steg er finskala modellering av interesseområdet i Tanafjorden. Resultatene i denne rapporten kommer fra dette siste steget.

I hvert steg brukes resultater fra grovere modellkjøring som inngangsdata til finere modellkjøring, såkalt nøsting. De to modellstegene som modelleringen i denne rapporten er basert på er beskrevet nedenfor.

### Kystmodell: Norkyst-800

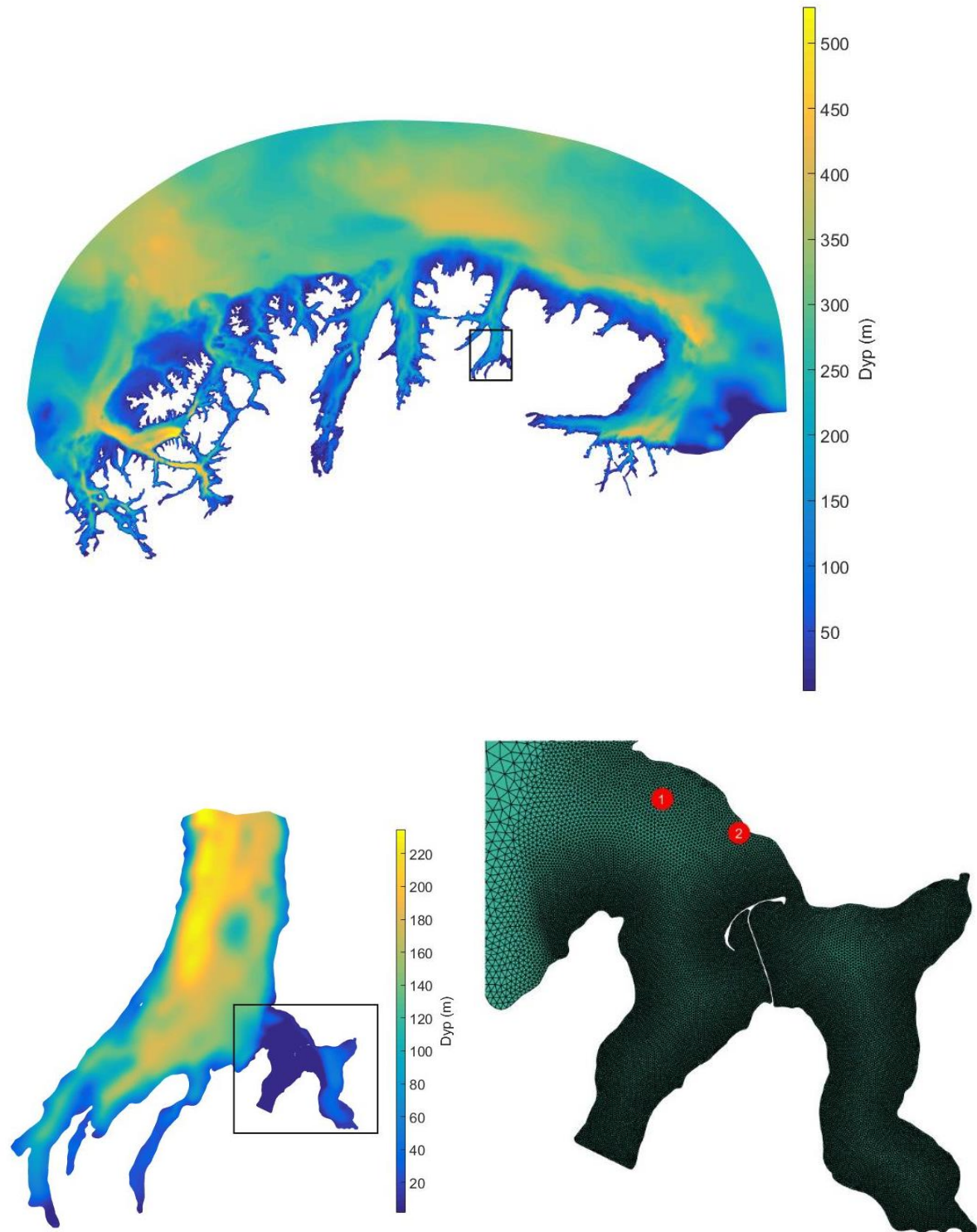
Kystmodellen NorKyst-800 er en numerisk modell som simulerer strøm, saltholdighet og temperatur med 800 meters romlig oppløsning og med høy oppløsning i tid, for hele norskekysten (Albretsen m. fl., 2011, Figur 19). NorKyst-800 er utviklet på Havforskningsinstituttet i samarbeid med Meteorologisk institutt og Niva. Systemet bruker Regional Ocean Modeling System (ROMS, Shchepetkin & McWilliams, 2005) til hydrodynamiske beregninger og inkluderer både vinddrivkrefter og ferskvannstilførsel for å produsere mest mulig realistiske resultater. Resultater fra kjøring utført av Havforskningsinstituttet har vært benyttet som inngangsdata til et regionalt modelloppsett for Finnmark.



Figur 19. Området som dekkes av NorKyst-800 modellen. Resultater fra NorKyst-800 er brukt som inngangsdata til finskala modellering av Tanafjorden og det omkringliggende fjordsystemet (Figur 20). Fargeskalaen viser bunndypet i modellen.

### Regional modell: FVCOM – Finnmark

Resultatene fra simuleringene med NorKyst-800 ble brukt som utgangspunkt for en regional FVCOM-modell som dekker Finnmark (Figur 20, <http://finnmark.akvaplan.com/metoder/strommodellering>). Denne modellen ble kjørt for perioden 2013 – 2014 og resultatene ble brukt som initialbetingelse og grensebetingelser for modellkjøringene som er presentert i denne rapporten.



Figur 20. Øverst: Det regionale FVCOM-modellområdet Finnmark. Dette modelloppsettet bruker data fra NorKyst800 som inngangsdata. Nederst til venstre: FVCOM-modellområdet for indre del av Tanaffjorden som resultatene i denne rapporten er basert på. Nederst til høyre er et utdrag av hovedinteresseområdet med gridcellene inntegnet, fra innerst i Leirpollen i sør og ut i Tanaffjorden. Plassering av valideringsmålinger for strøm og temperatur er vist med tallene 1 og 2.

## Sammenligning av modelldata og måledata

En numerisk modell vil alltid til en viss grad være en forenkling av virkeligheten. Modellen har for det første begrenset oppløsning, og i tillegg vil små unøyaktigheter i bunntopografi og drivkrefter også kunne skape unøyaktigheter i modellen. Man kan altså ikke forvente at modellen produserer perfekte resultater på ethvert sted og til ethvert tidspunkt, men en god modell bør gjenspeile hovedtrekkene i variasjonsmønstrene i modellområdet.

Akvaplan-niva utførte målinger i mudreområdet (Tabell 4, Børve, 2014A; Børve, 2014B) fra slutten av mars til midten av mai 2014. Posisjonen til strømmålerne er vist i Figur 20. For å muliggjøre en viss kvalitetskontroll av modellen ble simuleringsperioden forlenget for dekke måleperioden. Direkte sammenligning av strøm og temperatur fra målinger og finskalamodellen (Kapittel 2.1) fra samme tid og sted er vist i (Figur 21, Figur 22 og Figur 23).

Tabell 4: Oversikt over strømmålinger i interesseområdet, utført av Akvaplan-niva i 2014.

Stasjon	Lengdegrad	Breddegrad	Måleperiode	Måleinstrument	Måledyp (m)
St 1	28°24.301'Ø	70°31.991'N	28.03.2014 11.05.2014	– Aquadopp Profiler (Nortek AS)	6, 9, 12, 15, 18, 24
St 2	28°26.321'Ø	70°31.466'N	02.04.2014 12.05.2014	– Aquadopp Punktmåler (Nortek AS)	9

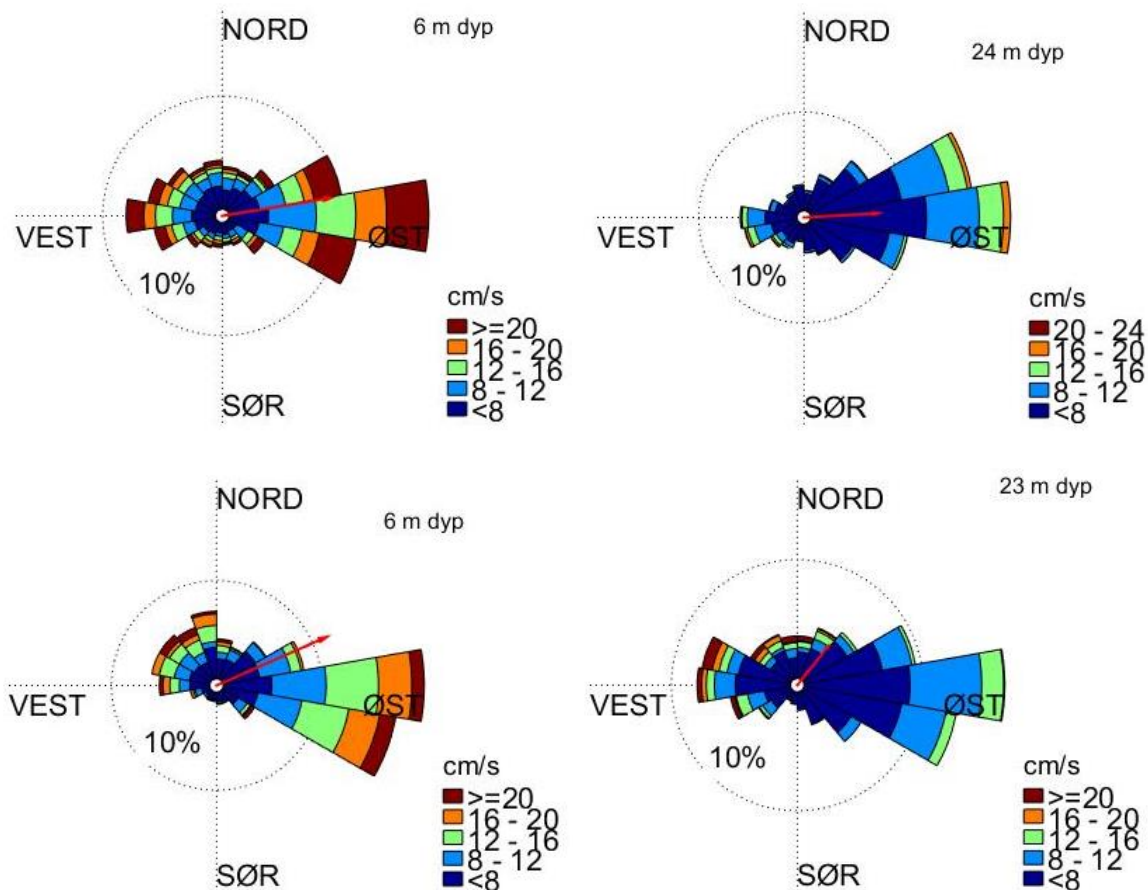
Det er generelt godt samsvar mellom modell og målinger.

Strømmålingene ved St 1 ser ut til gjennomgående å ha noen flere registreringer på høye strømhastigheter enn modellen, unntatt for strøm mot vest på ca. 24 m dyp, hvor modellen viser sterkeste strøm.

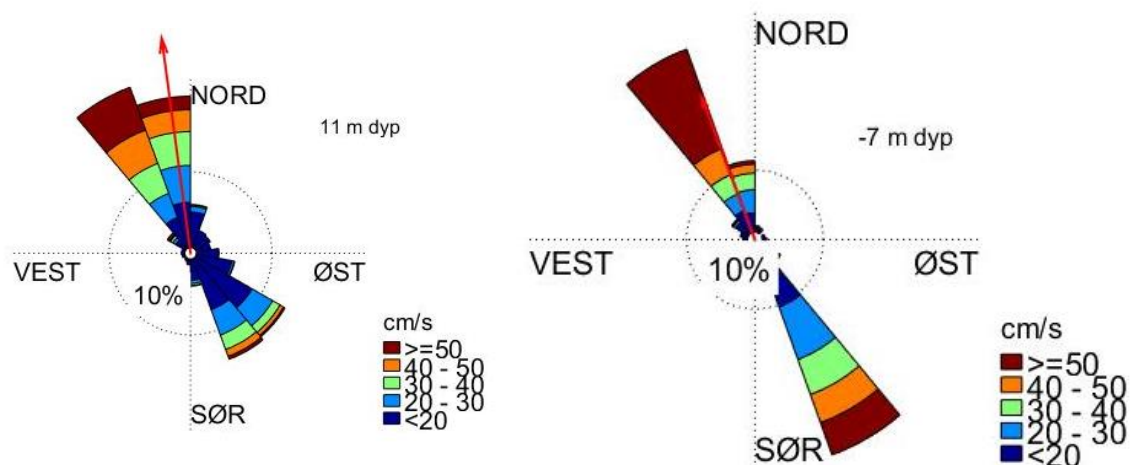
Ved St 2, omtrent midt i kanalen der kanalen er på sitt smaleste, viser også retningen godt samsvar. Her er imidlertid strømfarten til modellen gjennomgående kraftigere enn i målingene.

Tidsseriene for temperatur i modell vs. målinger (Figur 23) viser at modellen er ca. 1°C enn i målingene både ved St 1 og St 2. For øvrig følger temperatursvingningene i modellen svært godt med temperatursvingningene i målingene, som er forårsaket av tidevannsperiodene med nye innkommende vannmasser ca. hver 12. time.

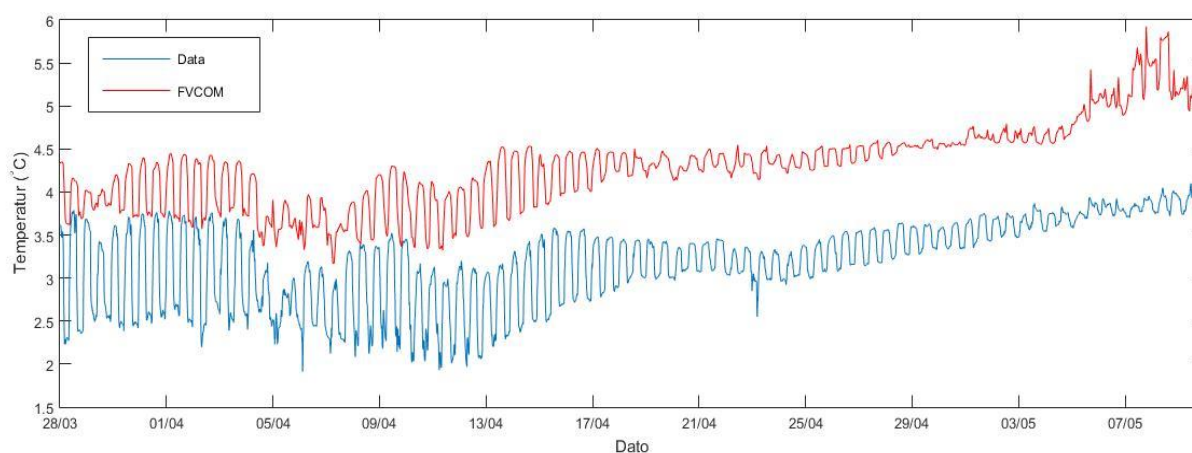
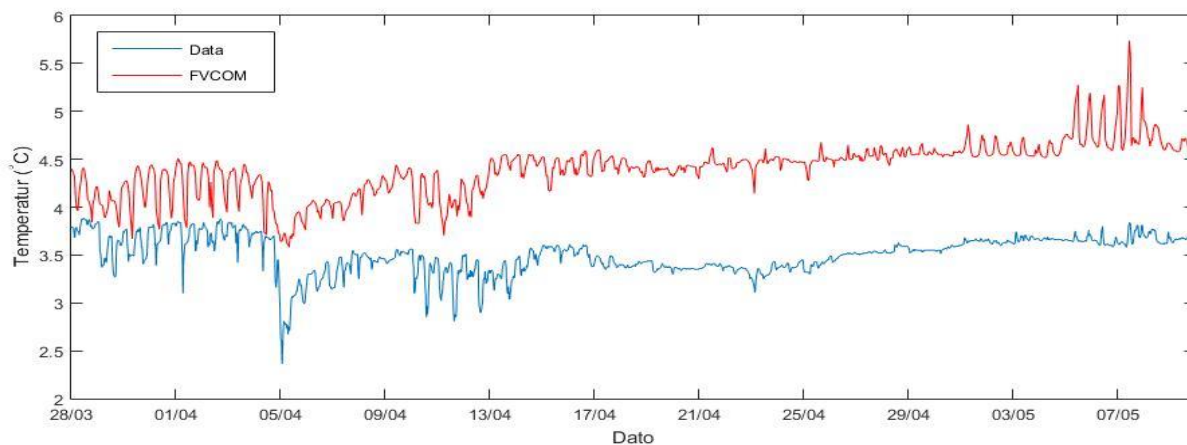
Det er vanskelig å sette opp nøyaktige og objektive kriterier for når en modell gjengir virkeligheten på en tilfredsstillende måte, men sammenligning av modelldata med strømdata fra interesseområdet tyder på at modellen i hovedsak gjør en god jobb i vårt tilfelle.



Figur 21. Strømroser fra to ulike dyp (6 og 24 m) ved St 1. Måledata er vist øverst og modelldata er vist nederst. Nettostrømvektor er gitt med rød pil.



Figur 22. Strømroser fra St 2 lenger sør i kanal (se Figur 20). Måledata er vist til venstre og modelldata er vist til høyre. Nettostrømvektor er gitt med rød pil.



Figur 23. Tidsserier for temperatur fra måling (blå kurve) og modell (rød kurve) fra St 1 (øverst) og St 2 (nederst) i perioden 28.3.2014 - 10.5 2014.

## Appendiks 2: Sedimentmodell

---

### Matematisk representasjon av sedimenttransport

Transporten av sediment som er suspendert i vannsøylen finnes ved å løse den tredimensjonale adveksjonsligningen:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} + \frac{\partial u C_i}{\partial x} + \frac{\partial v C_i}{\partial y} + \frac{\partial (w - w_i) C_i}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} (A_H \frac{\partial C_i}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (A_H \frac{\partial C_i}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_h \frac{\partial C_i}{\partial z})$$

der  $u$ ,  $v$  og  $w$  er hastigheter i  $x$ ,  $y$  og  $z$  retning,  $C_i$  er sedimentkonsentrasjonen til sediment  $i$ ,  $A_H$  og  $K_h$  er henholdsvis horisontal og vertikal eddy-viskositet. Synkehastigheten  $w_i$  må settes av brukeren for hver sedimentklasse. Ved overflaten,  $z = \eta$ , brukes en grensebetingelse som hindrer transport gjennom overflaten:

$$K_h \frac{\partial C_i}{\partial z} = 0$$

Ved bunnen  $z = -H$ , er sedimenttransporten gitt ved forskjellen mellom deponering  $D_i$  og erosjon  $E_i$ :

$$K_h \frac{\partial C_i}{\partial z} = E_i - D_i$$

Her er erosjonen gitt ved:

$$E_i = \Delta t E_0 (1 - P_b) F_{bi} \left( \frac{\tau_b}{\tau_{ci}} - 1 \right)$$

der  $\Delta t$  er modellens tidssteg,  $E_0$  er en erosjonskonstant,  $P_b$  er bunnporøsiteten,  $F_{bi}$  er andelen av sediment i bunnen,  $\tau_b$  er skjærspenning ved bunnen, og  $\tau_{ci}$  er det kritisk skjærspenning for erosjon for sediment  $i$ .

## Synkehastighet til mudringsmasser

Formelen for Stoke's lov for partiklers synkehastighet i en væske er gitt ved:

$$V = \frac{2R^2(\rho_s - \rho_w)g}{9\mu}$$

der:

$V$	=	vertikalhastighet av partikkelen i vann (synkehastighet)
$R$	=	partikkelradius
$\rho_s$	=	partikkelens tetthet
$\rho_w$	=	væskens tetthet
$\mu$	=	væskens dynamiske viskositet = $\nu \cdot \rho_w$ hvor $\nu$ = kinematisk viskositet

Egenvekten til partiklene i deponeringsmaterialet er anslått til 2 700 kg/m<sup>3</sup>. Kinematisk viskositet for sjøvann (saltholdighet 35 psu) ved temperatur 10 °C er ca. 1.35·10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>, og med tetthet  $\rho_w = 1025$  kg m<sup>-3</sup> blir dynamisk viskositet ca. 1.38·10<sup>-3</sup> kg m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>, eller 1.38 centipoise (ITTC, 1999). Viskositeten avtar med økende trykk, men endringen ved 300 m ( $p = 30$  kg/cm<sup>2</sup>) er bare ca. 0.045 centipoise, og antas å være konstant i denne studien.

Formelen gir kun en grov tilnærming til synkehastigheten, da den gjelder for ideelle omgivelser. Blant annet er følgende forutsetningene ikke tilstrekkelig oppfylt:

- Vannmassene er ikke stillestående. Dette spiller mindre rolle for store partikler, men turbulens kan redusere synkehastigheten til små partikler
- Partiklene er ikke kulerunde, men har en irregulær form med større overflate enn en kule. Dette vil bidra til å redusere synkehastigheten, spesielt til de mindre partiklene.

Terminalfarten ( $V_T$ ) inntreffer når tyngdekraften som drar partiklene mot havbunnen balanseres av motstanden i vannet (oppdrift og viskositet). Ved denne farten akselererer ikke partiklene lenger, men faller med konstant fart. Når partiklene etter en viss tid har oppnådd denne hastigheten er det ikke lenger Stokes lov som beskriver hastigheten til partiklene, men derimot terminalfarten. Terminalfarten er gitt ved:

$$V_T = \sqrt{\frac{4gd}{3C_D} \cdot \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}}$$

der:

$d$	=	partikkeldiameter
$V_T$	=	terminalfarten av partikkelen i vann (synkehastighet)
$C_D$	=	friksjonsdraget på partikkelen

Friksjonsdraget er satt til å være 1.0. Denne varierer typisk fra 0 til 2, der en verdi nær 0 tilsvarer en partikkel nesten uten motstand, og en verdi omtrent lik 1 eller mer tilsvarer en partikkel med mye motstand. Verdien 0.5 tilsvarer for eksempel en kule med ujevn overflate. Beregninger



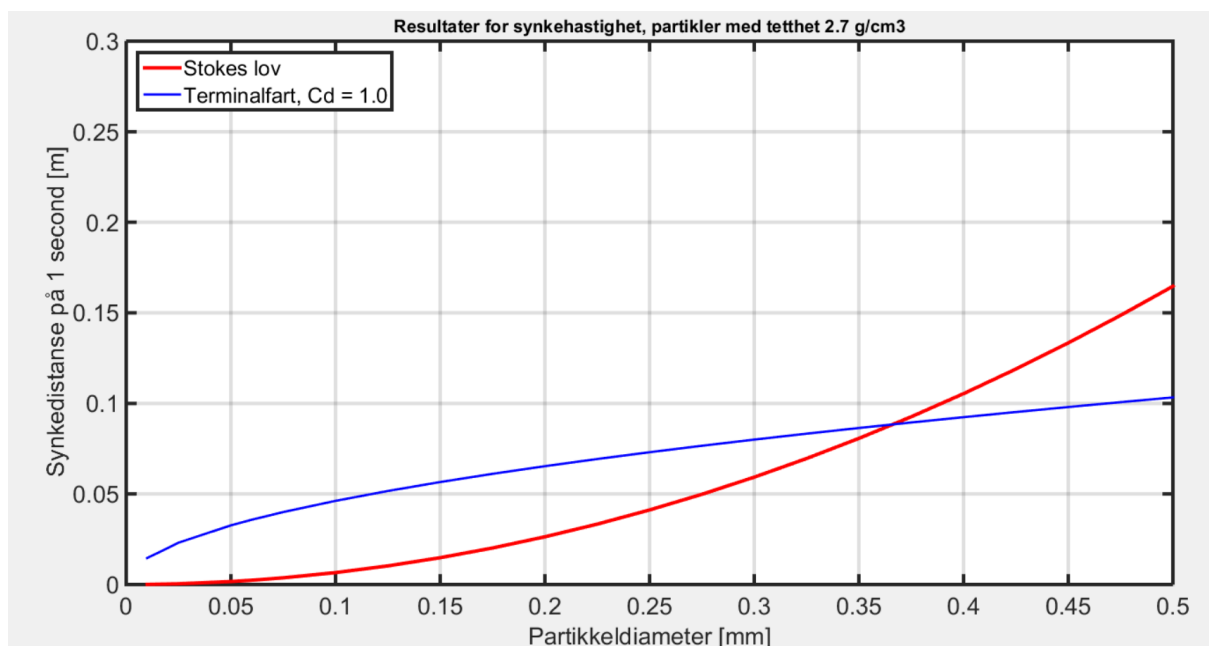
med friksjonsdrag 1.0 regnes da for å være en konservativ verdi med hensyn til turbiditet i vannsøylen, da partiklene får lavere synkehastighet. Høyere friksjonsdrag oppstår når sedimentpartiklene er mindre runde, at de har mer flate og større overflater. Dette resulterer i sedimentasjon med en mindre tykkelse over et større område i forhold til en situasjon med friksjonshastighet 0.5, men også en lengre periode med økt turbiditet i vannsøylen.

Med disse forutsetningene og antagelser angående synkehastighet og terminalhastighet, vurderes metodikken som en tilstrekkelig tilnærming for å skaffe oversikt over deponeringens utstrekning og tykkelse på havbunnen.

Ved å bruke egenvekten  $2\,700\text{ kg/m}^3$  for deponeringsmassene og formelen for Stokes' lov for partiklers synkehastighet (I) og formelen for terminalhastighet (II), får man kurver for synkehastighet og terminalhastighet vs. partikkeldiameter (Figur 24). Man ser eksempelvis at en partikkel med diameter 0.2 mm synker ca. 0.025 m/s, som gir ca. 1.5 m på ett minutt. Partikler med diameter 0.3 mm synker nesten 4 m per minutt.

For partikler større enn ca. 0.4 mm, vil terminalfarten begynne å tre inn og begrense synkehastigheten framfor Stoke's lov.

Det er innlysende at partiklene må være relativt små for at de skal kunne bli spredd utenfor selve kanalområdet mellom Tanafjorden og Leirpollen.



Figur 24. Synkedistansen per sekund som funksjon av partikkeldiameteren i millimeter, for partikler med tetthet  $2\,700\text{ kg/m}^3$ , med både Stoke's lov (rød kurve) og terminalhastigheter med friksjonsdrag  $C_D = 1.0$  (blå kurve). Merk at for partikler mindre enn ca. 0.36 mm er synkehastigheten gitt ved Stoke's lov (rød kurve), mens den for større partikler er gitt ved terminalfarten (blå kurve). Altså er det nederste kurve som hele tiden styrer hvilken synkehastighet som gjelder. I dette prosjektet benyttes det  $C_D = 1.0$  av konservative årsaker. Det er først og fremst partikler  $< 0.27\text{ mm}$  som blir analysert da det er disse som har potensiale til å forflytte seg en vesentlig avstand fra utslippspunktet per tidssteg. Det er da Stoke's lov som er gjeldende.