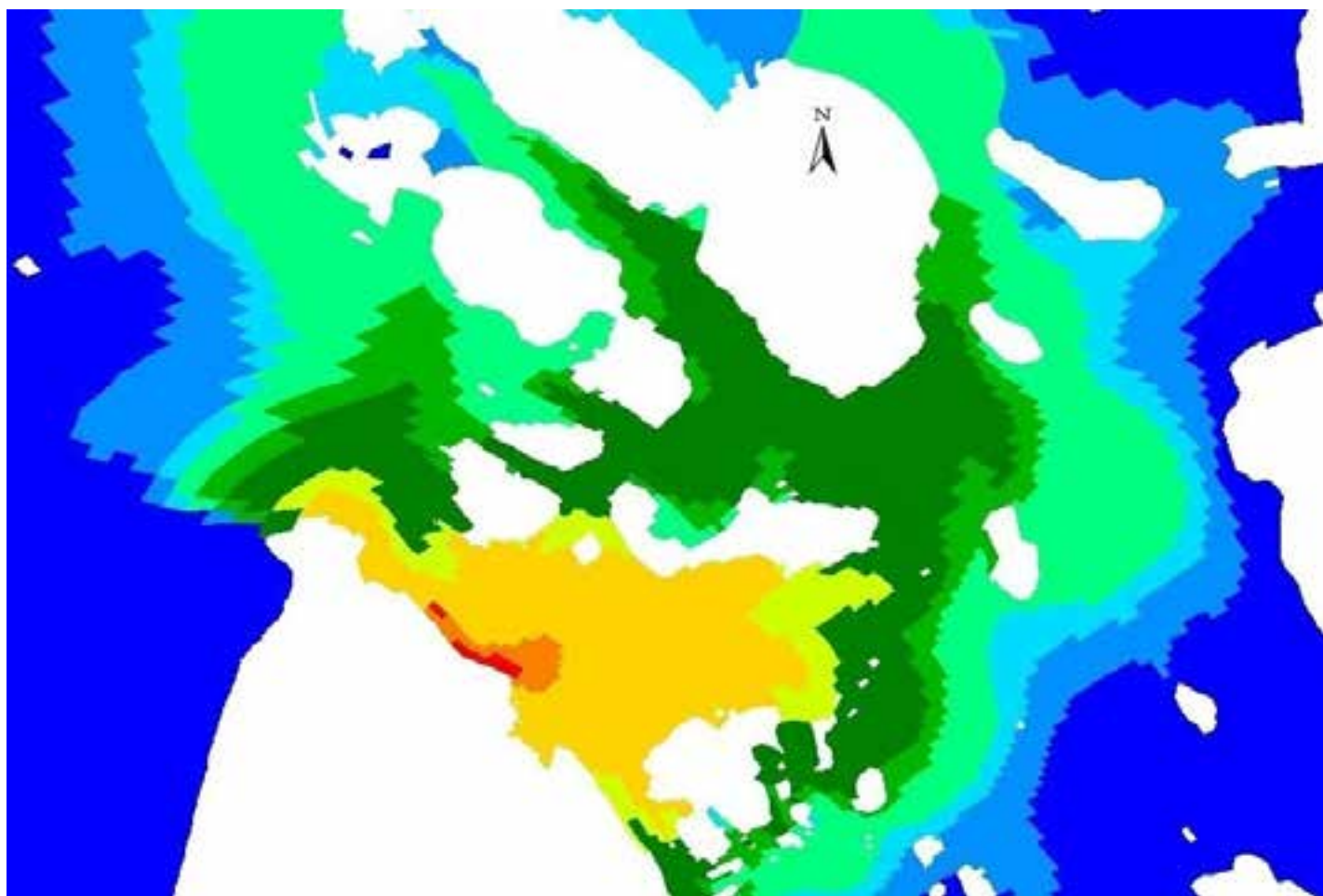


# Modellering av strøm og partikkeltransport i forbindelse med utfylling utenfor Mekjarvik



**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 Modellering av strøm og partikkeltransport i forbindelse med utfylling utenfor Mekjarvik.	Løpenr. (for bestilling) 6846-2015	Dato 1.7.2015
	Prosjektnr. Undernr. 15098	Sider 27
Forfatter(e) André Staalstrøm Magdalena Kempa	Fagområde Oseanografi	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Rogaland	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Norconsult AS ved Gaute Rørvik Salomonsen	Oppdragsreferanse
---	-------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Modellen GEMSS som er satt opp for området rundt Kvitsøyfjorden og Byfjorden, er benyttet til å modellere spredning av partikler fra det planlagte utfyllingsområdet for steinmasser utenfor Mekjarvik. I nordvestlig retning spres partiklene seg hovedsakelig langs land på den siden av sundet som de slippes ut. Store mengder partikler, med partikkelkonsentrasjoner godt over 200 mg/l i store deler av vannsøylen, når en posisjon på denne siden som er plassert omtrent 1500 m fra utslippspunktet. På den andre siden sundet vil det være betydelig mindre partikkelkonsentrasjoner som følge av dumping av steinmasser i utfyllingsområdet, men konsentrasjonene blir forhøyet også på denne siden. De høyeste partikkelkonsentrasjonene på denne siden kan komme opp i en verdi over 40 mg/l. Et vanninntak som plasseres der vil ta inn vann som har forhøyede partikkelkonsentrasjoner som følge av dumping av steinmasser i utfyllingsområdet utenfor Mekjarvik.</p>
---

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Oseanografi</li> <li>2. Numerisk modellering</li> <li>3. Partikkeltransport</li> <li>4. Vanninntak</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Oceanography</li> <li>2. Numerical modelling</li> <li>3. Particle transport</li> <li>4. Water intake</li> </ol>
--	--



André Staalstrøm  
Prosjektleder



Lars Golmen  
Kvalitetssikrer



Kai Sørensen  
Forskningsleder

# **Modellering av strøm og partikkeltransport i forbindelse med utfylling utenfor Mekjarvik**

## Forord

Norconsult AS er engasjert av Statens vegvesen Region vest i forbindelse med E39 Eiganestunnelen og Rv 13 Ryfast, hvor steinmasse tas ut. NIVA fikk i februar 2015 i oppdrag fra Norconsult AS å vurdere hvordan steinmasse som skal deponeres utenfor Mekjarvik i Rogaland, vil spres i vannmassene, med spesielt fokus på vanninntaket til IRIS sin forskningsstasjon.

Undertegnede har vært prosjektleder for prosjektet. Magdalena Kempa har vært ansvarlig for modelleringsarbeidet. Gaute Rørvik Salomonsen har vært vår kontaktperson hos Norconsult

Oslo, 1. juli 2015

*André Staalstrøm*

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>6</b>
<b>Summary</b>	<b>7</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>8</b>
<b>2. Strømforhold i området</b>	<b>10</b>
<b>3. Modellen GEMSS</b>	<b>14</b>
3.1 Generell beskrivelse av GEMSS	14
3.2 Modelloppsett	15
3.3 Validering av modellen	16
<b>4. Beskrivelse av utslippet</b>	<b>19</b>
<b>5. Vurdering av påvirkning av vanninntak</b>	<b>21</b>
<b>Referanser</b>	<b>27</b>

## Sammendrag

Det er planlagt å fylle ut et område utenfor Mekjarvik i Rogaland med steinmasser. Omtrent 500 m nordvest for det planlagte utfyllingsområdet har IRIS sin forskningsstasjon et vanninntak på omtrent 80 m dyp, som vil bli påvirket av partikler som spres fra utfyllingsområdet. To andre posisjoner for vanninntak blir vurdert.

Modellen GEMSS som er satt opp for området rundt Kvitøyfjorden og Byfjorden, gjenskaper variabiliteten i sirkulasjonsmønsteret på en tilfredsstillende måte, slik at denne hydrodynamikken kan benyttes til å modellere spredning av partikler fra utfyllingsområdet for steinmasser utenfor Mekjarvik.

I nordvestlig retning spres steinmassene seg hovedsakelig langs land på den siden av sundet som det slippes ut på. Store mengde partikler, med partikkelkonsentrasjoner godt over 200 mg/l i store deler av vannsøylen, når en posisjon på denne siden som er plassert omtrent 1500 m fra utslippspunktet.

På den andre siden av sundet vil det være betydelig mindre partikkelkonsentrasjoner som følge av dumping av steinmasser i utfyllingsområdet, men konsentrasjonene blir forhøyet også på denne siden. I en posisjon der, omtrent 2500 m fra utslippspunktet, vil konsentrasjonen være over 6 mg/l mesteparten av tiden i 30 m dyp, omtrent halvparten av tiden i 50 m dyp og i omtrent 14 til 41 % av tiden i 65 m dyp. De høyeste partikkelkonsentrasjonene på denne stasjonen kan komme opp i en verdi over 40 mg/l. Et vanninntak under omtrent 20 m som plasseres ved denne posisjonen vil ta inn vann som har forhøyede partikkelkonsentrasjoner som følge av dumping av steinmasser i utfyllingsområdet utenfor Mekjarvik.

## Summary

Title: Modelling of circulation and particle transport in connection with deposit of masses outside Mekjarvik

Year: 2015

Author: André Staalstrøm, Magdalena Kempa

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: 978-82-577-6581-1

An area outside Mekjarvik in Rogaland is planned as a deposit area for stones. Approximately 500 m northwest of the planned deposition area, IRIS research station has a water intake of about 80 m depth, which will be affected by particles scattered from the deposition area. Two alternative positions for water intake are considered.

A model setup using the model GEMSS for area around Kvitsøyfjorden and Byfjorden, recreates the variability in the circulation pattern in a satisfactory manner. The hydrodynamics is used to model the dispersion of particles from an operation where for masses containing rock is deposited in the sea outside Mekjarvik.

In the northwesterly direction, the dispersion of particle follows the topography, and the highest concentrations area found along the coast on the side of the sound where the particles are released. On this side of the sound the particle concentrations reach well above 200 mg/l in large parts of the water column at a station situated approximately 1500 m from the discharge point.

On the opposite side of the sound the particle concentrations are significantly lower due to deposition of masses in the sea outside Mekjarvik, but the concentrations are elevated also at this side. In a position located approximately 2500 m from the discharge point, but on the other side of the sound, the concentrations is higher than 6 mg/l most of the time in the 30 m depth, about half of the time in the 50 m depth and approximately 14 to 41 % of the time in 65 m depth. The highest particle concentrations at this station can reach above a value of 40 mg/l. A water intake below about 20 m situated at this position will take in water that has elevated particle concentrations as a result of dumping of masses in the deposition area outside Mekjarvik.

# 1. Innledning

Det er planlagt å fylle ut et område utenfor Mekjarvik i Rogaland med steinmasser (**Figur 1**). Steinmassene er sprengstein fra tunell som bygges i forbindelse med prosjektet E39 ROGFAST. Omtrent 500 m nordvest for det planlagte utfyllingsområdet har IRIS sin forskningsstasjon et vanninntak på omtrent 80 m dyp, som vil bli påvirket av partikler som spres fra utfyllingsområdet.

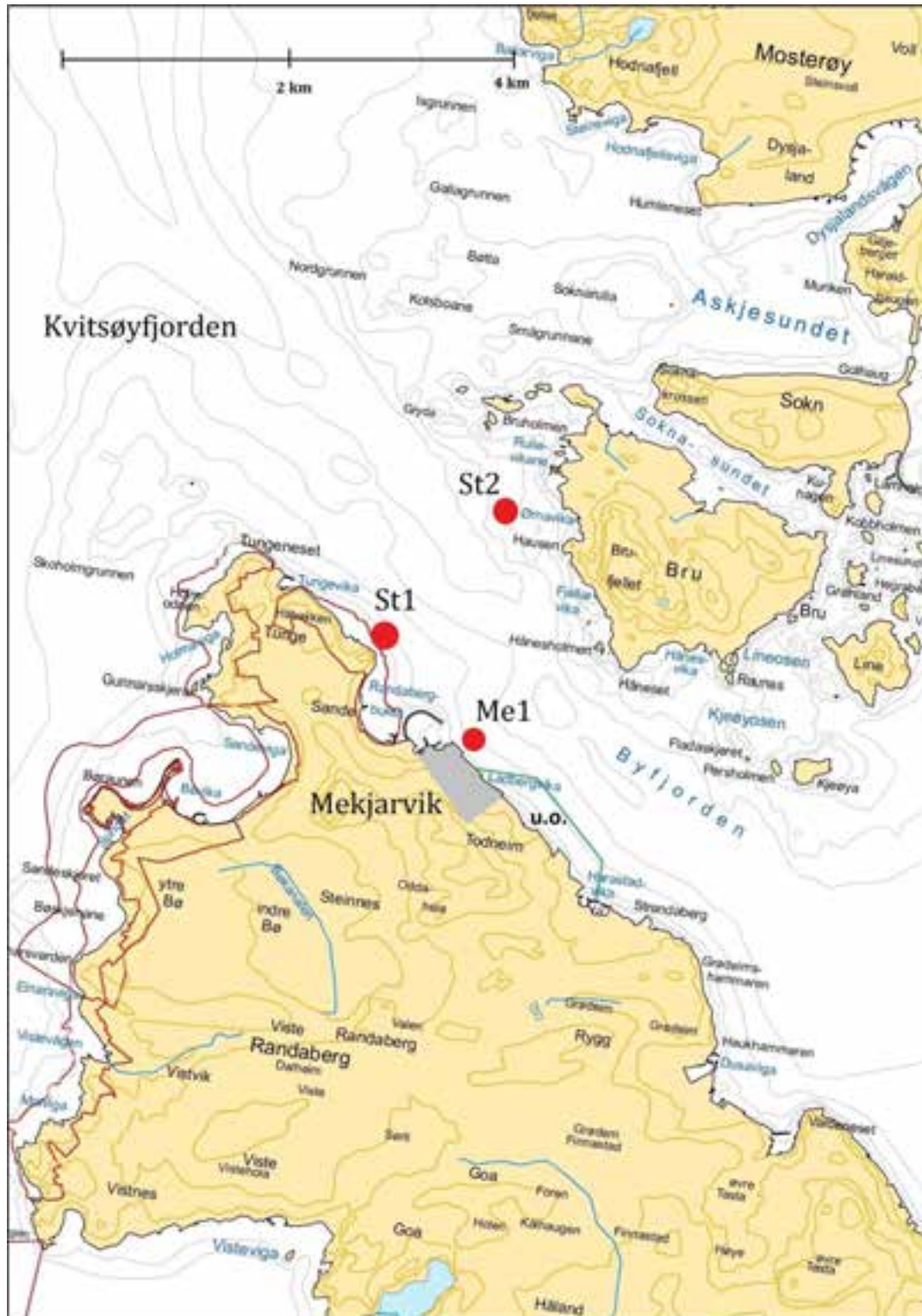
I denne rapporten er strømforholdene og spredning av partikler fra dumpede steinmasser i området blitt simulert med den numeriske modellen GEMSS. I modellen har det blitt lagt inn et utslipp utenfor Mekjarvik og det er vurdert hvordan partikkelspredning fra denne operasjonen kan påvirke posisjoner for vanninntak i nærheten.

Utenfor Mekjarvik ligger Byfjorden som står i fri forbindelse med havområdene utenfor via Kvitsøyfjorden (**Figur 2**). Midt i fjorden utenfor Mekjarvik er det 150 m dypt. En grønn linje på figuren angir det området som skal fylles ut merket u.o. for «utfyllingsområdet». Det er et eksisterende vanninntak i en posisjon som ligger i nærheten av stasjon Me1 merket av i kartet. På denne stasjonen har det blitt foretatt profilerende strømmålinger (Bechmann, 2014).



**Figur 1.** Flyfoto av Mekjarvik og Byfjorden.





**Figur 2.** Kart over området. Omtrentlig plassering av utfyllingsområdet (u.o.) er markert med grønne streker. Profilerende strømmålinger har blitt foretatt på stasjonen markert Me1. Det eksisterende vanninntaket er rett på utsiden av denne posisjonen. Forslag til nytt vanninntak er markert med St2. Dybdekonturer er tegnet med grått for dypene 150, 100, 50, 20 og 10 m.

## 2. Strømforhold i området

Strømmålinger har blitt foretatt i en posisjon utenfor Mekjarvik, merket Me1 i **Figur 2** (Bechmann, 2014). Målingene ble foretatt med en profilerende strømmåler av typen Nortek Aquadopp, i perioden fra 29. august til 30. september 2014. Strømmålingene er sammenlignet med målt vannstand i **Figur 3**. Legg spesielt merke til de kraftige strømmene i nordvestlig retning, som forekommer tidvis når det er høy forskjell mellom høyvann og lavvann.

Strømbildet utenfor Mekjarvik vil variere på flere forskjellige tidsskalaer. Tidevannsvariasjonen kan trekkes ut ved harmonisk analyse, hvor den observerte strømmen blir tilpasset en sum av sinuskurver som har forskjellige tidevannsperioder med vinkelfrekvensen  $\omega_i$  og faseforskyvning  $\varphi_i$

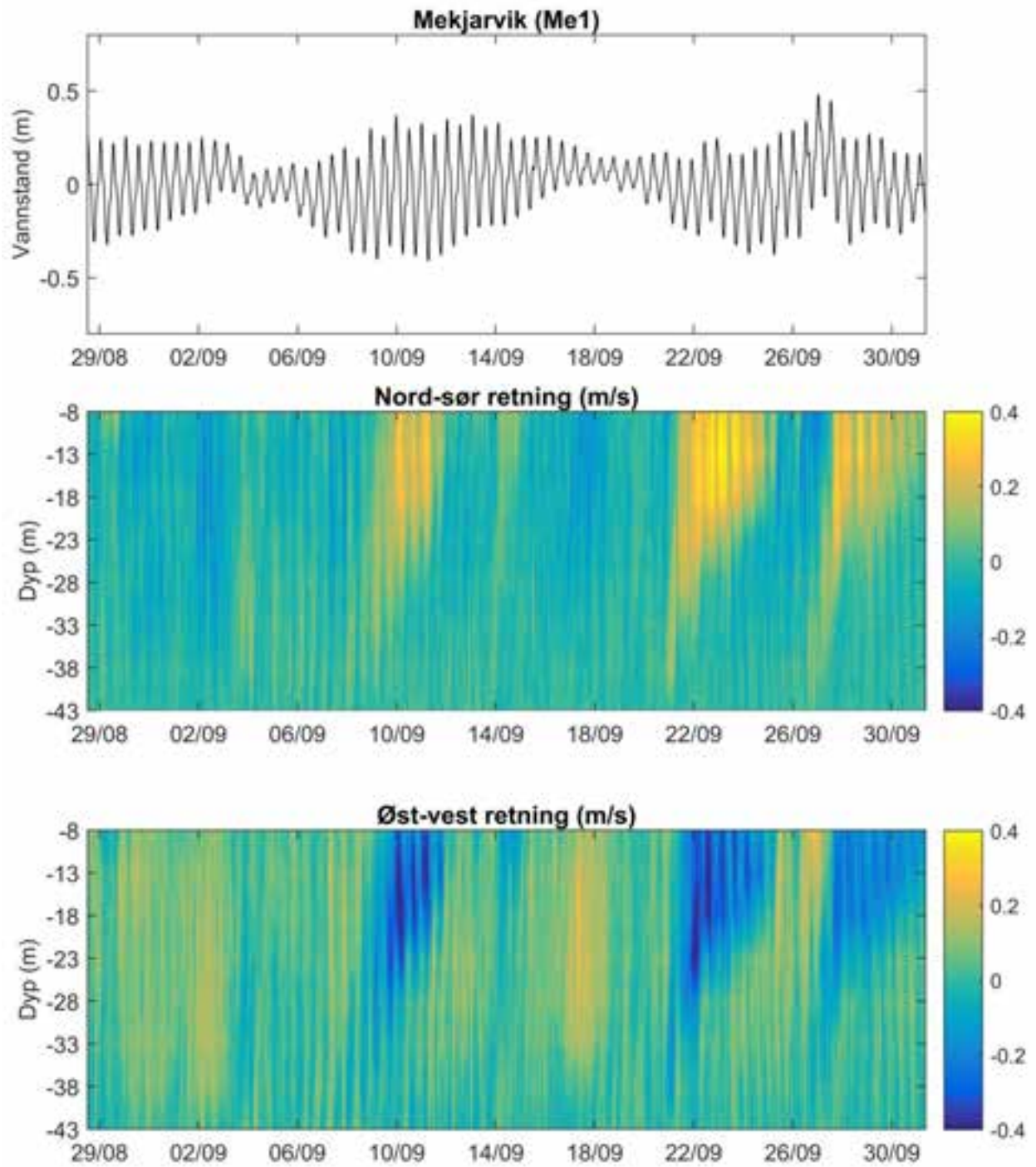
$$\tilde{u}(z, t) = \sum_i U_i \sin(\omega_i t - \varphi_i) \quad (1)$$

For å finne den saktevarierende middelstrømmen  $\bar{u}$ , kan et filter brukes som fjerner svingninger med perioder mindre enn en gitt grense  $T$ . Her har vi brukt en grense på 25 timer. Dette kalles derfor et 25 timer «low-pass» filter.

Siden strømmen skyldes forskjellige drivende krefter som kan påvirke hverandre, så kan amplitudene til tidevannssvingningene i ligning (1),  $U_i$ , variere over tid når middelstrømmen varierer. Det kan derfor hende at den harmoniske analysen (1) ikke fanger opp all variabilitet som foregår med tidevannsperioder. Det kan også hende at det fins svingninger som har perioder kortere enn 25 timer, men som ikke kan knyttes til tidevannssvingninger. Derfor er det nødvendig å introdusere en tredje komponent, for å beskrive all variabiliteten som kan forekomme. Denne tredje komponenten  $u'$  har da passert et 25 timers «high-pass» filter, og vi kaller den her for den irregulære strømmen. Strømmen kan nå skrives

$$u(z, t) = \bar{u}(z, t) + \tilde{u}(z, t) + u'(z, t) \quad (2)$$

Tidevannskomponenten  $\tilde{u}$  skyldes hovedsakelig variasjoner i vannstand knyttet til tidevannssvingninger, men det vil ofte også være indre tidevannsbølger som gir variasjon av tidevannsstrømmen nedover i dypet. Middelstrømmen  $\bar{u}$  skyldes både variasjoner i vannstand knyttet til værets virkning og også trykkrefter som settes opp når vannmasser med en annen tetthet kommer inn i området. Eksempler på dette kan være ferskvannstilførsel i overflata, da kalles det ofte for estuarin sirkulasjon, eller det kan være vannmasser fra kyststrømmen som kommer inn på større dyp. Den irregulære strømmen kan skyldes alle årsakene som er nevnt over, men kan også forårsakes av direkte vindpådrag eller for eksempel båttrafikk.



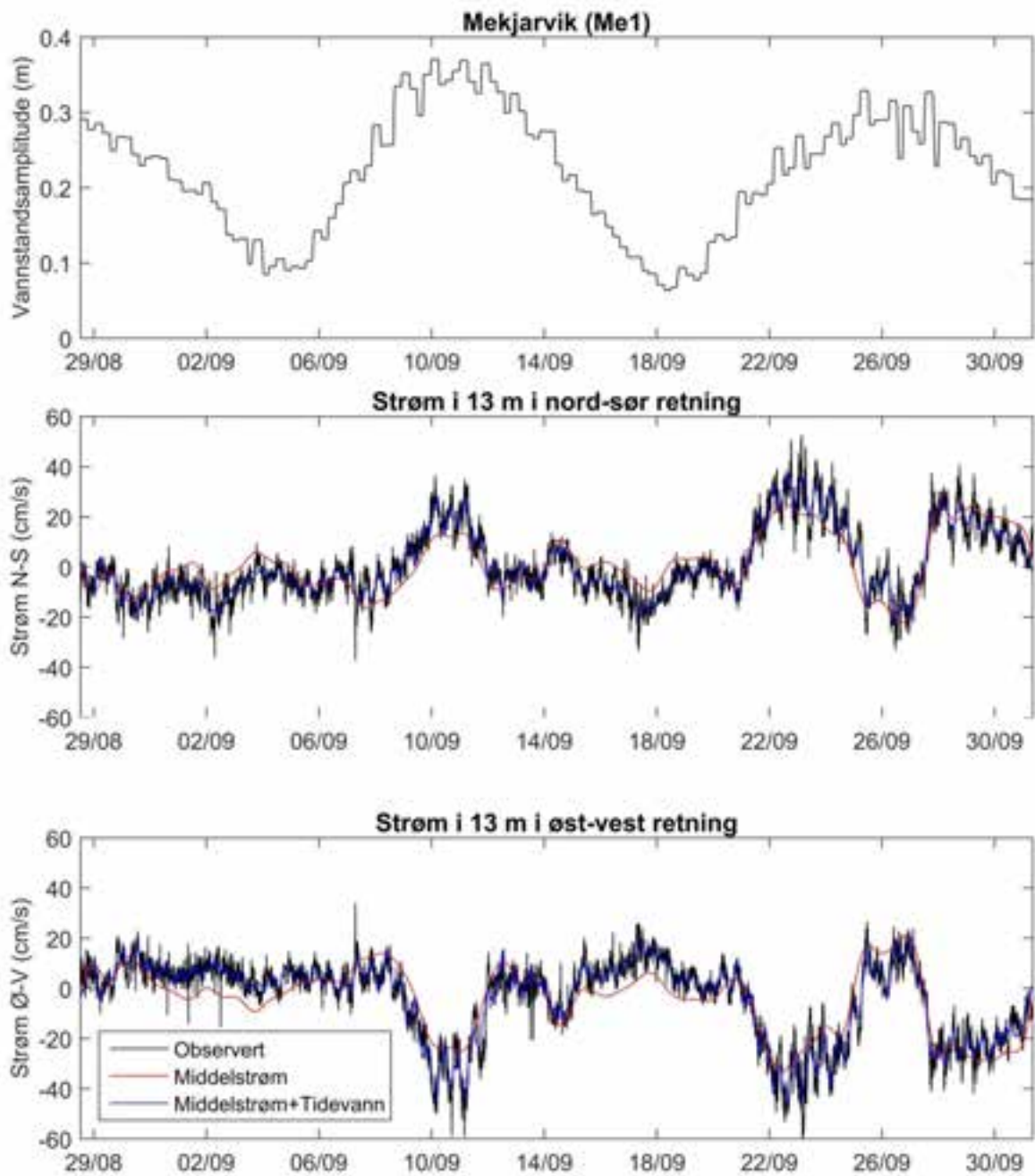
**Figur 3.** Observert vannstand og strøm i august-september 2014 på stasjon Me1, N 59°01,449' Ø 5°37,292' (Figur 2).

I **Tabell 1** er den maksimale observerte strømmen vist i hvert dyp det er målinger, sammen med den maksimale tidevannsstrømmen ( $\tilde{u}$ ) og den maksimale middelstrømmen ( $\bar{u}$ ). Fra tabellen ser vi at de høyeste observerte strømmene hovedsakelig kan forklares med summen av de høyeste tidevanns- og middelstrømmene, bortsett fra nær bunn hvor en del av strømvariasjonen består av irregulære strømmer.

**Tabell 1.** De observerte maksimale strømmene utenfor eksisterende vanninntak.

Dyp (m)	Observert strøm (m/s)	Tidevanns- strøm (m/s)	Middel- strøm (m/s)
8	0.65	0.28	0.39
13	0.68	0.29	0.42
18	0.61	0.26	0.41
23	0.53	0.21	0.34
28	0.41	0.15	0.23
33	0.31	0.15	0.14
38	0.30	0.11	0.09
43	0.21	0.09	0.05

I **Figur 4** er strømmen målt i 13 m dyp plottet opp som en tidsserie, sammen med amplituden til vannstanden. Her ser vi tydelig at summen av tidevannsstrømmen og middelstrømmen (blå kurve) forklarer mesteparten av den observerte strømmen (svart kurve). I modellsammenheng er det mest utfordrende å få fanget opp variasjonen i middelstrømmen, siden denne kan skyldes andre forhold enn bare endringer i middelsvannstand. Det er tydelig at de kraftige nordvestlige strømmene (positive verdier i nord-sør retning og negative verdier i øst-vest retning) skyldes en middelstrøm, som ser ut til å forekomme når det er springflo uten å være korrelert med spring-nipp syklusen. Hvis disse episodene er forårsaket av direkte vindpådrag er det stor sjanse for at modellen klarer å fange opp dette. Men mest sannsynlig så skyldes disse episodene mer komplisert og indirekte meteorologisk påvirkning, ved at vindfeltet ute på det åpne havet modifierer vannmassene utenfor Kvitsøyfjorden, som deretter utveksles med Byfjorden. I så fall vil modellen ikke fange opp disse episodene, siden denne informasjonen ikke er tilgjengelig.



**Figur 4.** Strøm i 13 m dyp (midten og nederst) sammenlignet med amplituden til vannstanden (øverst). Den svarte kurven viser observert strøm, den røde middelstrømmen og den blå kurven summen av tidevannsstrømmen og middelstrømmen.

## 3. Modellen GEMSS

### 3.1 Generell beskrivelse av GEMSS

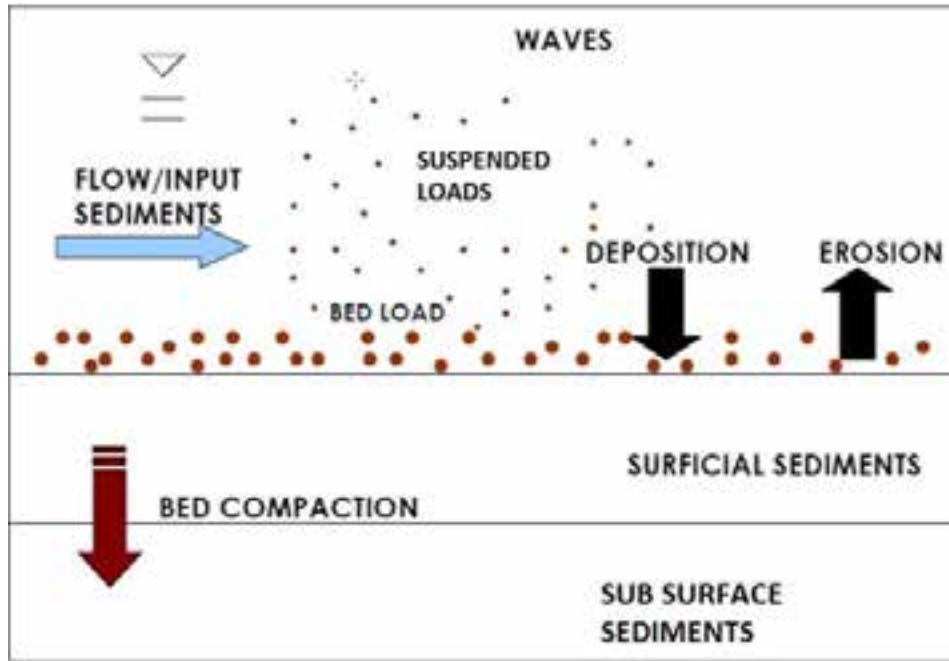
Den 3-dimensjonale modellen GEMSS vil benyttes. Modellen beregner strøm, temperatur, konsentrasjon av stoffer med ulike egenskaper, inkludert sedimenttransport. Modellen beregner hva som skjer i fjorden ut fra kjent klima, vannføring, vanntemperatur og stoffkonsentrasjon i tilløp samt vannstand og stoffkonsentrasjoner ved de åpne endene av modellområdet. Modellområdet blir delt inn i beregningsceller. For hver celle ble resultatene beregnet skrittvis fremover i tid. Modellen/modellpakken er utviklet av ERM's Surfacewater Modeling Group i Exton, Pennsylvania, USA. Modellen og eksempler på bruk av modellen kan studeres nærmere på hjemmesiden <http://gemss.com/index.html>.

Modelleringen består av to typer modelleksperimenter. Først vil man gjøre et valideringeksperiment hvor det modelleres samme periode som da måleriggen for strømmålinger var utplassert. Modellen vil da benytte inngangsdata som er hentet fra akkurat denne perioden. Aktuelle inngangsdata vil være vannføring i elvene, meteorologiske observasjoner, tidevann og profiler av saltholdighet og temperatur. Resultatene fra dette valideringeksperimentet vil sammenlignes med data fra måleriggen utenfor Mekjarvik, og man ville kunne si hvor god modellen beskriver det reelle sirkulasjonsmønsteret, og eventuelt justere parametere i modellen. Etter at denne oppgaven er gjennomført vil man ha et verktøy som kan brukes for å gjøre videre modelleksperimenter.

Etter at modellen er validert vil det kjøres flere eksperimenter hvor inngangsdata er basert på scenarier designet for å svare på spørsmål om partikkelpåvirkning av vanninntak. Modellen vil beregne spredningen av partikler fra utfyllingsområdet.

For å modellere sirkulasjonsmønsteret i modellområdet har vi benyttet GEMSS modulene 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 enten horisontale ( $z$ -lag) eller så følger lagene bunntopografien ( $\sigma$ -lag), avhengig av hvordan modellen blir satt opp. Modellgriddet er kurvelineært slik at den horisontale oppløsningen kan varieres. Områder langt unna Mekjarvik vil ha en grov horisontal oppløsning, mens oppløsningen vil være fin nær utfyllingsområdet.

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 5** viser et vindu i GEMSS modellen hvor de forskjellige partikkeltypene spesifiseres. **Figur 5** illustrerer noen av de prosessene som er parameterisert i STM-modulen.



Figur 5. Illustrasjon av prosesser i forbindelse med partikkeltransport i GEMSS-STM.

### 3.2 Modelloppsett

GEMSS bruker et fleksibelt rutenett når modellområdet skal deles opp i bokser (Figur 6). I hver boks, det vil si hver av de gule rutene i figuren, beregnes strøm, saltholdighet, temperatur og konsentrasjon av partikler. I de områdene som er langt fra fokusområdet er den horisontale oppløsningen liten. Det betyr at det er få beregningsbokser. I området utenfor Mekjarvik er oppløsningen stor, for å få beskrevet detaljene i strømbildet som sprer de deponerte massene.

Som drivkrefter til strømforholdene i modellen, er det benyttet vindpådrag i overflaten og vannstand på den åpne randen ut mot havet, merket med en rød linje i figuren. Når vannstanden går opp og ned på den åpne randa, vil det strømme vann inn og ut av modellområdet. Temperaturen og saltholdigheten til dette vannet er spesifisert ut ifra målte profiler (CTD). For å fange opp effekter av modifiserte vannmasser ute i det åpne havet, slik som beskrevet i kapittel 2, så kan dette legges inn via målte profiler av temperatur og saltholdighet rett utenfor den åpne randa. I dette modelloppsettet har vi benyttet CTD data fra stasjonen Lista (imr.no).

Målt vannstand fra målestasjonen Stavanger er benyttet (sehavniva.no). Meteorologiske data er hentet fra Sola Flyplass (eklima.no). STM modulen er kjørt for en periode på 30 dager.



**Figur 6.** Kart som viser modellgriddet. Modellområdets åpne ran ut mot havet er vist som en rød linje. Mekjarvik er markert med en rød prikk.

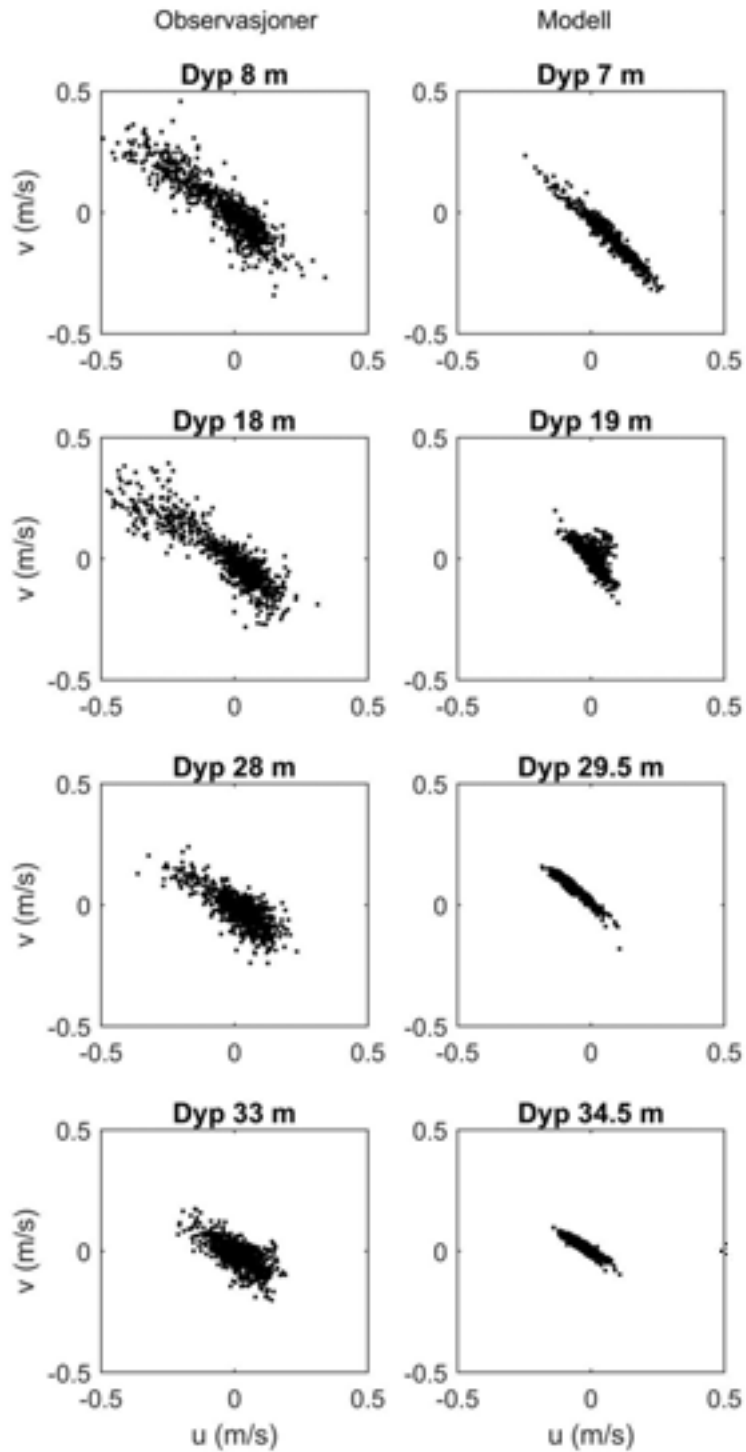
### 3.3 Validering av modellen

**Figur 7** viser scatter plot fra strømobservasjonen beskrevet i kapittel 2 (venstre kolonne) og modellerte strømmer fra stasjon 1 (se **Figur 2**) (høyre kolonne). Det er forsøkt å vise omtrent samme dyp fra observasjonen og modell ved siden av hverandre. Strømmen følger topografien i alle dyp i både modell og observasjoner, men observasjonen viser en mer spredd strøm når det gjelder retning, mens modellstrømmen følger topografien tettere, bortsett fra i 19 m dyp. De observerte strømmene er også noe kraftigere i styrke enn de modellerte strømmene. De episodene med kraftige nordvestlige strømmer er ikke fanget opp i modellen (sammenlign **Figur 3** og **Figur 8**).

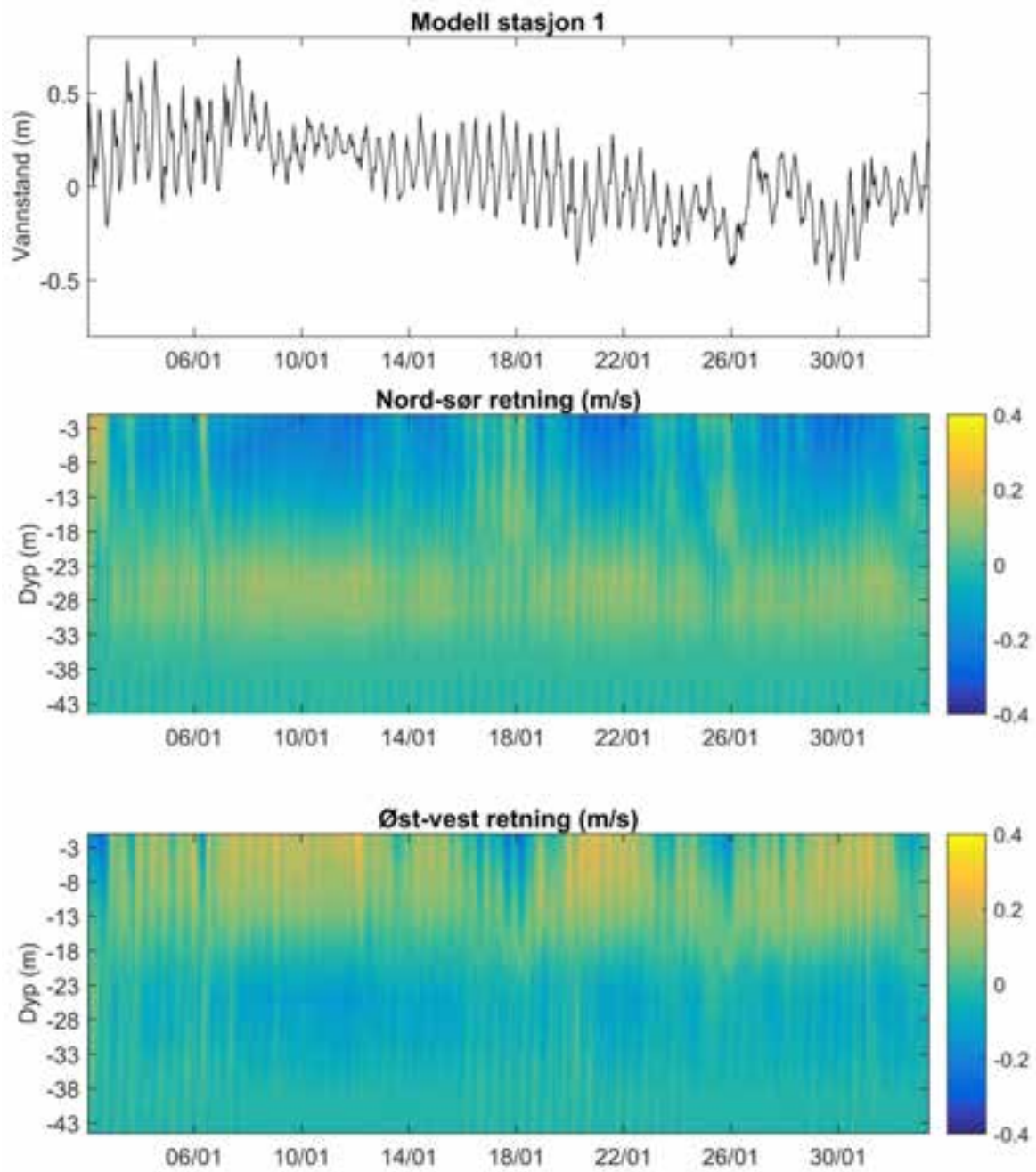
Modellen gir i hovedsak et godt bilde av variabiliteten, men det er altså to forhold en bør merke seg når resultatene av modelleringen av partikkelspredning skal tolkes:

1. Modellen har tidvis litt for svake nordvestlige strømmer (strøm mot vanninntaket).
2. Modellen følger topografien tettere, mens observasjonene har mer variasjon i strømretning.





**Figur 7.** Scatter plot som viser strøm i øst-vest retning på x-aksen, og strøm i nord-sør retning på y-aksen. Observert strøm i fire forskjellige dyp er vist i venstre kolonne, mens modellresultatene er vist i høyre kolonne.



**Figur 8.** Beregnet vannstand og strøm på modell stasjon 1. Tidsperioden som er modellert er januar 2014.

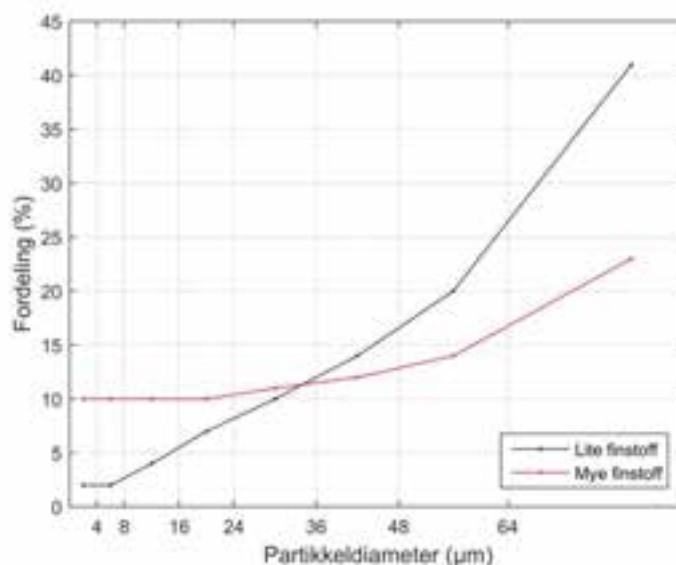
## 4. Beskrivelse av utslippet

Steinmasser vil dumpes i sjøen direkte fra lastebiler som tipper sine lass i sjøen, men også fra lekter. Det er mye usikkerhet om hvor mye steinmasser som vil dumpes i sjøen i løpet av et døgn, og det er også stor usikkerhet knyttet til hvordan fordelingen av massene er på de forskjellige kornstørrelsene. Det vil si hvor stor andel med finstoff som er i utslippet. Utslippet størrelse og kornstørrelsens fordeling, som påvirker synkehastigheten til utslippsskya, er av stor betydning for spredningsmønsteret. Det er tatt utgangspunkt i at hvert lass vil bestå av 15 m<sup>3</sup> med masse. 5 % av denne massen er partikler med kornstørrelse mindre enn 100 µm. Det vil si at det vil dumpes 0,75 m<sup>3</sup> med finkornet materiale per lass. Det er videre antatt etter diskusjon med Norconsult at det vil dumpes 200 lass per døgn, som til sammen vil utgjøre 3000 m<sup>3</sup> med steinmasser per døgn. Utslippet er lagt inn som et kontinuerlig utslipp, hvor de 3000 m<sup>3</sup> fordeler seg helt jevnt gjennom døgnet. Utslippet blir også jevnt fordelt vertikalt gjennom hele vannsøylen, og blir sluppet ut i en gridcelle litt sør for og nærmere kysten enn stasjon Me1 i **Figur 2**.

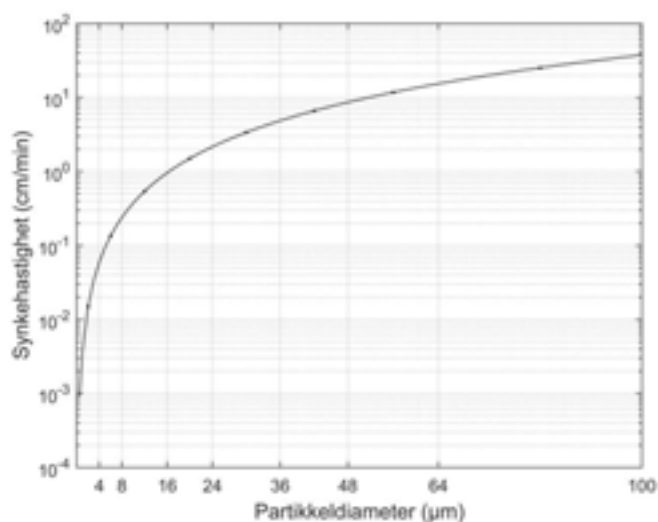
Informasjonen om hvordan kornfordelingen er for den andelen av massen som er mindre enn 100 µm er sparsom. Det er antydnet at mindre enn 1 % av de 15 m<sup>3</sup> per lass er mindre enn 1 µm, men dette tallet virker urealistisk, siden det vil innebære at hele 20 % av de 0,75 m<sup>3</sup> med finstoff er mindre enn 1 µm. I modelleringen er det lagt til to forskjellige kornfordelingskurver, og det er lagt inn åtte forskjellige partikkelklasser for partikler mindre enn 100 µm (se **Tabell 1**). I tillegg er det lagt inn en partikkelklasse for de 95 % som er større enn 100 µm. De to kornfordelingskurvene er vist i **Figur 9**.

**Tabell 2.** Kornfordeling i utslippet som er lagt inn i modellen.

Klasse	Massefordeling (%) Mye finstoff	Massefordeling (%) Mindre finstoff
0 – 4 µm	10	2
4 – 8 µm	10	2
8 – 16 µm	10	4
16 – 24 µm	10	7
24 – 36 µm	11	10
36 – 48 µm	12	14
48 – 64 µm	14	20
64-100 µm	23	41

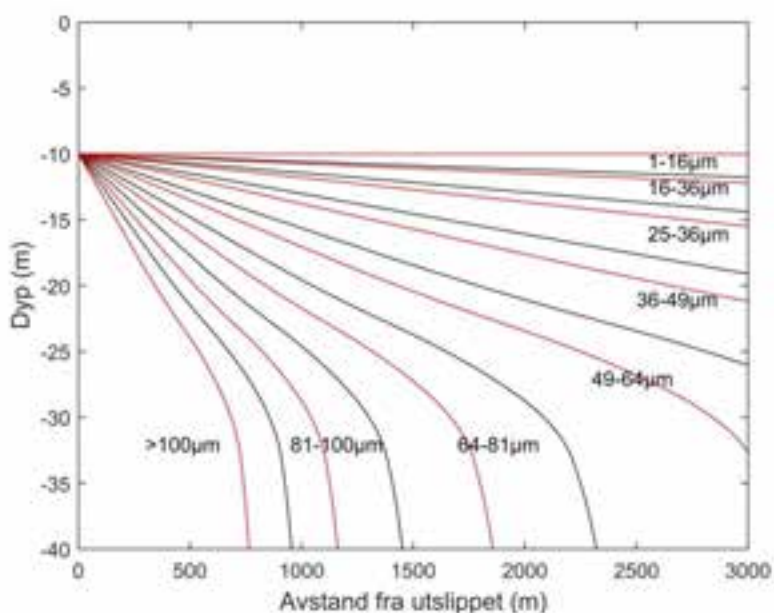


**Figur 9.** Kornfordelingskurver brukt i modelleringen av utslippet.



**Figur 10.** Synkehastighet etter Stokes lov.

Modellen beregner synkehastighet ut ifra Stokes lov og dette er vist i **Figur 10**. Hvis vi tar utgangspunkt i disse synkehastighetene og de kraftigste strømmene observert i **Figur 3**, kan vi få et innledende bilde av hvordan partikler med forskjellig kornstørrelse vil spres. I **Figur 11** vises mulige partikkelbaner for partikler sluppet ut i 10 m dyp, vist som svarte kurver. Det er tydelig at alle partikkelstørrelser utenom de aller største kan nå stasjon 2 i **Figur 2**, som befinner seg litt over 2 km fra utslippsområdet. Vi kan også se effekten av at modellen har noe lavere nordvestlige strømmen. De røde kurvene i **Figur 11** benytter en strømhastighet som er redusert til 80 %, og det er liten forskjell i banene til de minste partiklene med en slik endring i strømmen, mens de største partiklene rekker å synke 30 m i løpet av en avstand som er noen hundre meter kortere enn om hvis strømmen var sterkere. Vi konkluderer med at forskjellen i strømstyrken til modellert og observert strøm har mindre betydning for vurdering av partikkelspredning til posisjonene hvor vanninntaket vurderes å plasseres.

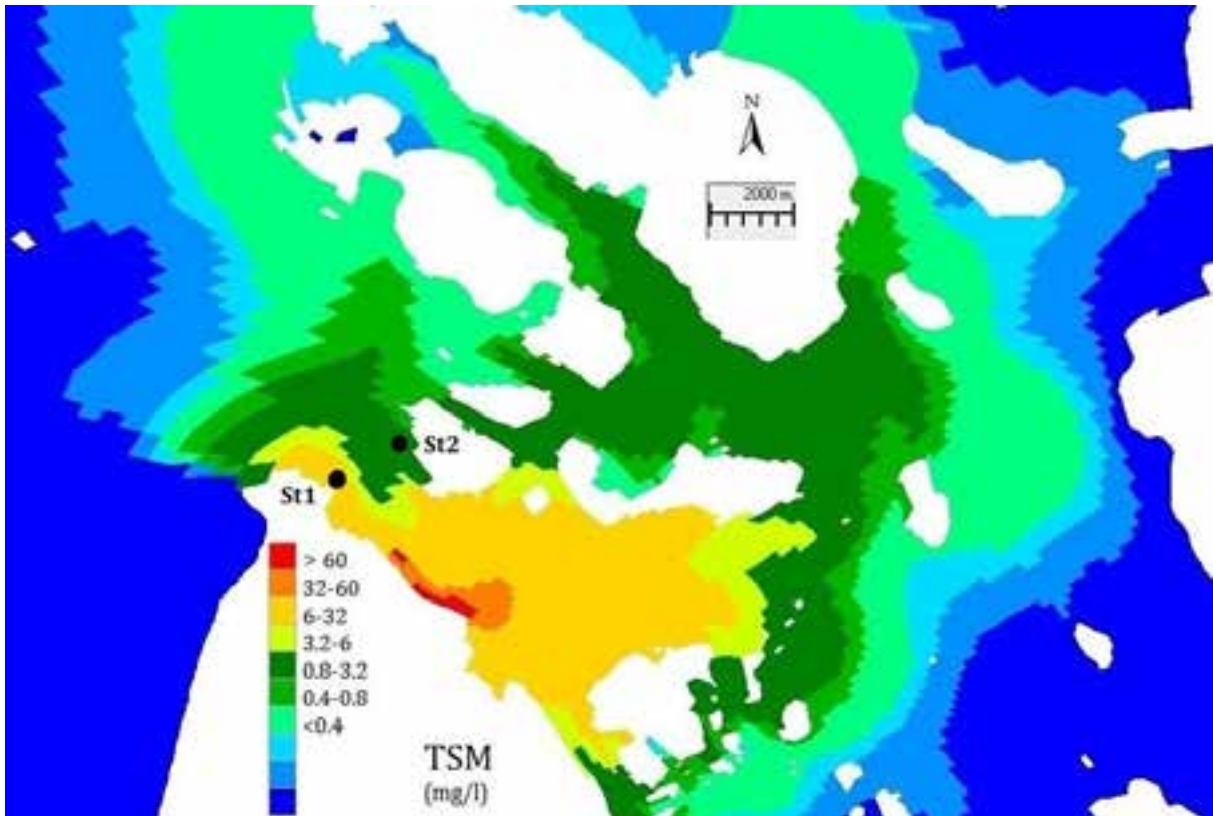


**Figur 11.** Beregnede partikkelbaner for partikler med forskjellig kornstørrelse, basert på målt strøm (svarte linjer). De røde linjene viser de samme partikkelbanene når strømhastigheten er redusert til 80 %.

## 5. Vurdering av påvirkning av vanninntak

**Figur 12** viser et øyeblikksbilde av hvordan partiklene vil fordele seg horisontalt fra utfyllingsområdet under dumping av steinmasser. Dette bildet vil variere med variasjonen i sirkulasjonsmønsteret, men gir et visuelt bilde av influensområdet. I omtrent hele Byfjorden vil det kunne observeres forhøyede partikkelkonsentrasjoner (6 til 32 mg/l).

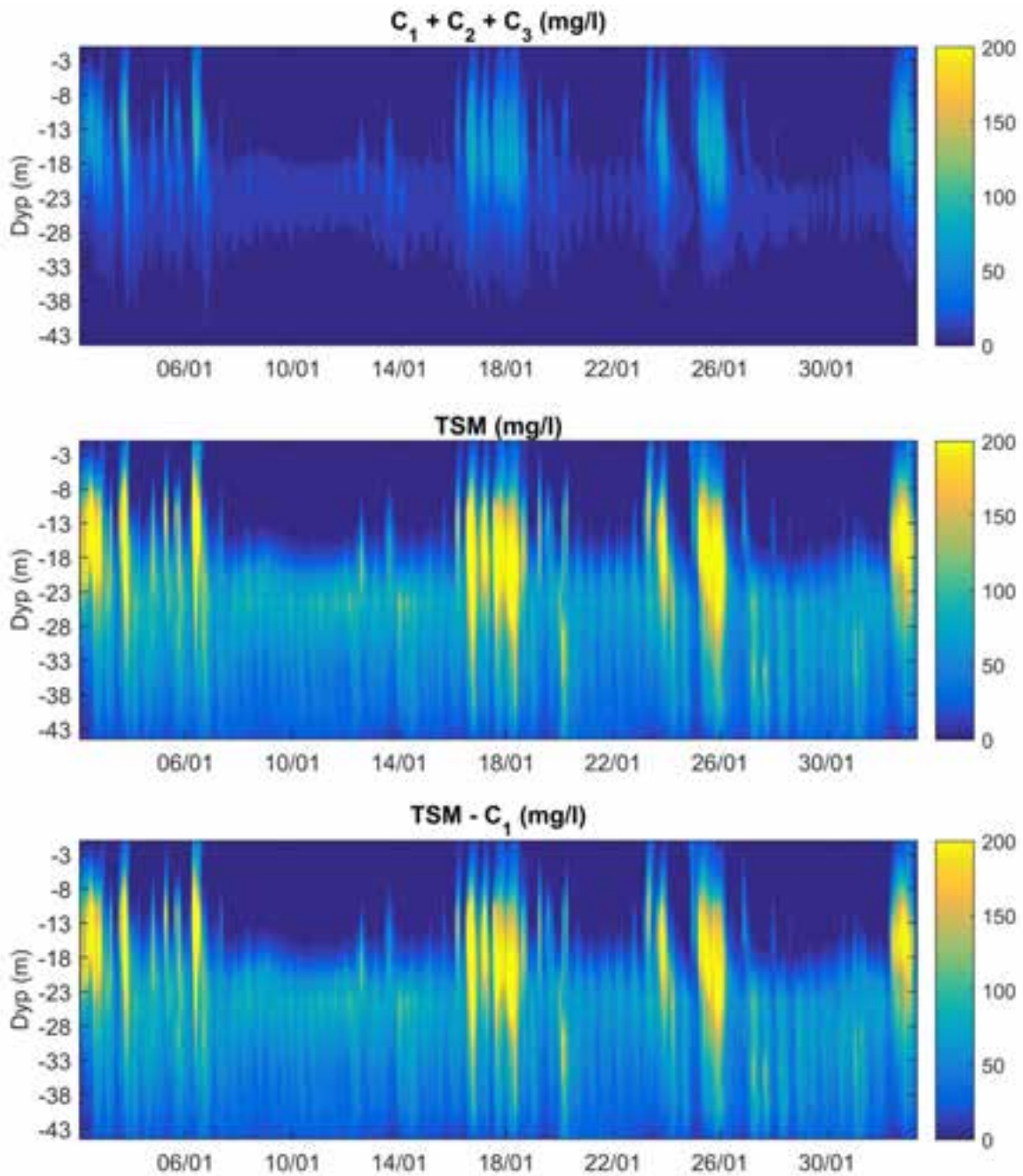
Det er tydelig at stasjon 1 blir mye mer påvirket enn stasjon 2. I denne sammenhengen må det påpekes at som sammenligningen av observert og modellert strøm viser, så kan modellen underestimere spredningen på tvers av sundet mellom de to stasjonene, siden den modellerte strømmen følger topografien noe tettere enn observasjonene tilsier. Dette kan bety at konsentrasjonen på stasjon 2 kan være noe underestimert. På grunn av usikkerhet i modelleringen og at det naturlig nok ikke fins målinger av partikkelkonsentrasjoner som modellen kan kalibreres mot, så anbefales det at turbiditeten i området ved stasjon 2 overvåkes når deponeringen av steinmasser starter.



**Figur 12.** Horisontalutbredelsen av partikler.

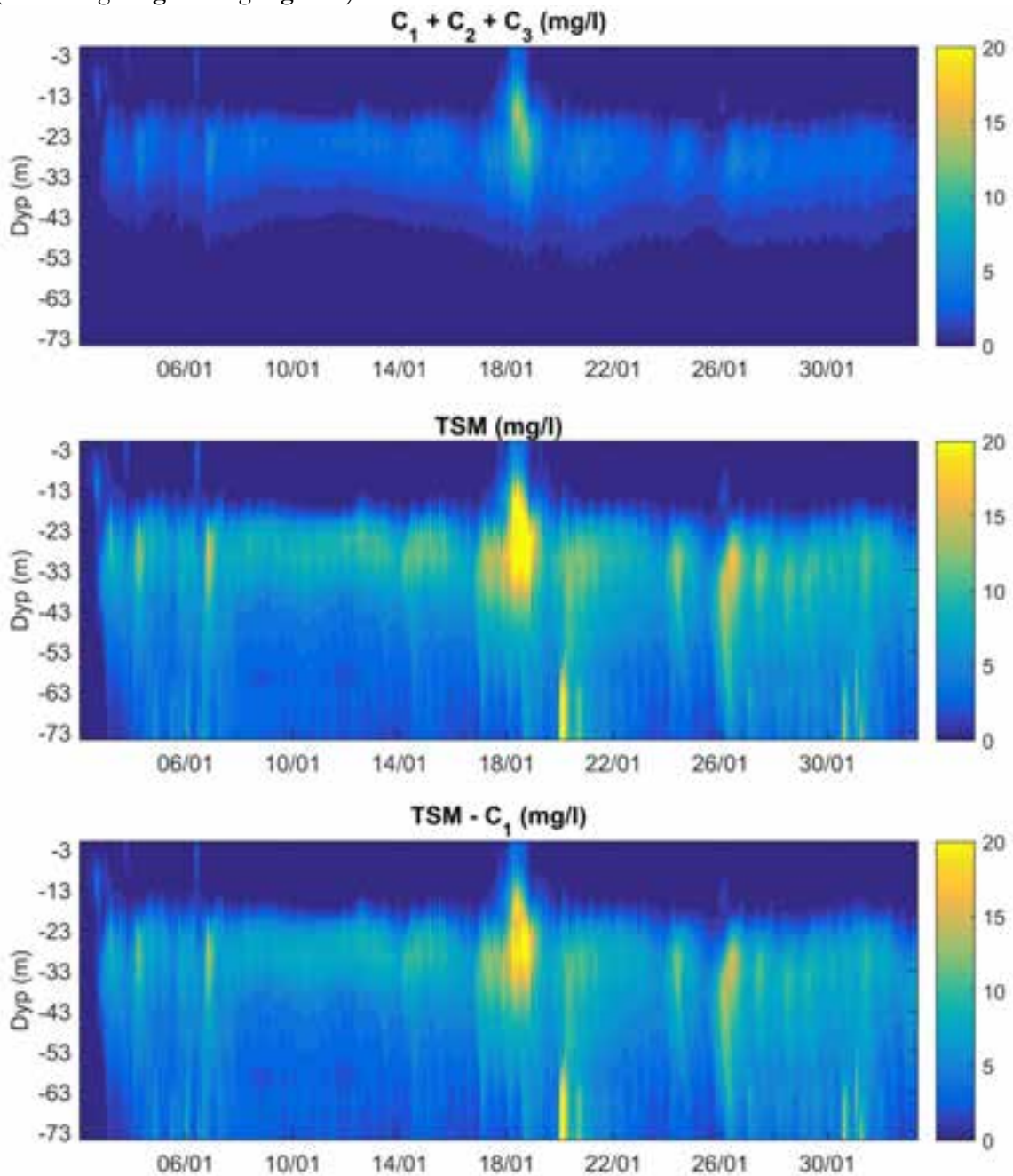
For å se hvordan partikkel konsentrasjonen utvikler seg over tid har data fra stasjoner i modellen blitt lagret hver time. **Figur 13** viser partikkelkonsentrasjonen ved stasjon 1 som funksjon av tid og dyp. Kornfordeling med mye finstoff er benyttet i denne figuren. På denne stasjonen er det meget høye partikkelkonsentrasjoner. Partiklene som er mindre enn 16  $\mu\text{m}$  svever forbi stasjon 1 med de høyeste verdiene på opp mot 80 mg/l (summen av de tre klassene med minst kornstørrelse, se **Figur 13**) i omtrent

13 m dyp. Partikkelkonsentrasjoner på over 200 mg/l forekommer i lengre perioder fra 10 til 30 m. Det har liten effekt å fjerne de minste partiklene ( $< 4\mu\text{m}$ ) fra avgangsmassen (se **Figur 13** nederst).

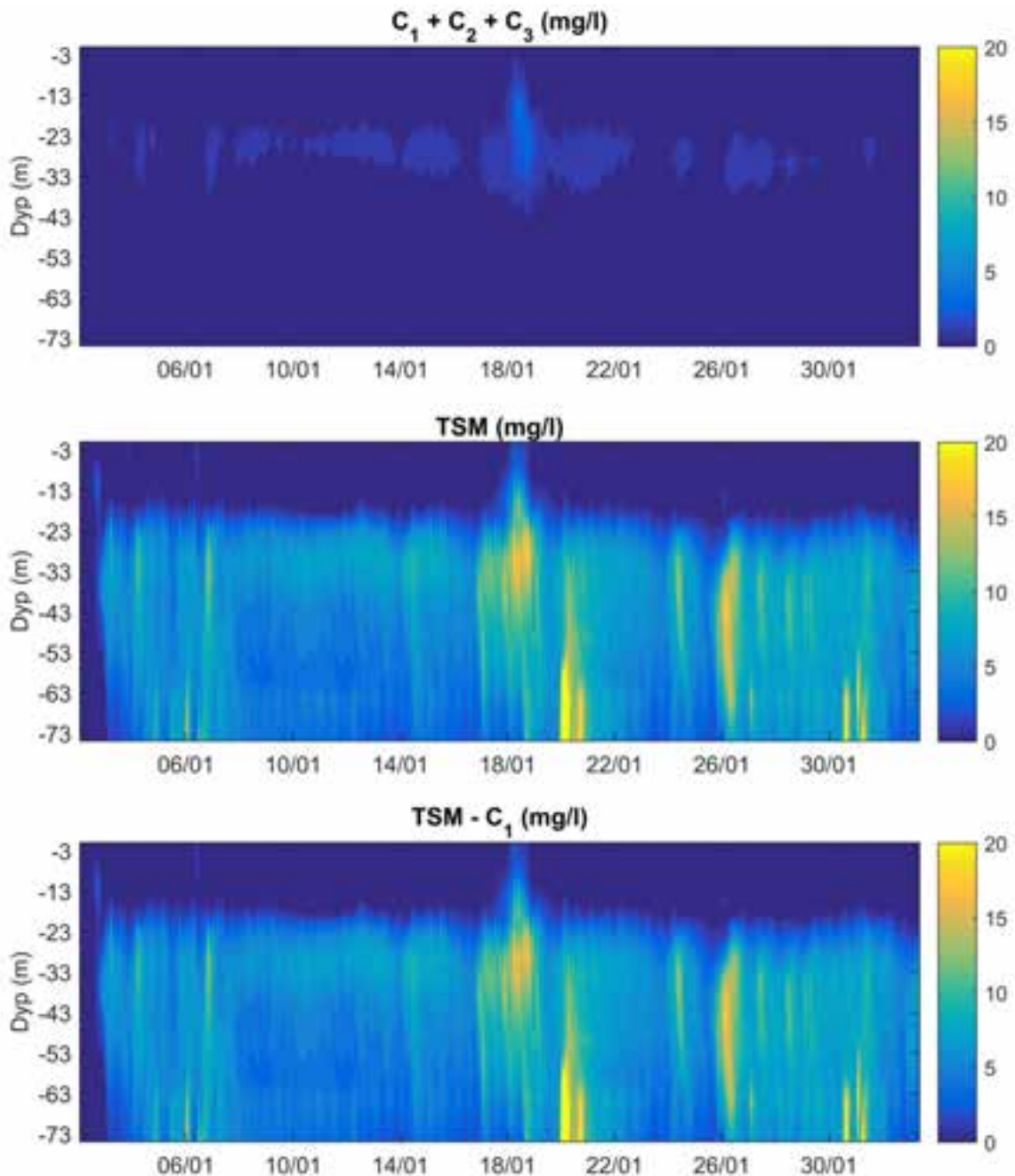


**Figur 13.** Partikkelkonsentrasjon på stasjon 1. Øverst vises summen av de tre minste partikkelklassene med kornstørrelse mindre enn  $16\mu\text{m}$ . I midten vises summen av alle de ni partikkelklassene. Nederst vises effekten av å fjerne partikler mindre enn  $4\mu\text{m}$ . Kornfordeling med mye finstoff er brukt (jamfør **Figur 9**).

På stasjon 2 på den andre siden av sundet er konsentrasjonen betydelig lavere. **Figur 14** og **Figur 15** viser partikkel konsentrasjonen på stasjon 2 med henholdsvis kornfordeling med mye og mindre finstoff. Partikler med kornstørrelse mindre enn  $16\ \mu\text{m}$  svever forbi stasjon 2 i 15 til 40 m dyp. Konsentrasjonen av partikler er forhøyet fra omtrent 20 m og ned til bunn. Effekten av å fjerne partikler mindre enn  $4\ \mu\text{m}$  fra avgangen har naturlig nok størst effekt når det benyttes en kornfordelingskurve med mye finstoff (sammenlign **Figur 14** og **Figur 15**).



**Figur 14.** Partikkelkonsentrasjon på stasjon 2. Øverst vises summen av de tre minste partikkelklassene med kornstørrelse mindre enn  $16\ \mu\text{m}$ . I midten vises summen av alle de ni partikkelklassene. Nederst vises effekten av å fjerne partikler mindre enn  $4\ \mu\text{m}$ . Kornfordeling med mye finstoff er brukt (jamfør **Figur 9**).



**Figur 15.** Partikkelkonsentrasjon på stasjon 2. Øverst vises summen av de tre minste partikkelklassene med kornstørrelse mindre enn  $16\ \mu\text{m}$ . I midten vises summen av alle de ni partikkelklassene. Nederst vises effekten av å fjerne partikler mindre enn  $4\ \mu\text{m}$ . Kornfordeling med mindre finstoff er brukt (jmfør **Figur 9**).

I **Figur 16** vises konsentrasjonen av partikler i utvalgte dyp (30, 50 og 65 m) på stasjon 2. I 30 m dyp så blir det mindre partikler hvis det benyttes en kornfordelingskurve med mindre finstoff. Den høyeste verdien er  $24\ \text{mg/l}$  når det er mye finstoff. Middelerdien er  $9,6\ \text{mg/l}$  ved kornfordeling med mye finstoff, og  $7,2\ \text{mg/l}$  ved kornfordeling med mindre finstoff.

I 50 og 65 m dyp blir konsentrasjon av partikler høyere om det benyttes en kornfordeling med mindre finstoff, og tilsvarende mer grovere stoff (se **Figur 9**).

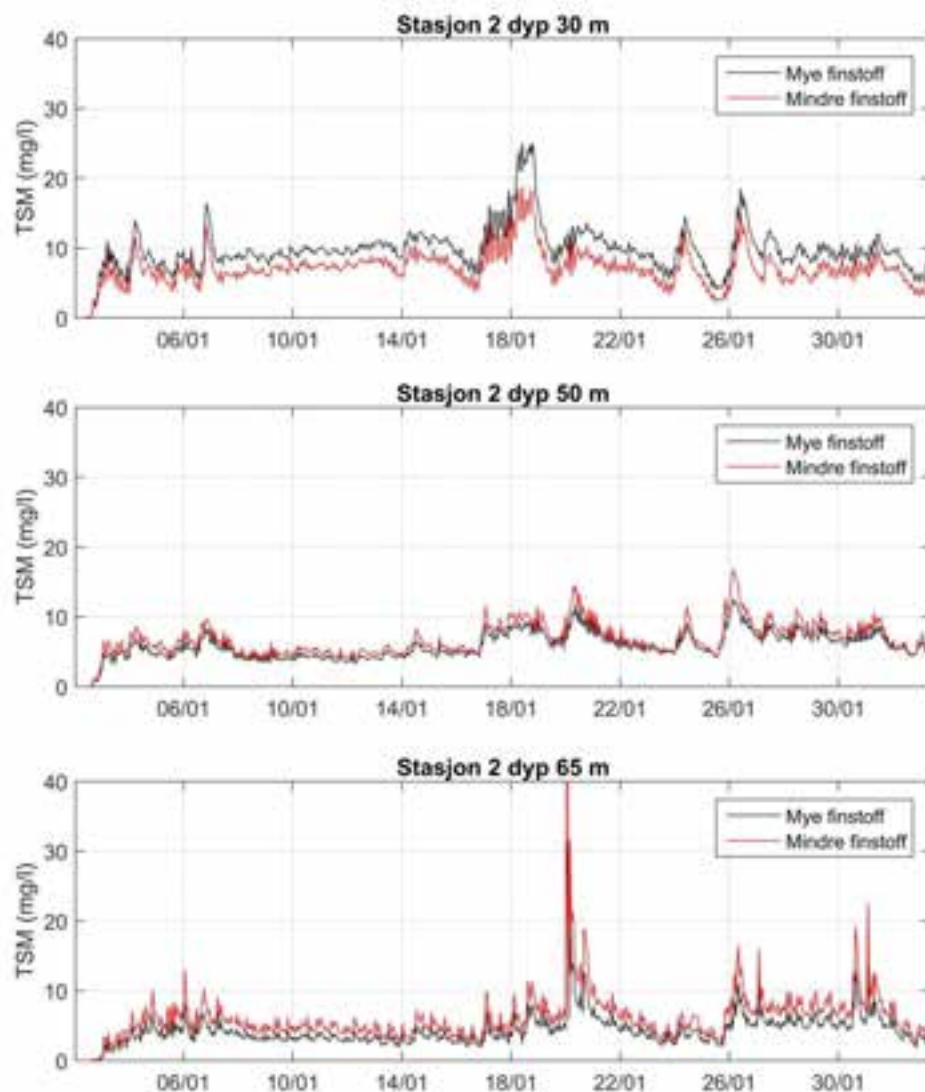


I 50 m er maksimal og middelvei henholdsvis 12,4 og 6,0 mg/l når det brukes kornfordeling med mye finstoff, mens de samme verdiene økes til henholdsvis 16,8 og 6,8 mg/l når det benyttes en kornfordeling med mindre andel finstoff.

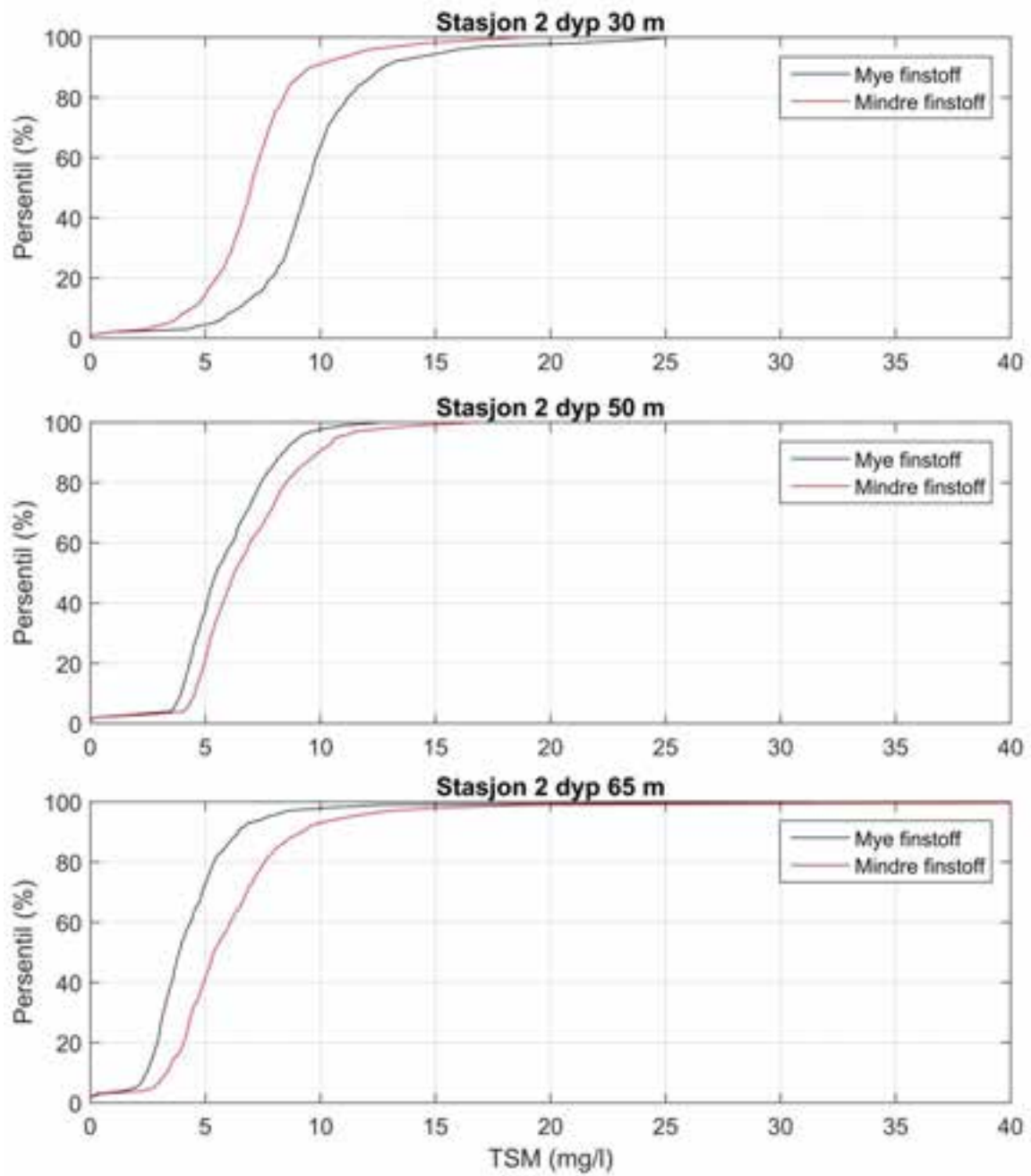
I 65 m er maksimal og middelvei henholdsvis 31,6 og 4,4 mg/l når det brukes kornfordeling med mye finstoff, mens de samme verdiene økes til henholdsvis 50,8 og 6,0 mg/l når det benyttes en kornfordeling med mindre andel finstoff.

En kan si at forskjellen i resultat ved bruk av forskjellig kornfordeling er et mål på usikkerhet i resultatene på grunn av at man ikke har nøyaktig nok kjennskap til den virkelige kornfordelingskurven.

Middelveiene i partikkelkonsentrasjon avviker relativt lite når kornfordelingskurven varieres, mens avvikene i maksimalverdiene er mer sensitiv for variasjon i kornfordelingskurven. Av dette kan man slutte at usikkerheten knyttet til modellerte maksimalverdiene er større enn for modellerte middelveier.



**Figur 16.** Konsentrasjonen i utvalgte dyp på stasjon 2 som funksjon av tiden.



Figur 17. Prosentilene til konsentrasjonen på utvalgte dyp på stasjon 2.

**Tabell 3.** Andelen av tiden hvor partikkelkonsentrasjon på stasjon 2 er over eller under 6 mg/l.

Dyp	Andelen av tiden hvor TSM < 6 mg/l		Andelen av tiden hvor TSM > 6 mg/l	
	Mye finstoff	Mindre finstoff	Mye finstoff	Mindre finstoff
Kornfordelings- kurve				
30 m	8 %	27 %	92 %	73 %
50 m	58 %	44 %	42 %	56 %
65 m	86 %	59 %	14 %	41 %

**Figur 17** viser hvor stor andel av tiden partikkelkonsentrasjonene på stasjon 2 er over eller under visse verdier. I **Tabell 3** er det lest ut fra **Figur 17** i hvor stor andel av tiden partikkelkonsentrasjonen på de tre dypene ved stasjon 2, hvor konsentrasjonen er større eller mindre enn 6 mg/l. I 30 m dyp er konsentrasjonen over 6 mg/l i 73 til 92 % av tiden. I 50 m dyp er konsentrasjonen over 6 mg/l i 42 til 56 % av tiden. I 65 m dyp er konsentrasjonen over 6 mg/l i 14 til 41 % av tiden.

*Et vanninntak som plasseres ved stasjon 2 vil ta inn vann som har forhøyede partikkelkonsentrasjoner som følge av dumping av steinmasser i utfyllingsområdet utenfor Mekjarvik.*

## Referanser

Bechmann, P. (2014). *Strømmåling Mekjarvik*. Norconsult notat datert 2014-10-13.

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](http://www.niva.no) • [post@niva.no](mailto:post@niva.no)