

Resipientundersøkelse i Sandsfjorden i Rogaland og modellering av partikkelspredning fra Norsk Stein sitt anlegg



RAPPORT

Hovedkontor

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

Sørlandsavdelingen

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

Østlandsavdelingen

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

Vestlandsavdelingen

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

NIVA Midt-Norge

Høgskoleringen 9
7034 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Resipientundersøkelse i Sandsfjorden i Rogaland og modellering av partikkelspredning fra Norsk Stein sitt anlegg.	Løpenr. (for bestilling) 6523-2013	Dato 21/6-2013
	Prosjektnr. Undernr. 12414	Sider Pris 55
Forfatter(e) André Staalstrøm Gunnhild Borgersen Torulv Tjomsland Magdalena Kempa Marijana Brkljacic	Fagområde Oseanografi	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Sandsfjorden	Trykket NIVA
Oppdragsgiver(e) Norsk Stein AS		Oppdragsreferanse Odd Hotvedt

Sammendrag

Norsk Stein har utslipp av partikler i Kvednavika rett på utsiden av terskelen i Sandsfjordsystemet i Rogaland. Her strømmer vannet i mesteparten av tiden ut i et forholdsvis tynt overflatelag, og inn i et lag som ligger fra omtrent 30 m og ned til terskeldypet på 110 m. I kortere perioder snur dette mønsteret, og det strømmer inn i et tykt overflatelag, og ut i dypet. Det ble målt turbiditet på over 9 mg/l omtrent 800 m fra utslippet, og på over 6 mg/l omtrent 1000 m fra utslippet. Modellering av partikkelspredning viser at partiklene brer seg utover i overflata og innover i dybdeintervallet fra omtrent 30-40 m og ned til terskeldypet på 110 m.

De tre stasjonene som ble undersøkt hadde meget artsrik bløtbunnsfauna og høy artsdiversitet. Den økologiske tilstanden var svært god eller god. Vannforskriftens krav om at alle naturlige vannforekomster skal ha minst god økologisk tilstand er således tilfredsstillt. Det lave innholdet av organisk karbon i sedimentet kan indikere at sjøbunnen i området er nedslammet av mineralske partikler. Imidlertid ser dette ikke ut til å ha gitt noen negativ effekt på bløtbunnsfaunaen på stasjonene.

Både direkte målinger og partikkelmodellering viser at partikler fra Norsk Stein sin virksomhet brer seg over et betydelig område. Høye partikkelkonsentrasjoner i størrelsesorden 10 mg/l forekommer derimot kun i nærheten av anlegget, opp mot en km ut fra anlegget på tvers av fjorden og opp mot to km oppover i Straumbergsundet. Konsentrasjonen i Midtsundet kommer ikke over 1.5 mg/l. Norsk Stein sin virksomhet har ikke påvirket miljøtilstanden i negativ retning på noen av de stasjonene som ble undersøkt.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Sandsfjorden	1. Sandsfjord
2. Avgangsdeponering	2. Mine tailings
3. Partikkelspredning	3. Particle dispersion
4. Bunnfauna	4. Benthic fauna



André Staalstrøm
Prosjektleder



Kai Sørensen
Forskningsleder



Kristoffer Næs
Forskningsdirektør

**Resipientundersøkelse i Sandsfjorden i Rogaland og
modellering av partikkelspredning fra Norsk Stein
sitt anlegg**

Forord

NIVA fikk i oppdrag rett før jul 2012 fra Norsk Stein as å gjennomføre en resipientundersøkelse i Sandsfjorden. I tillegg skulle NIVA modellere partikkelspredning fra Norsk Stein sitt anlegg på Berakvam. Kontaktperson hos Norsk Stein har vært Odd Hotvedt.

Feltarbeid har blitt utført av André Staalstrøm, Dag Øystein Hjermann og Marijana Brkljacic. Modelleringen har blitt gjort av Magdalene Kempa og Torulv Tjomsland. Analyse av bunnfauna data har blitt utført av Gunhild Borgersen. Prosjektleder har vært André Staalstrøm. John Arthur Berge har bidratt med å evaluere teksten og vurderingene i rapporten.

Oslo, 30. april 2013

André Staalstrøm

Innhold

Sammendrag	5
Summary	7
1. Innledning	9
2. Generelt om oseanografien i området	13
3. Strømforhold og partikkelkonsentrasjon i fjorden	16
3.1 Feltnålinger	16
3.2 Sirkulasjonen i fjorden	17
3.3 Kartlegging av turbiditet	19
4. Modellering av partikkelspredning	25
4.1 Beskrivelse av GEMSS	25
4.2 Inngangsdata	26
4.3 Validering av strømmodellen	29
4.4 Modellering av partikkelspredning	31
4.5 Spredning i overflata	35
5. Bunnforholdene	37
5.1 Bløtbunnsfauna	37
5.2 Sediment	41
5.2.1 Organisk innhold	41
5.2.2 Kornfordeling	42
6. Sammenfattende vurderinger	43
6.1 Sirkulasjon og strømforhold	43
6.2 Partikkelspredning	43
6.3 Mulige effekter på bunnfauna	44
6.4 Mulige effekter på fisk	45
6.5 Mulige effekter på plankton	45
7. Referanser	46
Vedlegg A. Artsliste	48
Vedlegg B. Stasjoner	54
Vedlegg C. Resultater fra modellering av partikkelspredning	55

Sammendrag

Norsk Stein as er av Fylkesmannen i Rogaland pålagt å gjøre en resipientundersøkelse i Sandsfjorden. Dette er i forbindelse med en utslippstillatelse datert 25. oktober 2012. Det kreves at influensområdet til utslippet fra Norsk Stein sitt anlegg kartlegges ved hjelp av strømmålinger og partikkelspredningsmodellering. I tillegg skal miljøtilstand kartlegges ved tre prøvestasjoner, en stasjon i hvert av de tre dypeste områdene i resipienten. Denne rapporten gir svar på følgende problemstillinger:

1. Hvordan er strømforholdene i Sandsfjorden?
2. Hvordan er spredningsmønsteret av partikler fra Kvednavika, med tanke på de forskjellige strømforholdene som kan forekomme?
3. Hvordan er dagens tilstand for bunnfauna, og fins det spor av Norsk Stein sin virksomhet i bunnfaunaen?
4. Hvor effektiv er den eksisterende siltgardinen i Kvednavika?

Målingene presentert i denne rapporten viser to forskjellige strømbilder. Mesteparten av tiden strømmer det ut i et forholdsvis tynt overflatelag/brakkvannslag, og inn i et lag som ligger fra omtrent 30 m og ned til terskeldypet på 110 m. I kortere perioder snur dette mønsteret, og det strømmer inn i et tykt overflatelag og ut i dypet. En slik episode ble observert på stasjoner rett på utsiden av terskelen fra omtrent 12. til 18. februar 2013. Det strømmet da inn i de øverste 40-50 meterne. I laget fra omtrent 90 til 190 m strømmet det ut av fjorden. Det strømmet altså ut i et lag under terskeldypet. Tidligere undersøkelser viser også at det vanligvis er utstrømning i overflatelaget og innstrømning under dette, og at dette mønsteret brytes ved enkelte anledninger. Typiske strømhastigheter i det utstrømmende øvre laget på en stasjon omtrent 1500 m sør for terskelen er 30 cm/s, med strømstyrker over 50 cm/s i 5 % av tiden. På en stasjon i det dypeste partiet rett på utsiden av terskelen er det i gjennomsnitt i dybdeintervallet 20 - 100 m en strømstyrke på 5-7 cm/s og opp mot 11-19 cm/s i 5 % av tiden. Under 100 m er det strømstyrken i gjennomsnitt 4-5 cm/s og opp mot 7-9 cm/s i 5 % av tiden.

Turbiditet er et mål på partikkelinnhold i vannet, og en NTU tilsvarer omtrent et partikkelinnhold på 1 mg/l. For enkelthets skyld har vi gjennomgående brukt betegnelsen mg/l i rapporten.

Det ble ved en anledning observert en sky av partikler som bredde seg langs bunn på tvers av fjorden vekk fra Kvednavika og til den forlot bunn i 100-150 meters dyp og bredde seg videre i dette dypet. Det ble da målt turbiditet på over 9 mg/l omtrent 800 m fra utslippet, og på over 6 mg/l omtrent 1000 m fra utslippet. Dette ble observert rett etter dumping av masser i Kvednavika, og vi tolker dette som at dette representerer partikkelverdier fra den første skyen som brer seg vekk utslippet.

Siden det ikke ble gjort noen observasjoner i Straumsundet rett etter at dumping hadde foregått, ble det ikke observert høye partikkelkonsentrasjoner der. Med tanke på de observerte strømforholdene med vedvarende innstrømning fra 30 til 110 m, så er det sannsynlig at turbiditetsverdier tilsvarende de som ble observert midt i fjorden utenfor anlegget den 11. mars 2013 med verdier opp mot 10 mg/l, også vil forekomme her. Resultatene av partikkeltransport gjennom Straumbergsundet, kan sees som forhøyede turbiditetsverdier innenfor terskelen med verdier opp mot eller over 2 mg/l under 100 m. Basert på målinger i resipienten sør for Norsk Stein sitt anlegg kan vi anslå at bakgrunnsverdien for partikkelinnhold i resipienten er omtrent 0.5 mg/l.

Modellering (GEMSS modellen) av partikkelspredning viser at partiklene brer seg utover i overflata og innover over i dybdeintervallet fra omtrent 30-40 m og ned til terskeldypet på 110 m. Hvis modellen kalibreres mot turbiditetsmålinger innenfor terskelen, kan partikkelkonsentrasjonen komme

opp i verdier over 15 mg/l i Straumbersundet, og spor av partikler vil kunne sees på bunn opp til 10 km innenfor terskelen, men konsentrasjonen vil da maksimalt være 1.5 mg/l. I følge modelleringen vil ikke konsentrasjonen i Midtsundet komme over 1.5 mg/l.

De tre stasjonene som ble undersøkt hadde meget artsrik bløtbunnsfauna og høy artsdiversitet. Den økologiske tilstanden var svært god (klasse 1) på C4 og god (klasse 2) på A2 og F2 (iht. NQI1). Vannforskriftens krav om at alle naturlige vannforekomster skal ha minst god økologisk tilstand er således tilfredsstillt. Det lave innholdet av organisk karbon i sedimentet kan indikere at sjøbunnen i området er nedslammet av mineralske partikler. Imidlertid ser dette i tilfelle ikke ut til å ha gitt noen negativ effekt på bløtbunnsfaunaen på stasjonene F2, C4 og A2 så langt.

Det er observert koraller i Midtsundet. Det er kjent at slike kan få redusert overlevelse hvis de blir utsatt for partikkelkonsentrasjoner på 54 mg/l i 14 dager (Brooke et al., 2009). Det er sannsynlig at høye turbiditetsverdier (over 15 mg/l) vil forekomme i Straumbersundet, men ikke i Midtsundet. Varigheten til slike episoder vil være på noen timer, men de vil mest sannsynlig gjentas med jevne mellomrom. Ut i fra dette antar vi at overlevelsen til eventuelle koraller i Straumbersundet ikke vil bli påvirket av utslippet fra Norsk Stein, men datagrunnlaget for denne antagelsen er lite.

Smolt vandrer ut i løpet av april-mai, og topper i utvandring forekommer samtidig med topper i ferskvannstilførsel. Det er derfor ikke urimelig å anta at det vil være et typisk sirkulasjonsmønster med utstrømning i overflata og en kompensasjonsstrøm under dette i perioder hvor smolten passerer utenfor Norsk Stein sitt anlegg. I slike tilfeller er det sannsynlig at skyer med høyt partikkelinnhold beveger seg inn i Straumbersundet i det innstrømmende laget under brakkvannslaget. Overflatelaget i sundene vil ikke være påvirket av Norsk Stein sitt utslipp i slike tilfeller, siden det strømmer ut i dette laget.

For å anslå hvor store konsentrasjoner som kan opptre ved de to lokale oppdrettsanleggene ble det satt opp et «verst tenkelig» modellscenario. Resultatet viser at konsentrasjonen ved oppdrettsanlegget Austbø maksimalt blir 2 mg/l, mens det ikke kommer noen partikler til Vintravika. Det vil således ikke være noen fare for at fisken i anlegget på Vintravika blir påvirket av Norsk Stein sin virksomhet. Det er heller ikke sannsynlig at fisken ved anlegget på Austbø blir påvirket, men modelleringen viser at partikkelskya vil bevege seg denne veien. I dette verst tenkelige scenarioet ble det antatt at det var en partikkelkonsentrasjon på 50 mg/l utenfor Kvednavika. Det ble i måleperioden ikke målt høyere turbiditet enn 4.2 mg/l i overflata på stasjon C2 utenfor anlegget. Forskjellen i turbiditet på innsiden og utsiden av siltgardina var den 7. februar 2013 henholdsvis 7-11 mg/l og 3-4 mg/l, og vi konkluderer derfor med at siltgardina effektivt reduserer partikkelkonsentrasjonen i overflatelaget.

Både direkte målinger og partikkelmodellering viser at partikler fra Norsk Stein sin virksomhet brer seg over et betydelig område. Høye partikkelkonsentrasjoner i størrelsesorden 10 mg/l forekommer derimot kun i nærheten av anlegget, opp mot en km ut fra anlegget på tvers av fjorden og opp mot to km oppover i Straumbersundet. Norsk Stein sin virksomhet har ikke påvirket miljøtilstanden i negativ retning på noen av de stasjonene som ble undersøkt.

Summary

Title: Recipient survey in Sandfjorden in Rogaland and modeling of particle dispersion from Norwegian Stein's plant

Year: 2013

Authors: André Staalstrøm, Gunnhild Borgersen, Torulv Tjomsland, Magdalena Kempa and Marijana Brkljacic

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-6258-2

Norsk Stein as is by the County Governor of Rogaland required to make a recipient survey in the Sandfjord. This is in connection with a discharge permit dated 25 October 2012. It is required that the area of influence of the discharge from Norsk Stein's plants is mapped by means of current measurements and particle dispersion modeling. In addition, environmental and marine habitats must be surveyed at three stations, one station in each of the three deep parts of the recipient. The report should answer the following questions:

1. How is the current conditions in the Sandfjord?
2. How is the distribution pattern of particles from Kvednavika, considering the different currents that can occur?
3. What is the condition of benthic fauna, and can traces of Norsk Stein operations be seen in fauna?
4. How effective are the curtain to prevent particle spreading in Kvednavika?

The measurements presented in this report show two different current regimes. Most of the time it flows out in a relatively thin surface layer / brackish layer and flows into the fjord in a layer that is from about 30 m depth to the sill depth of 100 m. In shorter periods this pattern turns, and it flows into the fjord in a thick surface layer, and out below. Such an episode was observed at stations just outside the sill in the period from about 12 to 18 February 2013. In this period the water flowed into the fjord in the upper 40-50 meters. In the depth range from about 90 to 190 m water flowed out of the fjord. It thus flowed out in a layer below the sill depth. Previous studies also show that it is usually outflow in the surface layer and inflow below this, and that this pattern sometimes changes. Typical flow velocities in the outflowing upper layer at a station about 1500 m south of the sill is 30 cm / s, with currents exceeding 50 cm/s in 5 % of the time. At a station in the deepest parts just outside of the sill, the average current speed in the depth range 20 to 100 m, is about 5-7 cm/s and up to 11-19 cm/s in 5% of the time. Below 100 m the current speed is on average 4-5 cm/s and up to 7-9 cm/s in 5 % of the time.

Turbidity is a measure of the particle content in the water and one NTU is approximately equivalent to a particle content of 1 mg/l. To avoid confusion, we have consistently used the term mg/l in the report.

It was observed on one occasion a cloud of particles that spread along the bottom across the fjord away from Kvednavika. This cloud the left bottom at 100-150 meters depth and spread further away in this depth. It was measured turbidity of more than 9 mg/l approximately 800 m from the discharge point, and values above 6 mg/l approximately 1000 m from the discharge point. This was observed immediately after the dumping of masses had taken place in Kvednavika, and we interpret these observations to represents the initial first cloud spreading away after each episode with dumping of masses.

Since there were made no observations in Straumsundet right after dumping had taken place, it was not observed high particle concentrations here. Given the observed currents with prevailing inflow

from 30 to 100 m depth, it is likely that turbidity values similar to those observed in the middle of the fjord March 11 2013, with values up to 10 mg/l, also occur here. The results of particle transport through Straumbergundet, can be seen as elevated turbidity values inside the sill, with values up to or above 2 mg/l below 100 m. Based on measurements south of Kvednavika, we can say that the background value for particulate concentration in the fjord is about 0.5 mg/l.

Modelling (GEMSS model) of particle dispersion shows that the particles spreads out of the fjord in the surface and into the fjord in the depth interval from about 30-40 m and down to the sill depth of 100 m. If the model is calibrated against turbidity measurements inside the sill, the particle concentration can reach values of 15 mg/l in Straumbergundet, and traces of particles could be seen near the bottom up to 10 km inside the sill, but the concentration will not exceed 1.5 mg/l. According to the modeling, the particle concentration in Midtsundet will not exceed 1.5 mg/l.

The three stations investigated had very species-rich soft bottom fauna and high species diversity. The ecological condition was very good (class 1) at C4 and good (class 2) at stations A2 and. The requirements of the Water Framework Directive that all natural water bodies should have at least good ecological condition are thus satisfied. The very low contents of organic carbon in the sediment may indicate influence of mineral particles. However, this does not appear to have given a negative effect on soft bottom fauna at stations F2, C4 and A2 so far.

It is observed corals in Midtsundet. It is known that corals like these may have reduced survival if they are exposed to particle concentrations of 54 mg/l in 14 days. It is likely that high turbidity values (above 15 mg/l) will occur in Straumbergundet, but not in Midtsundet. The duration of such episodes of turbid water will last for a few hours, but they will most likely be repeated at regular intervals. From this we assume that the survival of any corals that might exist in Straumbergundet will not be reduced due to particles spreading from Kvednavika. However basis for this assumption is weak.

Smolt migrate during April-May and peaks in emigration occurs simultaneously with peaks in freshwater input to the fjord system. Thus, it can be assumed that there will be a typical circulation pattern, with outflow in the surface layer during these migrations. The surface layer in the sounds will not be affected by the Norwegian Stein in these cases, since the flow is directed outward.

To estimate how large concentrations that can occur at the two local farms farms, a worst-case scenario was set up. The result shows that the particle concentrations at the fish farm Austbø is 2 mg/l at the most, while there are no particles reachinh Vintravika. Thus, there will be no risk of the fish being affected at Vintravika. It is not likely that the fish at Austbø are affected, but the modeling shows that the particle will move this way. In this worst-case scenario it was assumed that there was a particle concentration of 50 mg/l outside Kvednavika. It was in the period not measured turbidity greater than 4.2 mg/l in the surface layer at station C2 outside Kvednavika. The difference in turbidity inside and outside of curtain in Kvednavika February 7 2013 was respectively 10-12 mg/l and 3.5 to 4.5 mg/l. Therefore we conclude that the curtain effectively reduces the particle concentration in the surface layer.

Both direct measurements and particle modeling shows that particles from Norsk Stein extending over a considerable area. However, high particle concentrations in the range of 10 mg/l occur only near the plant, up to one kilometer from Kvednavika across the fjord and up to two kilometers into the Straumbergundet. The activities of Norsk Stein have not affected the state of the environment in a negative way at any of the stations investigated.

1. Innledning

Norsk Stein as har siden 1987 drevet pukkverk på Berakvam i Suldal (**Figur 1**). Virksomheten har gradvis blitt utbygd, og i dag produseres det opp til 10 millioner tonn knuste steinmaterialer per år, hvorav mer enn 95 % er salgbare produkter som hovedsakelig eksporteres til det europeiske markedet. Det arbeider i dag omtrent 180 personer ved bedriften. Under produksjonen er det ikke til å unngå at det dannes finstoffholdig materiale som det ikke fins marked for å selge, og som i dag deponeres i sjøen utenfor bedriften i Kvednavika (**Figur 2**)

Bedriften søkte i november 2011 om å deponere inntil 400 000 tonn knust masse med partikkelstørrelse under 2 mm pr. år på sjøbunnen med utslippspunkt på 50 m dyp mellom utlastingskaiene til anlegget. I tillegg ble det søkt om et utslipp på 10 m dyp av slamholdig overflatevann som stammer fra vaskeprosessen under produksjonen av knust stein.

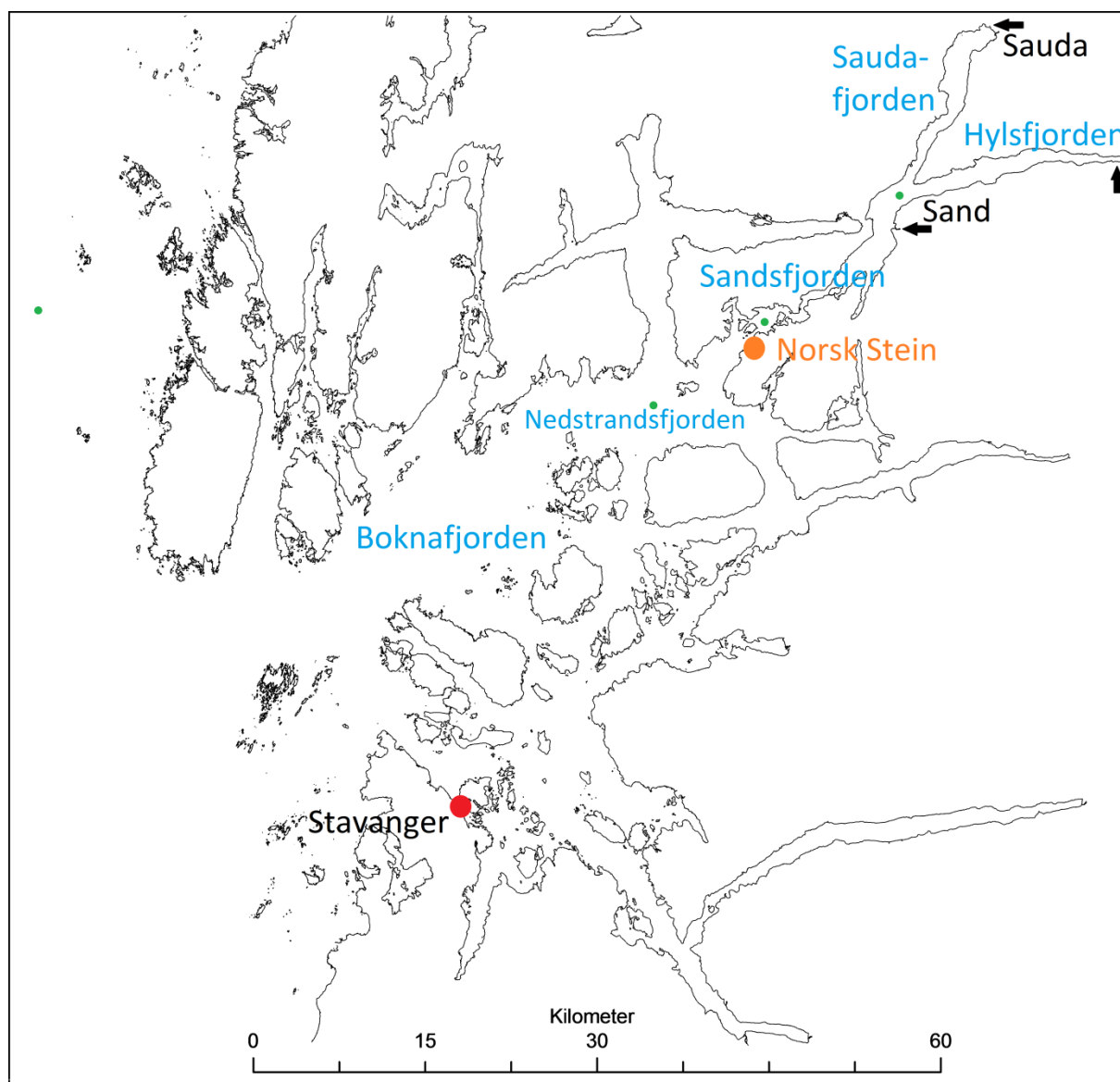
Fylkesmannen i Rogaland sendte søknaden ut på høring. Det kom 13 tilbakemeldinger fra blant annet grunneiere, Kystverket, fiskerinæringa, Mattilsynet, Havforskningsinstituttet, Rogaland fylkeskommune og Suldal kommune. Alle tilbakemeldingene hadde betenkeligheter til utslippssøknaden, og mange var svært kritiske.

Norsk Stein as endret i juni 2011 sin søknad. Det ble nå søkt om å deponere inntil 150 000 tonn pr. år med knust masse med partikkelstørrelse mindre enn 2 mm, på sjøbunnen mellom anleggets utlastingskai innenfor en siltgardin som går på tvers av bukta. I tillegg søkes det om å slippe ut slamholdig vann på 10 m i et punkt innenfor den samme siltgardina.

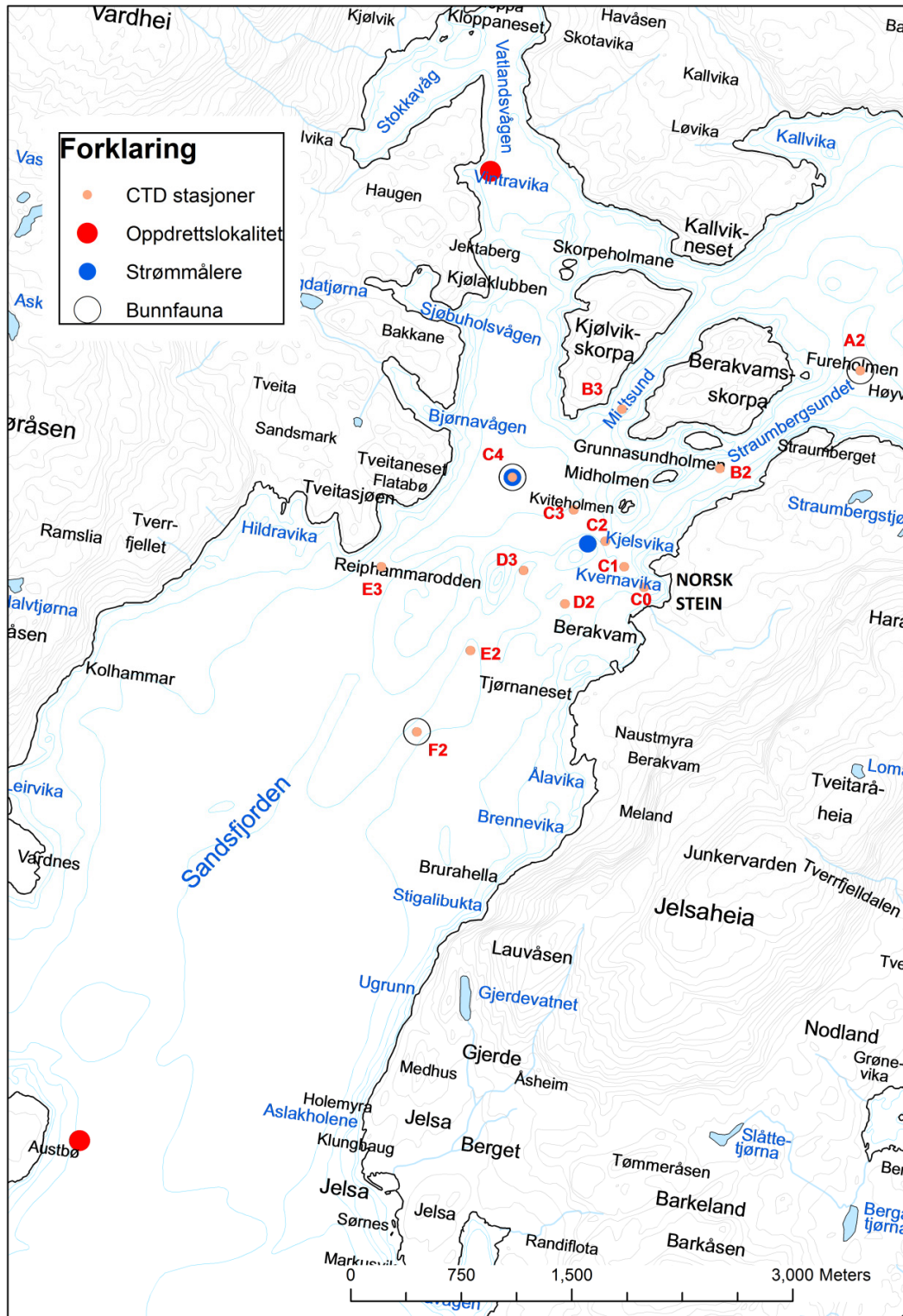
Fylkeskommunen i Rogaland ga i oktober 2012 tillatelse til å slippe ut 150 000 tonn pr. år med mineralsk stoff med partikkelkonsentrasjon mindre enn 2 mm innenfor en siltgardin. Det ble også gitt tillatelse til å slippe ut prosessvann med konsentrasjon av suspendert stoff på opp til 100 mg/liter (årsmiddel). Som vilkår stiller Fylkesmannen blant annet krav om at Norsk Stein as gjennomfører en resipientundersøkelse hvor følgende skal gjennomføres:

1. Strømforholdene i resipienten skal kartlegges gjennom hele vannsøylen og i flere målepunkter i minst en månefase.
2. Influensområdet til Norsk Stein sin virksomhet skal modelleres med en partikkelspredningsmodell. I tillatelsen står det skrevet: « For å verifisere modellen kan det bli nødvendig å måle tetthet av finkornede partikler i vannmassene i ulike intervaller fra utslippet».
3. Miljøtilstanden på bunnen skal kartlegges i tre stasjoner med gitt posisjon. Bunnfauna, konsentrasjon av totalt organisk karbon, kornfordeling (relativ andel av leire, silt, sand og grus i sedimentet) og oksygeninnhold skal undersøkes.
4. Marine naturtyper i Straumbersundet med fokus på forekomst av koraller skal kartlegges med ROV. I tillegg skal det kjente korallrevet i Midsund undersøkes.

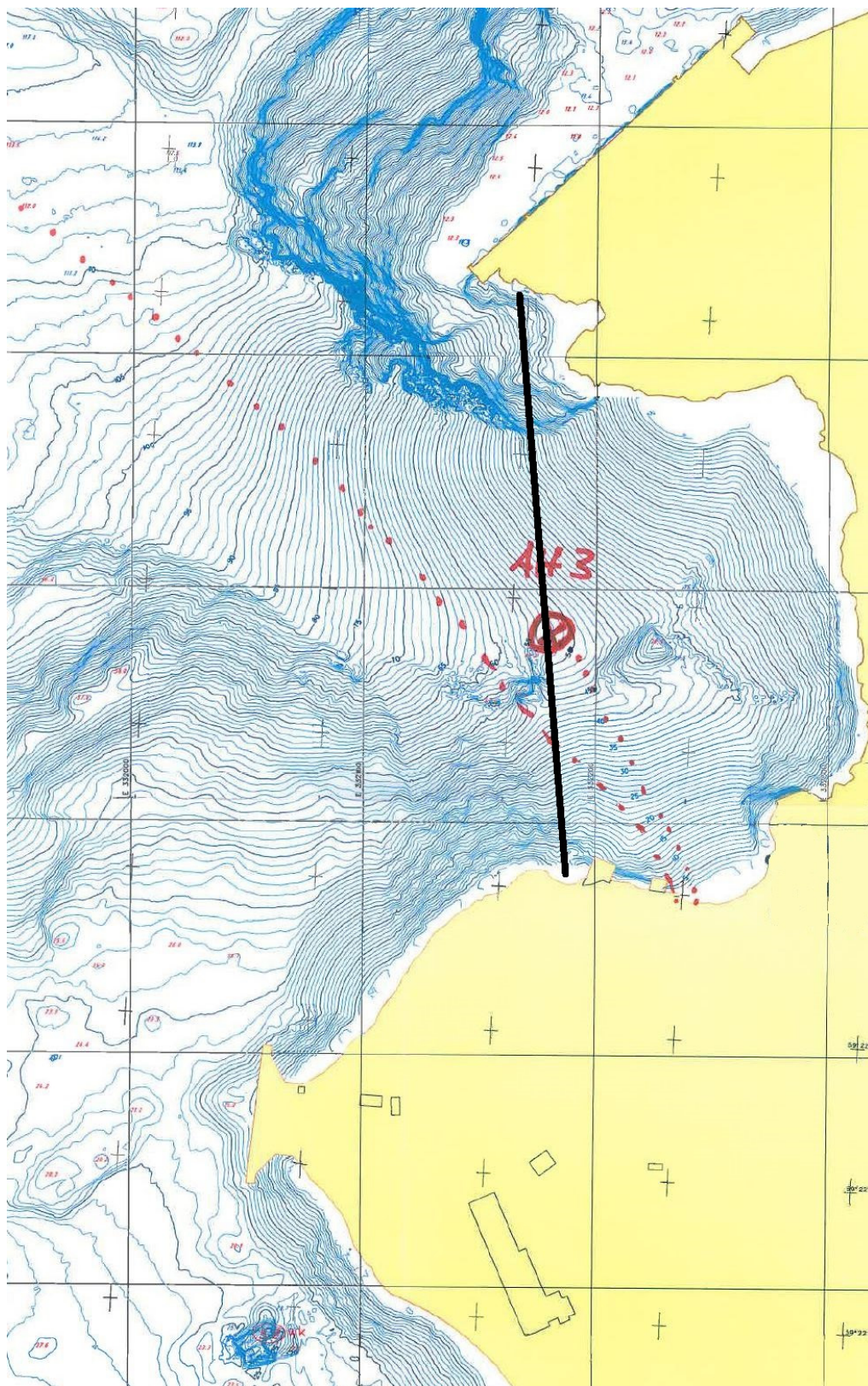
I denne rapporten blir punktene 1 til 3 undersøkt, mens forekomst av koraller ikke blir kartlagt. Det blir i rapporten beregnet i hvor stor grad havbunnen blir nedslammet av partikler fra Norsk Stein sin virksomhet.



Figur 1. Kart over fjordsystemet i Rogaland. Statens sjøkartverk sin faste målestasjon for vannstand (N 58°58', E 05°44') er markert med en rød prikk. Norsk Stein sitt anlegg i Berakvam er markert med en orange prikk. Fire CTD stasjoner fra Havforskningsinstituttets overvåkningsprogram er markert med grønne prikker. Det er Indre Utsira ute i kyststrømmen, Nedstrandsfjorden, Sandsfjorden rett på innsiden av terskelen og Sandsfjorden ved Sand. Tre svarte piler markerer de viktigste ferskvannskildene i Sandsfjordsystemet.



Figur 2. Kart over nærområdet til Norsk Stein. Utslipp befinner seg i Kvednavika (Kvernavika). Navnene på stasjonene som benyttes i dette prosjektet er markert med rød tekst.



Figur 3. Detaljert bunnkart av Kvednavika (Kilde:Norsk Stein sin utslippssøknad). Siltgardinenes omtrentlige plassering er tegnet inn med en tykk svart strek. Størrelsen på rutene er 100 m.

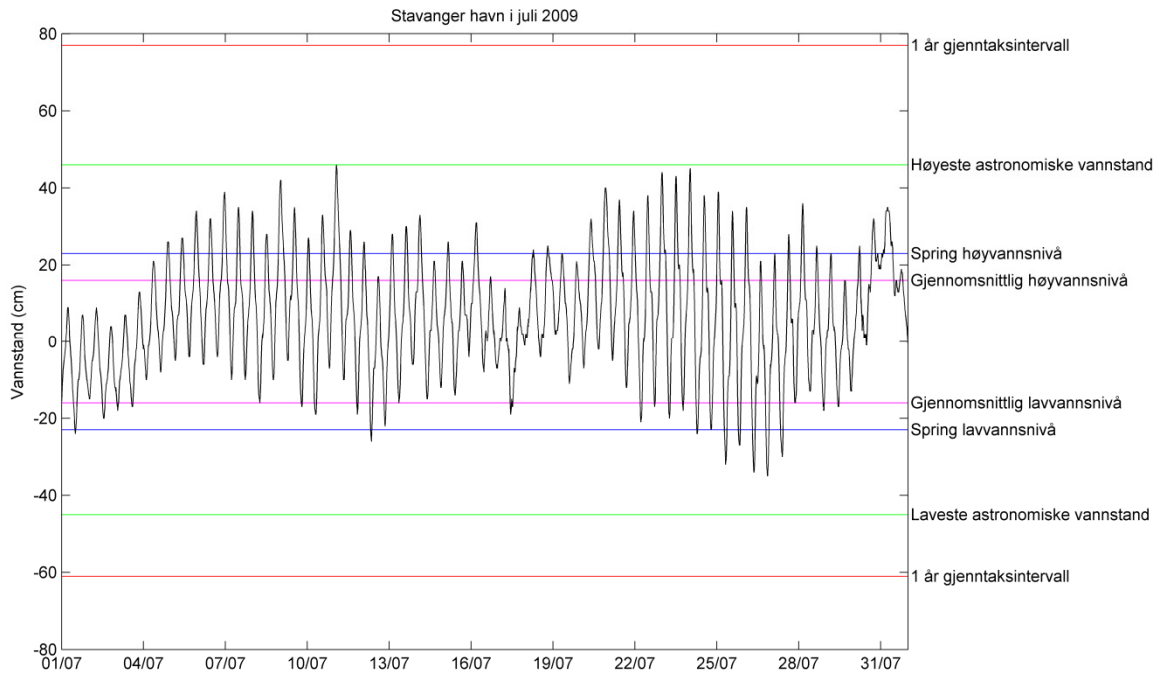
2. Generelt om oseanografien i området

Sandsfjorden ligger i Rogaland innenfor Boknafjorden og Nedstrandsfjorden (**Figur 1**). Den er den ytre delen av et fjordsystem formet som en Y, som kalles Sandsfjordsystemet (Johnsen, Økland, Lamberg, Thorstad, & Jensen, 1996). Ved Sand deler fjordsystemet seg i Hylsfjorden som går rett østover og Saudafjorden som går innover til Sauda. Boknafjorden og Nedstrandsfjorden er dype fjorder som står i fri forbindelse med kystvannet på utsiden ned til 300 m. Terskelen i Sandsfjordsystemet er på 110 m, og det maksimale dypet i Sandsfjorden er 420 m, i Hylsfjorden 510 m og i Saudafjorden 380 m (Kaartvedt & Svendsen, 1995). Norsk Stein sitt anlegg ligger ved Berakvam på østsiden av fjorden rett på utsiden av terskelen (**Figur 2**). Terskelen befinner seg mellom to øyer som kalles Skorpene. Mellom Straumberget (fastland) og Berakvamskorpa ligger Straumbergsundet og mellom Berakvamskorpa og Kjølvikskorpa ligger Midtsund. I begge disse sundene er det omtrent 110 meter på de dypeste. Mellom Kjølvikskorpa og fastlandet på vestsiden er det grunnere (mindre enn 50 meter). Utenfor Norsk Stein sitt anlegg heller bunnen jevnt nedover mot 110 meters dyp med en vinkel på 20-25° (**Figur 3**).

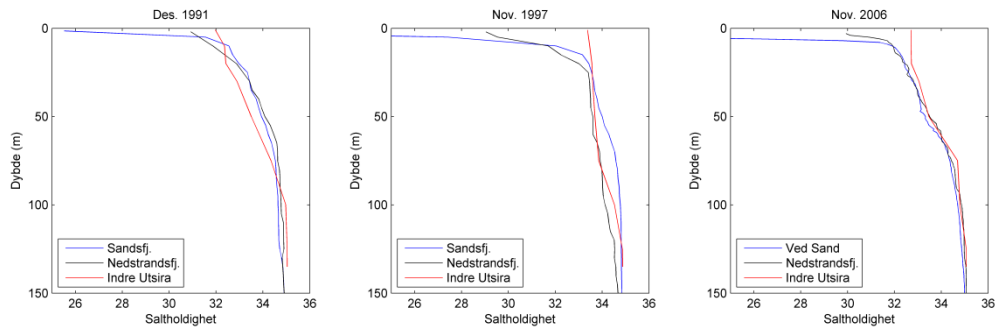
Tidevannsforskjellene i området er små. Vannstanden har blitt målt i Stavanger havn (N 58°58', E 05°44') siden 1919, og viser at gjennomsnittlig høydeforskjell mellom middels høy- og lavvann er 32 cm (**Figur 4**). Ved springflo er forskjellen 46 cm. Forskjellen mellom den høyeste og laveste observerte vannstanden er 2 m. En havmodell med 200 m horisontal oppløsning er satt opp for hele Rogaland (Jon Albretsen, Havforskningsinstituttet, personlig kommunikasjon) og viser at forskjellen mellom vannstanden ved Stavanger og ved en posisjon ytterst i Sandsfjorden er liten. Sandsfjordsystemets horisontale areal innenfor terskelen er på omtrent 70 km². Samlet tversnittarealet for de tre sundene over terskelen er omtrent 70000 m². Hvis vannstanden over hele fjordarealet skal endres med 46 cm i løpet av en halv tidevannssperiode, trengs det kun en gjennomsnittlig strøm over terskelen på 2 cm/s. Skulle man få den høyeste og laveste observerte vannstanden rett etter hverandre kunne man fått en gjennomsnittlig strømhastighet på 11 cm/s over terskelen. Tidevanns-strømmen er derfor ikke dominerende i fjordsystemet, bortsett fra i helt spesielle tilfeller.

Sirkulasjonen i fjordsystemet er dominert av endringer i saltholdighet og temperatur i vannmassene på utsiden av fjorden, og ferskvannstilførselen til fjorden, se for eksempel (Aure & Rey, 1992). Havforskningsinstituttet har målt profiler av temperatur og saltholdighet ved stasjonen Indre Utsira (N 58°19', E 04°59') med hyppige intervaller (typisk 20 målinger per år) siden 1942. Hvis man sammenligner disse dataene med profiler av saltholdighet målt i november ved en stasjon i Nedstrandsfjorden, viser dette at profilene er forholdsvis like, selv om vannet er ferskere i overflatelaget ved den innerste stasjonen (**Figur 5**). Data fra stasjon Indre Utsira er brukt som inngangsdata til modellen.

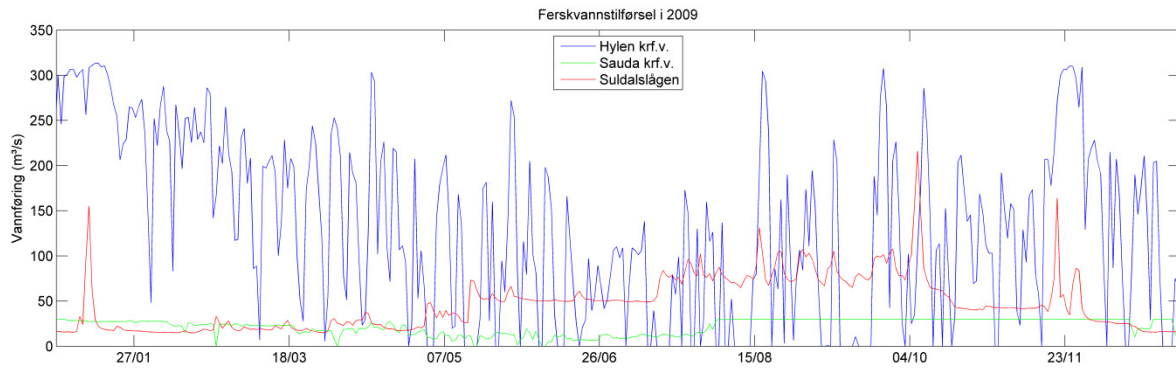
Overflatelaget i fjordsystemet er tydelig påvirket av ferskvannstilførselen. Suldalslågen som har sitt utløp ved Sand, er den største elva i området med årlig middel vannføring på 47 m³/s. Saudavassdraget har sitt utløp innerst i saudafjorden og har en årlig middel vannføring på 25 m³/s. I tillegg til dette har Hylen kraftverk utslipp innerst i Hylsfjorden, og har en årlig middel vannføring på 215 m³/s. Ferskvannsutslippet fra kraftverket dominerer altså tilførselen av ferskvann til fjorden store deler av året (**Figur 6**). Meteorologiske data er tilgjengelig fra Sola lufthavn. Median vindstyrke er 4 m/s og den vanligste vindretningen er rett fra nord eller fra sør-øst (**Figur 7**).



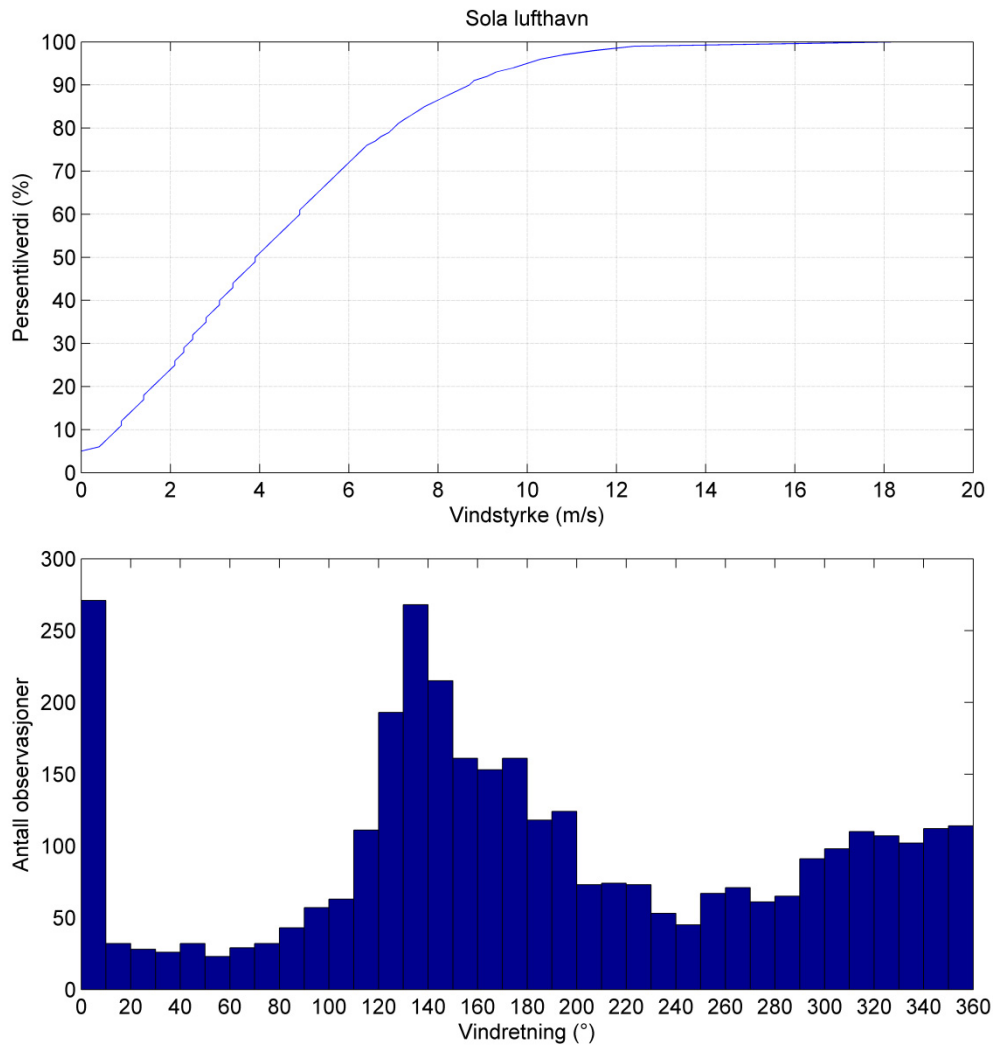
Figur 4. Målt vannstand ved Stavanger i løpet av juli 2009.



Figur 5. Sammenligning av saltholdighetsprofiler ved stasjon Indre Utsira og Nedstrandsfjorden.



Figur 6. Ferskvannstilførsel til Sandsfjordsystemet i 2009.



Figur 7. Vindforhold ved Sola lufthavn i 2009. Øverst er den kumulative fordelingen av vindstyrken vist, og nederst er fordelingen av vindobservasjoner fra forskjellige retninger. Det vanligste er at det blåser 4 m/s fra sørøst.

3. Strømforhold og partikkelkonsentrasjon i fjorden

3.1 Feltnmålinger

To målerigger var utplassert i fjorden, den ene ved posisjon C2 og den andre ved posisjon C4 (se **Figur 2**). I den første riggen ved C2 var det utplassert en RCM strømmåler med sensor for trykk, saltholdighet, temperatur og turbiditet. Denne målte omtrent i 1.5 m dyp. I denne riggen var det også plassert en CTD og en ADCP på bunn. På grunn av veldig kupert bunnforhold ble disse målerne liggende å gnisse mot fjellsiden, og kun målingene av saltholdighet og temperatur fra omtrent 100 m dyp kan brukes. I den andre riggen (C4) var det utplassert en ADCP profilerende strømmåler i 219 m dyp. Denne måleren registrerte temperatur og turbiditet i dette dypet, og strøm hver 5. meter opp til 20 m dyp. Instrumentene ble utplassert 7. februar 2013 og tatt opp igjen 11. mars 2013.

Den 12. mars 2013 ble det tatt bløtbunnsprøver på de tre stasjonene A2, C4 og F2 (se **Figur 2**). Dette ble gjort med en van Veen grabb med prøvetakingsareal på 0,1 m². Prøvene ble vasket forsiktig gjennom sikter med henholdsvis 5 mm og 1 mm runde hull. Sikteresten ble så konservert i en 4-10 % formalinløsning nøytralisert med boraks og tilsatt fargestoffet bengalrosa for å gjøre sorteringen lettere. Sikteresten ble grovsortert i hovedgrupper ved NIVAs biologilaboratorium, og lagt over på 80-100 % sprit. All bunnfauna ble identifisert til lavest mulig taksonomiske nivå, og alle individer av hver art ble talt. Metodikk for innsamling og opparbeiding av faunaprøvene fulgte ISO 16665 (ISO, 2005), og ble utført i henhold til NIVAs interne akkrediterte prosedyrer.

Ved utplassering av instrumentene ble det foretatt målinger med et profilerende instrument (CTD) som registrerte trykk, temperatur, saltholdighet og turbiditet. Ved opptak av instrumentene og ved bunnundersøkelsene, ble det brukt en CTD som også registrerte klorofyll-a fluorescens. Posisjonene til målestasjonen er vist i **Figur 2**.

3.2 Sirkulasjonen i fjorden

Flere undersøkelser hvor det er brukt strøm- og CTD målinger (se for eksempel Kaartvedt & Svendsen, 1990, 1995), numeriske data modeller (for eksempel Golmen, 1989 eller Svendsen & Golmen, 1987) og fysiske laboratoriemodeller (McClimans, 1974), viser at det ofte strømmer ut i overflatelaget og at det er en kompensasjonsstrøm under dette laget igjen. Dette bildet fanges opp i våre målinger. På stasjon C2 er det en kraftig utgående strøm på opp til 30 cm/s mesteparten av perioden, og på stasjon C4 er det målt at det strømmer inn i dybdeintervallet 40-100 m med strømstyrker opp til 10-15 cm/s.

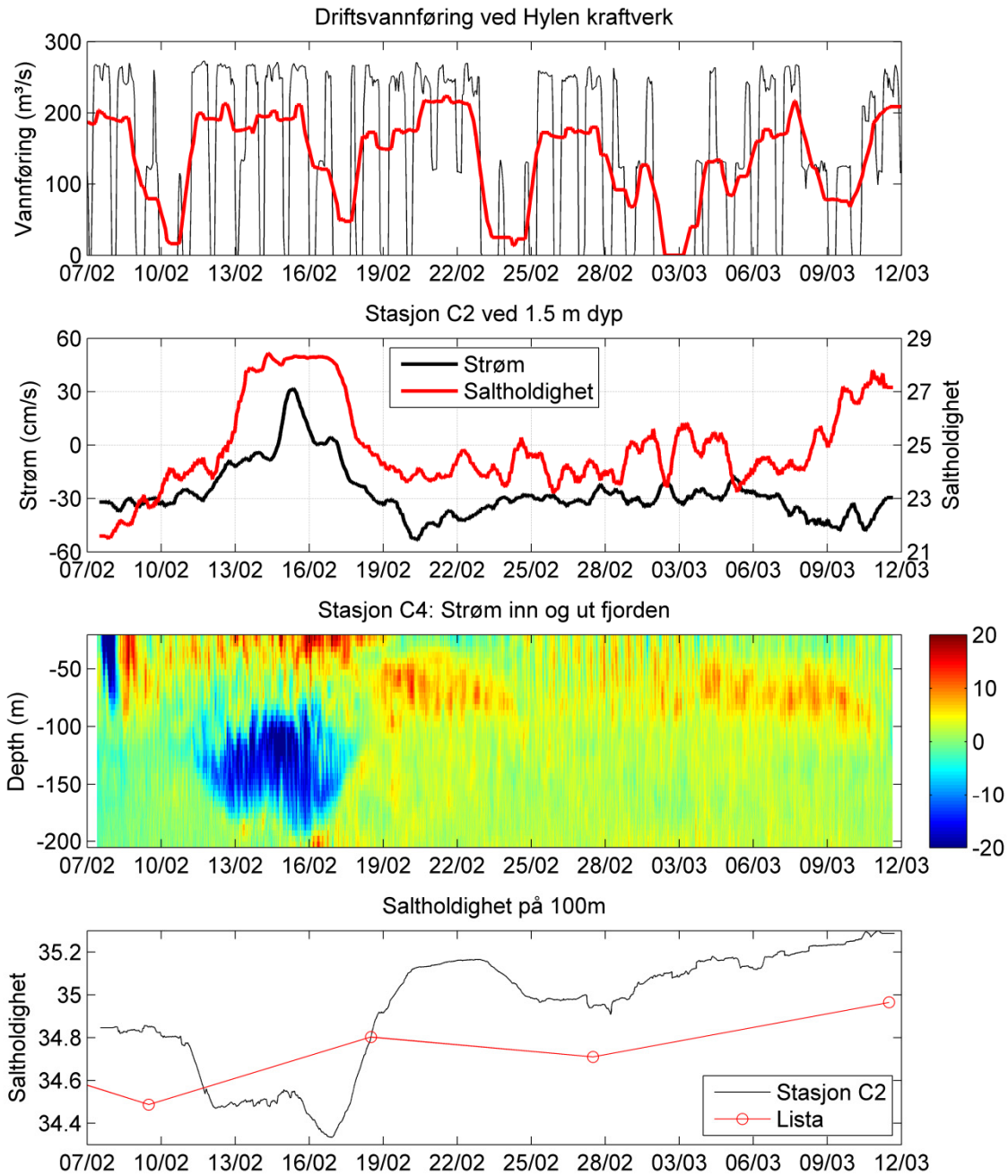
Enkelte ganger snus dette bildet, når ferskvannstilførselen og/eller vannmassene på utsiden av fjordsystemet endres. **Figur 8** (nederst) viser at det på Lista ligger lettere vann på 100 meters dyp den 9. februar, enn det som er på utsiden av terskelen i Sandsfjorden. Når dette vannet kommer inn i Sandsfjorden 12. februar, ser det ut til at vann fra innsiden av terskelen strømmer ut av fjorden i dybdeintervallet 100-150 m. Dette sees som en blå flekk nest nederst på **Figur 8**. Denne episoden varer i fem dager, og det observeres strømstyrker opp til 20 cm/s.

I den samme perioden strømmer det inn i overflata på stasjon C2, noe som bringer med seg saltere vann. Målingene fra stasjon C4 viser at det er kraftig strøm inn fjorden helt ned til 40-50 m. Det er ikke helt klart hvilke drivkrefter som forårsaker denne episoden, for ferskvannstilførselen kan også ha spilt en rolle. I dagene før 12. februar er det veldig lav driftsvannføring ved Hylen kraftverk, og dette kan ha vært med på å svekke utstrømningen i overflatelaget. Denne episoden viser at det dominerende bildet med strøm ut fjorden i overflata, og en kompensasjonsstrøm under dette laget, enkelte ganger snur fullstendig. Spredning av partikler vil i slike tilfeller i stor grad bli påvirket av dette.

Typiske strømhastigheter i det utstrømmende øvre laget på stasjon C2 omtrent 1500 m sør for terskelen er 30 cm/s, med strømstyrker over 50 cm/s i 5 % av tiden. På stasjon C4 i det dypeste partiet rett på utsiden av terskelen er det i gjennomsnitt i dybdeintervallet 20 - 100 m en strømstyrke på 5-7 cm/s og opp mot 11-19 cm/s i 5 % av tiden. Under 100 m er det strømstyrken i gjennomsnitt 4-5 cm/s og opp mot 7-9 cm/s i 5 % av tiden.

For å oppsummere kan vi si at sirkulasjonen i fjorden består av to regimer:

1. Vanlig estuarin sirkulasjon: Partikler i overflata vil da fraktes utover i fjorden, mens partikler dypere i vannsøylen vil fraktes innover i fjorden.
2. Omvendt sirkulasjon: Partikler i overflata vil da fraktes innover i fjorden, mens partikler dypere i vannsøylen vil fraktes utover i fjorden.



Figur 8. Sirkulasjonen i Sandsfjorden målt fra 7. februar til 11. mars 2013. Øverst er driftsvannføringen ved Hylen kraftverk med timesverdier. Den røde kurven viser middelverdien for hver dag. Nest øverst vises målt strøm inn og ut fjorden sammen med saltholdigheten i 1.5 m på stasjon C2. Nest nederst vises målt strøm inn og ut fjorden på stasjon C4. Nederst vises saltholdigheten i 100 m på stasjonene C2 og Lista (N 58°05 E 6°32).

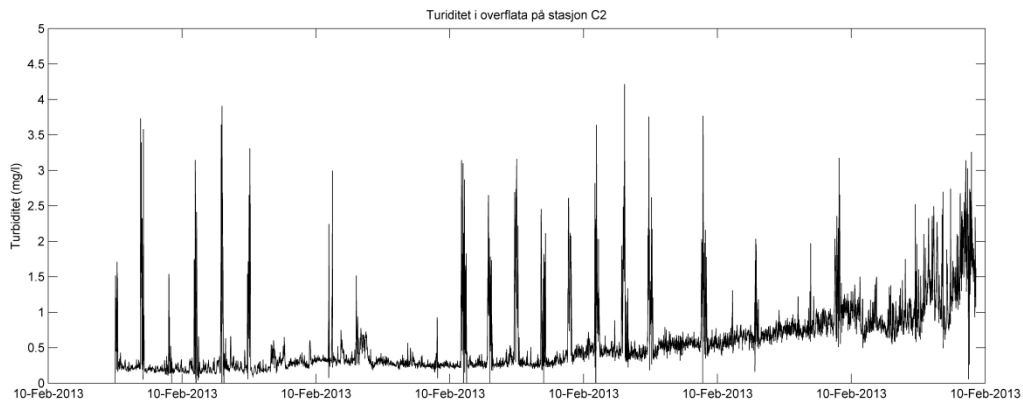
3.3 Kartlegging av turbiditet

Turbiditet er en størrelse som kan måles med et optisk instrument, og sier noe om hvordan lyset spres i vannsøylen når det treffer partikler. En tommelfingerregel er at en turbiditetsenhet (NTU) tilsvarer omtrent 1 mg/l.

Norsk Stein dumper finkornet materiale i Kvednavika. Dette foregår ved at lastebiler rygger ut mot kanten og dumper massene rett i sjøen. **Figur 9** viser et bilde tatt av Kvednavika fra sjøen på ettermiddagen 11. mars 2013, hvor et av stedene hvor dumping foregår er markert. Denne formen for deponering av masser har foregått i større eller mindre grad siden virksomheten startet opp, og **Figur 3** viser at bunnen heller jevn nedover mot omtrent 110 meters dyp noen hundre meter lenger ut i fjorden. **Figur 10** viser målt turbiditet i overflata på stasjon C2, og vi kan se at verdiene går opp mot 4 mg/l med jevne mellomrom.



Figur 9. Bilde av Kvednavika tatt fra sjøen på ettermiddagen 11. mars 2013. Den røde ringen markerer et av stedene hvor sand for tiden blir dumpet.



Figur 10. Målt turbiditet i overflata på stasjon C2.

Med dagens tillatelse på 150000 tonn per år, så vil dette si at det i gjennomsnitt må dumpes omtrent 400 tonn per dag, det vil si 17 tonn per time (Fylkesmannen i Rogaland, 2012). Dette vil ikke foregå i et jevnt tempo, og det er ikke usannsynlig at det noen dager slippes ut det dobbelte av døgnmiddelet for hele året, og at dette slippes ut av en arbeidsdag. Det vil si at utslippet kan være 5-6 ganger større per time enn det årlige gjennomsnittet.

Siltgardina som stenger av Kvednavika går bare ned til 10 meters dyp. Det er opp til 50 m dypt der siltgardina ligger, og den vil ikke ha noen effekt på materialet som raser ned langs bunn. Siltgardina vil derimot effektivt redusere spredning av partikler i overflatelaget. Den 7. februar ble turbiditeten målt midt på dagen på innsiden og utsiden av siltgardina. Da var turbiditeten i gjennomsnitt 7-11 i de øverste 5 meterne på innsiden og 3-4 på utsiden. Dette var også tydelig i målinger av siktedyp som var 2.5 m på innsiden og 5.0 m på utsiden.

Siktedypet ble den dagen målt på en rekke stasjoner, og det var veldig klart vann i fjorden. Det ble målt siktedyp ned til 17 m på stasjon B3 (se **Figur 2**). Det var en tydelig horisontal gradient vekk fra Kvednavika. Dette er vist i **Figur 11** og **Figur 12** hvor verdiene for siktedyp som er målt er skrevet i parentes bak hvert stasjonsnavn.

Den 11. og 12. mars hadde våroppblomstringen startet, noe som var tydelig i målingene av klorofyll-a fluorescens (ikke vist), og det var betydelig dårligere sikt i vannet. Det var ingen tydelige tegn til en horisontal gradient i siktedypet de dagene.

Det ble målt profiler av turbiditet på flere stasjoner (se vedlegg 2). **Figur 11** viser resultatene av målingene fra stasjonene på tvers av fjorden. Turbiditeten var lav på alle stasjoner bortsett fra C0 og i ca. 30 m dyp på C1 den 7. februar. Resultatene tyder på at det var en sky med partikler som bredde seg ut fra Kvednavika i 30-40 m dyp, men turbiditetsverdiene var i hovedsak lave.

Den 11. mars var det også en sky i 30-40 m, men ved dette tilfelle var det en annen partikkelsky med høy turbiditet som bredde seg langs bunn forbi stasjon C2 og videre nordøstover 100-150 m dyp (se **Figur 11**). Turbiditeten ble da målt til 9 mg/l på 100 m på stasjon C2b (ca. 800 m fra deponeringspunktet), noe som må regnes som en høy verdi. Dagen etter var turbiditeten betydelig lavere på stasjon C1 (**Figur 12**). Vi tolker dette som at vi på ettermiddagen den 11. mars observerte en situasjon rett etter at dumping av materiale hadde foregått, mens det den 7. februar og 12. mars er en stund siden dumping hadde foregått.

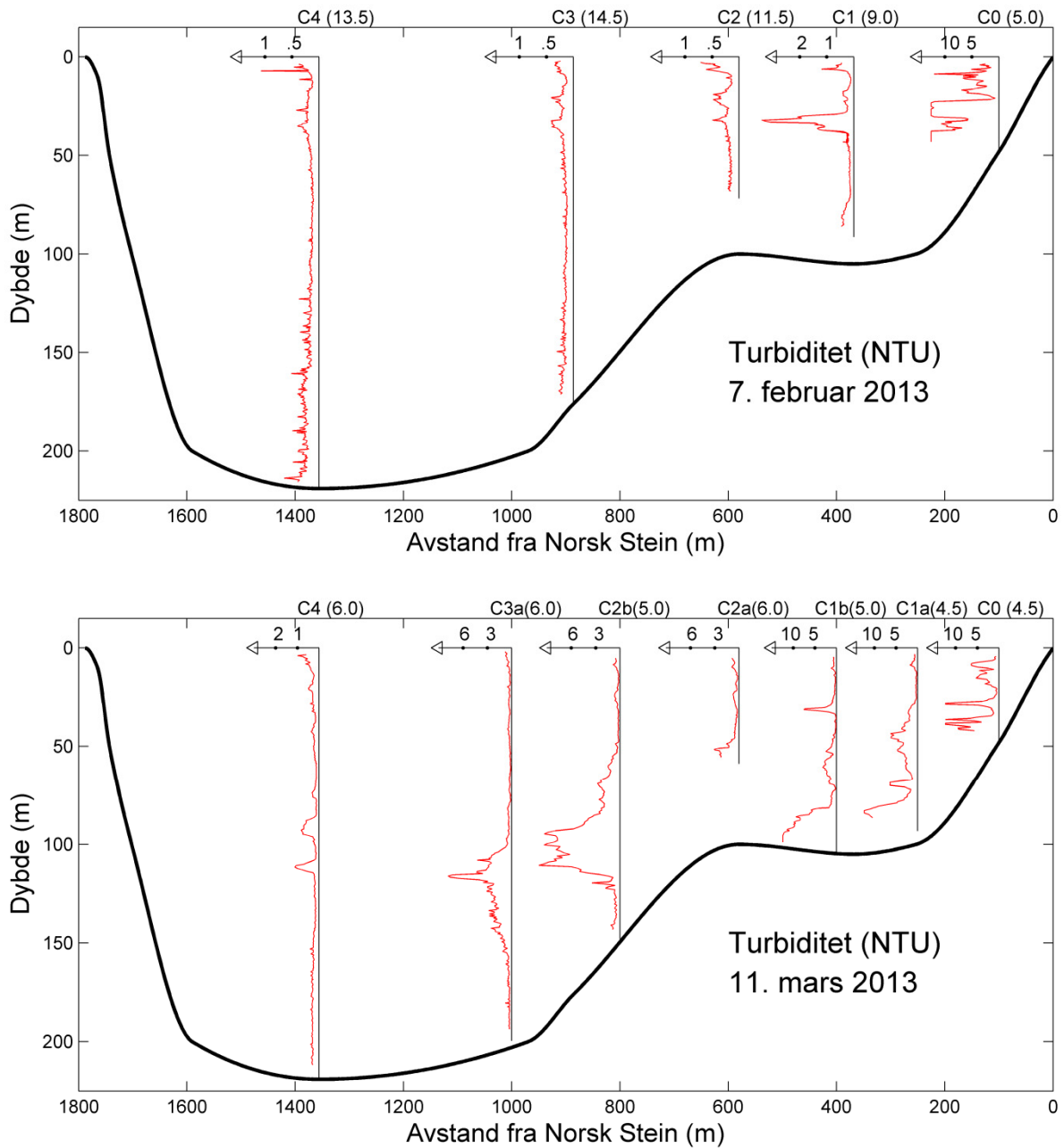
Figur 12 viser turbiditeten i Straumbergsundet den 7. februar og 12. mars. Turbiditeten på stasjon C1 var lav i begge disse tilfellene, og vi tolker dette som at vi her ser to situasjoner hvor den første

partikkelskya har passert. Det som er viktigst å merke seg i denne figuren er at turbiditeten har en relativt høy verdi i dypet på stasjon A2 på innsiden av terskelen. Verdien ligger på 1-2 mg/l, så den er ikke spesielt høy, men det er tydelig over bakgrunnsnivået. Basert på målinger i resipienten sør for Norsk Stein sitt anlegg kan vi si at bakgrunnsverdien for partikkelinnhold i resipienten er omtrent 0.5 mg/l. Siden vi målte tilsvarende profiler på stasjon A2 begge dagene, kan dette tyde på at disse verdiene representerer den gjennomsnittlige verdien på denne stasjonen. **Figur 13** viser profiler av tetthet sammenlignet med profiler av turbiditet på stasjon A2. Sjiktningen er forholdsvis svak i omtrent 100 meters dyp der hvor vi ser en økning i turbiditet.

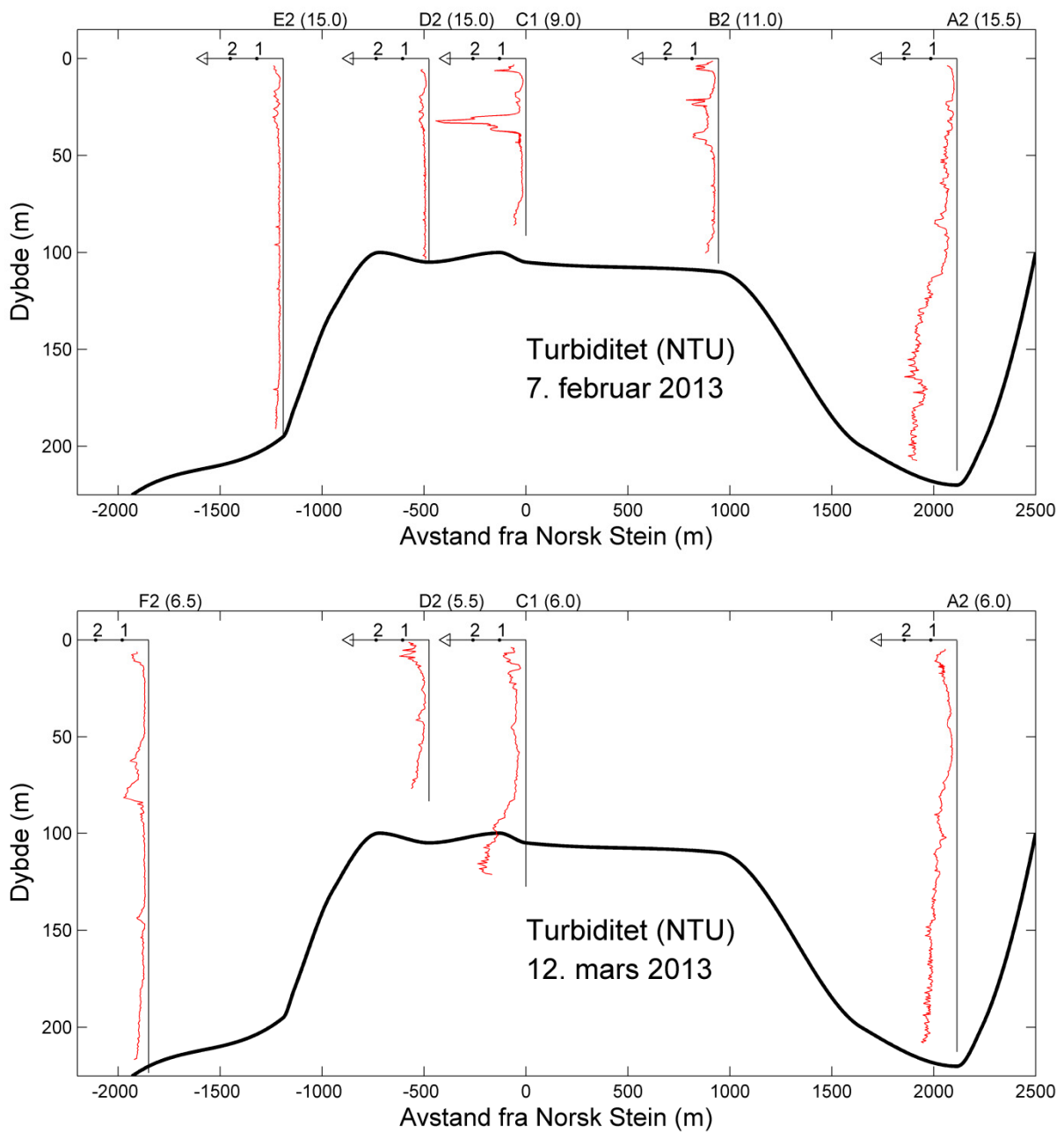
Vi har nå to viktige kvalitetskriterier for modellering av partikkelspredning:

1. Modellen bør kunne gjenspeile bildet vi ser på tvers av fjorden den 11. mars, med en partikkelsky som brer seg langs bunn, og legger seg i 100-150 m dyp.
2. Modellen burde gi en gjennomsnittlig partikkelkonsentrasjon på stasjon A2 som ligner på de målte turbiditetsprofilene, som viser opphøyde verdier under terskeldyp.

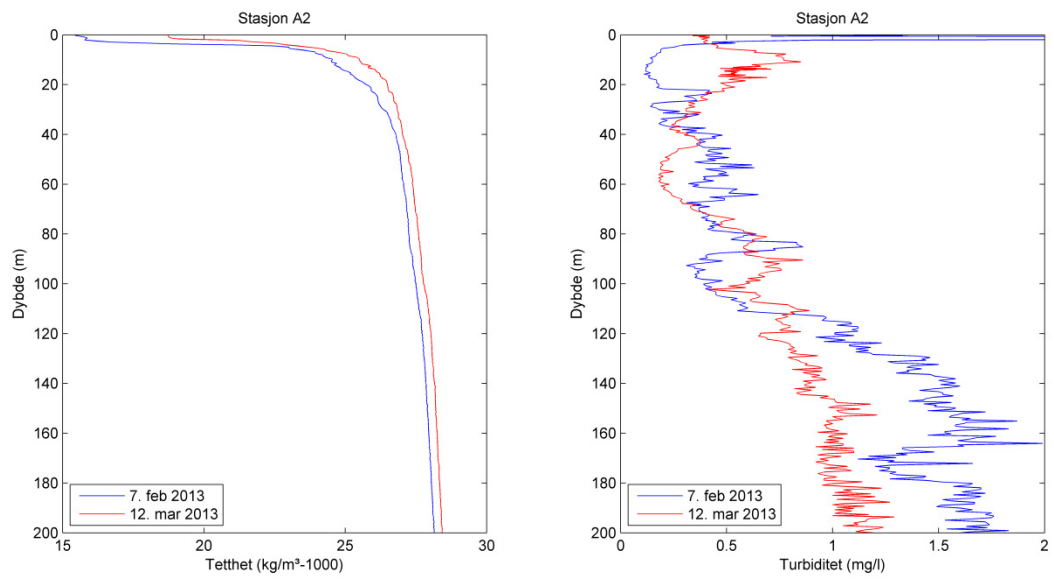
Vi har ikke klart å fange opp noen partikkelsky med høye verdier i Straumbersundet, siden vi ikke målte her den 11. mars 2013. Men i lys av den høye gjennomsnittlige konsentrasjonen på stasjon A2, og den vedvarende inngående strømmen som er målt i dybdeintervallet 50-100 m (**Figur 8**), er det ikke usannsynlig at det tidvis vil forekomme turbiditetsverdier her som ligner på de som ble observert på stasjon C2b.



Figur 11. Turbiditet målt i fjorden med profilerende instrument den 7. februar (øverste) og 11. mars (nederste). På x-aksen vises avstand fra Norsk Stein sitt anlegg. Navnet på stasjonene som er plassert på tvers av fjorden, vises på toppen av hver figur med siktedypet i meter i parentes. Ved hver stasjon vises turbiditet (1 NTU ~ 1 mg/l), med hver sin egen x-akse. Legg merke til at skalaen er forskjellig fra de forskjellige stasjonene.



Figur 12. Turbiditet målt i Straumsundet med profilerende instrument den 7. februar (øverste) og 11. mars (nederste). På x-aksen vises avstand fra Norsk Stein sitt anlegg. Navnet på stasjonene, vises på toppen av hver figur med siktedypet i meter i parentes. Ved hver stasjon vises turbiditet (1 NTU ~ 1 mg/l), med hver sin egen x-akse.



Figur 13. Profiler av tetthet sammenlignet med profiler av turbiditet på stasjon A2.

4. Modelling av partikkelspredning

4.1 Beskrivelse av GEMSS

Vi benyttet den 3-dimensjonale modellen GEMSS (**Figur 14**). Modellen kan beregne strøm, temperatur, saltholdighet, konsentrasjon av stoffer med ulike egenskaper, sediment transport, bakterier, vannkvalitet, spredning av olje mm.

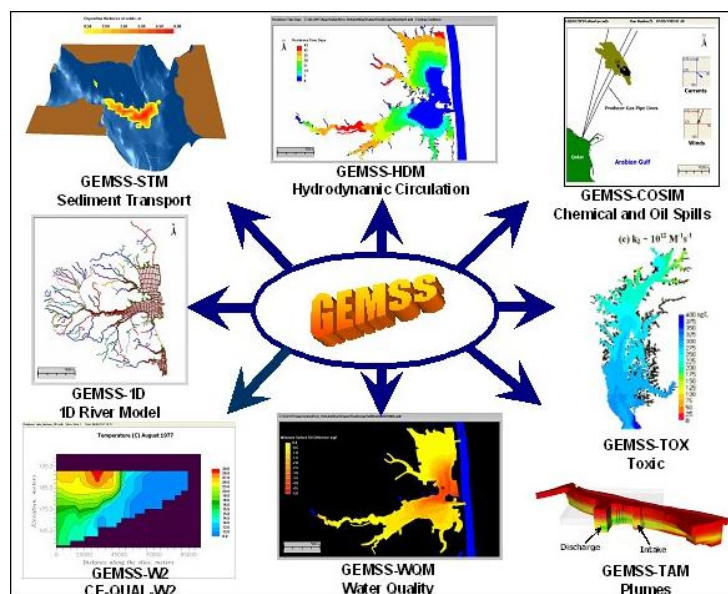
Modellen/modellpakken er utviklet av ERM's Surfacewater Modeling Group i Exton, Pennsylvania, USA. Modellen og eksempler på bruk av modellen kan studeres nærmere på hjemmesiden <http://www.erm-smg.com>. Modellen er blant de mest avanserte som finnes og benyttet i store deler av verden. Vi har benyttet to moduler:

GEMSS - Hydrodynamikk

Modellen simulerer strøm, temperatur, og transport av konservative stoffer. Fjorden deles inn i beregningsceller. Resultatene beregnes suksessivt fremover i tid med f.eks. et par minutters intervall. Som input trengs vannstand, temperatur og saltholdighet i ytre ende av fjorden, klimadata samt vannføringer og vanntemperatur i elvetilløpene. Videre er det behov for et detaljert dybdekart på digital form.

GEMSS - Modul for sediment transport

Modulen beregner hvordan erosjon, transport og sedimentasjon av partikler som følge av strøm og bølger. Konsentrasjonene blir beregnet for hver beregningscelle samtidig med de hydrodynamiske beregningene.



Figur 14. GEMSS er en pakke med modeller. I sentrum står en hydrodynamisk modell. Det er flere tilleggsmoduler, blant annet sedimenttransport.

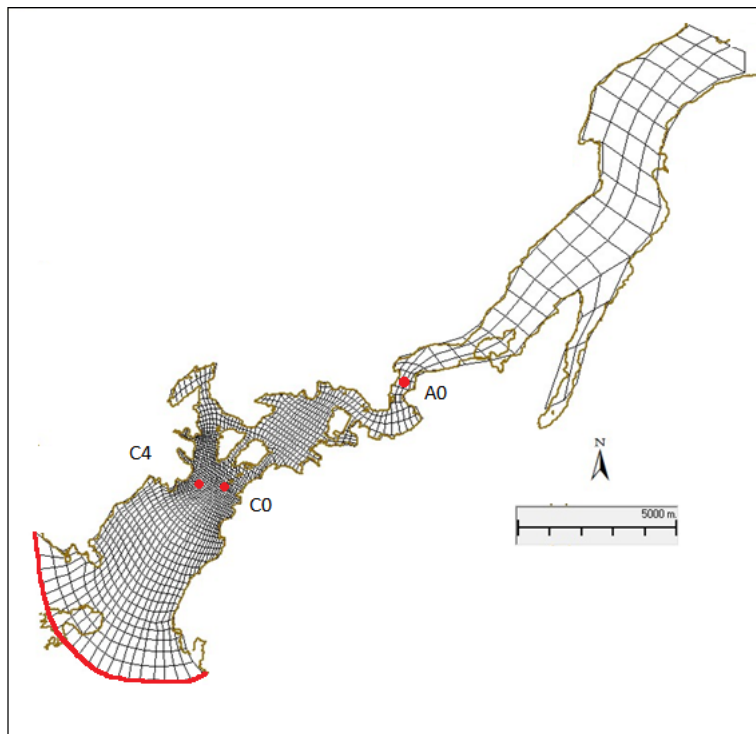
4.2 Inngangsdata

Modellen har et grid som har en oppløsning på omtrent 50 m nær utslippet. Dette betyr at det beregnes verdier for strøm, saltholdighet, temperatur og konsentrasjon av forskjellige stoffer hver 50. meter. Oppløsningen minker gradvis når man beveger seg vekk fra området utenfor Kvednavika, det vil si at beregningscellene blir større og større (**Figur 15**). Vi benyttet dybde data fra Statens kartverk for å få en verdi for dypet i hver av rutene i figuren.

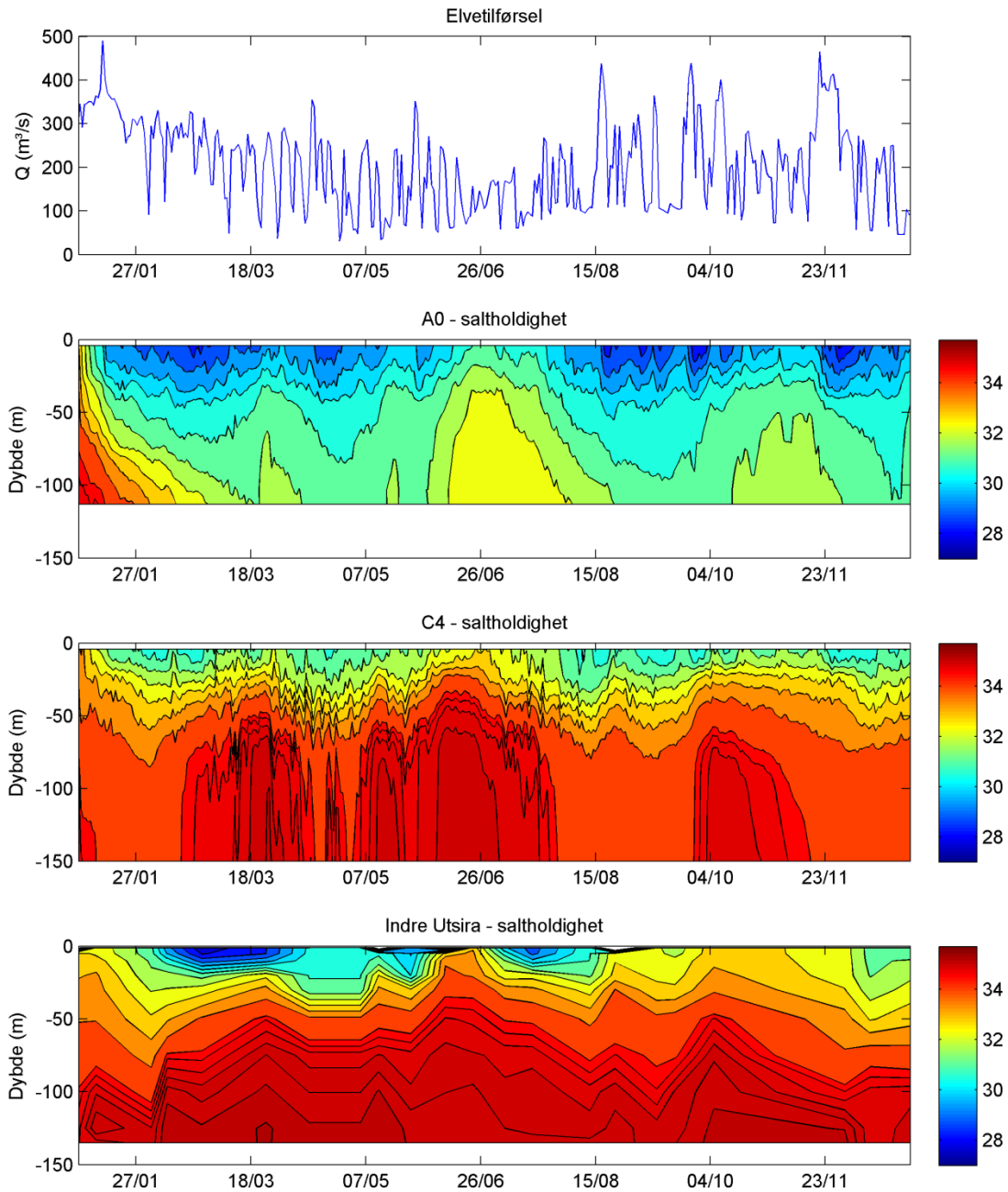
Data fra 2009 er benyttet som inngangsdata til modellen. Vannstanden vist i **Figur 4** er lagt inn på den åpne randen i sør, vannføringen vist i **Figur 6** tilføres innerst i modellområdet og vindforholdene vist i **Figur 7** påvirker den øverste beregningscella i hver gridrute. I tillegg til dette legges det inn målte verdier av saltholdighet og temperatur på modellens åpne grense mot Nedstrandsfjorden. Det ble benyttet data fra stasjonen Indre Utsira, som vi har sett er ganske lik det som er målt ved stasjonen i Nedstrandsfjorden (**Figur 5**).

Figur 16 illustrerer hvordan strømmodellen fungerer. Saltholdigheten ved en stasjon ganske langt inne i fjorden (A0) og ved en stasjon på utsiden av terskelen (C4) er vist sammen med ferskvannstilførsel og saltholdigheten på den åpne grensen. Det er tydelig at saltholdigheten i overflata på stasjon A0 er påvirket av ferskvannstilførselen. Når det kommer mye ferskvann til fjorden, så minker saltholdigheten i overflata. Saltholdigheten på stasjon C4 utenfor terskelen i modellen, gjenspeiler det som legges inn på randen. Det ferske vannet som vi ser helt i overflata på randen, kommer ikke inn til stasjon C4, siden det hovedsakelig strømmer utover i overflatelaget.

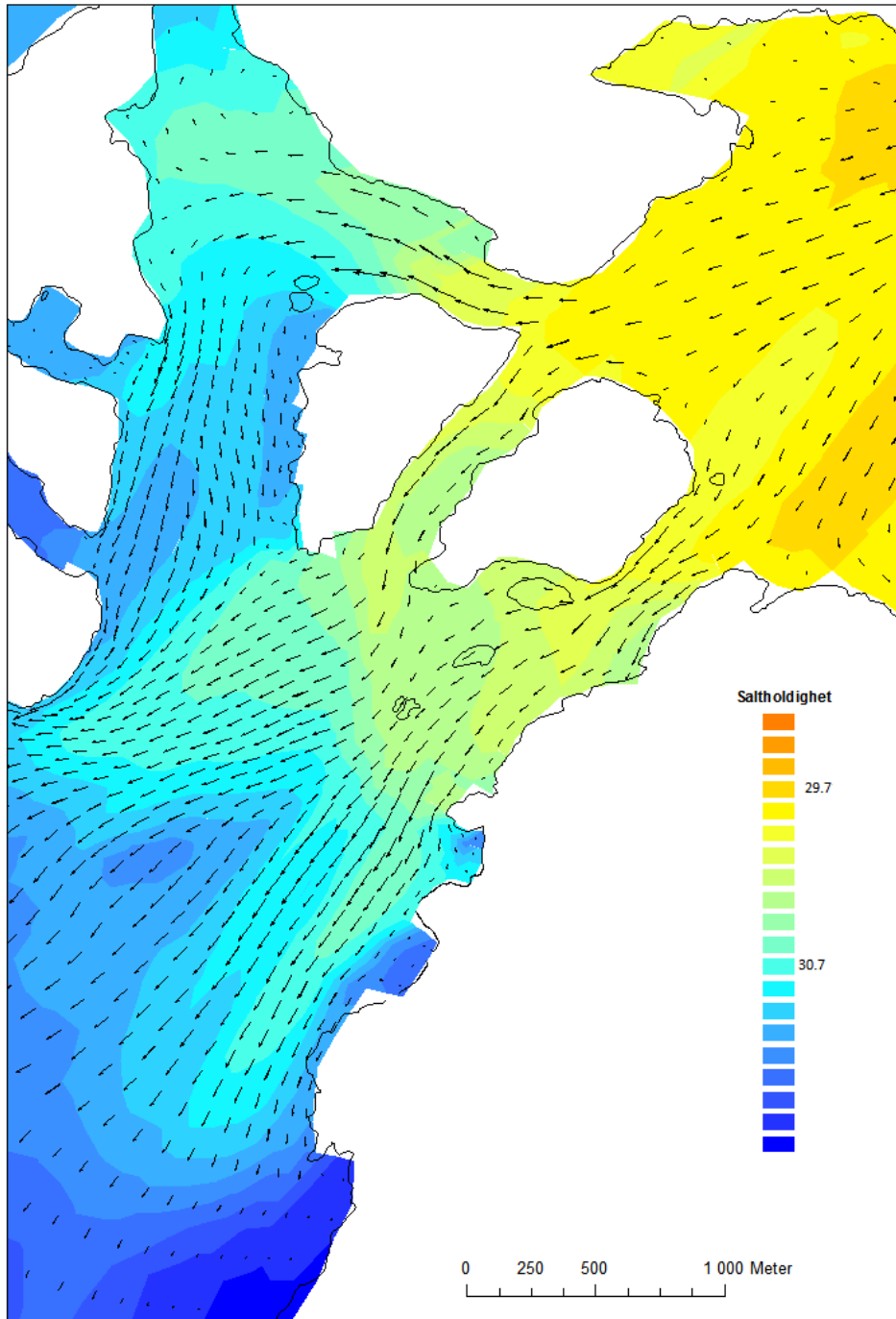
Figur 17 viser et typisk strømbilde i overflata utenfor Norsk Stein sitt anlegg. Fargeskalaen angir saltholdigheten i overflata. Fronten mellom ferskere og saltere vann befinner seg ofte i dette området (se for eksempel (Aure & Rey, 1992)).



Figur 15. Sandsfjorden ble delt inn i beregningsceller av ulik størrelse. Nær dumpestedet var cellenes horisontale størrelse ca. 50 m x 50 m. I dybderetningen var cellenes utstrekning konstant lik 10 meter. Modellens åpne rand er markert med en rød strek. Tre stasjoner fra modellen er vist som røde prikker.



Figur 16. Saltholdigheten på to stasjoner i modellen (A0 og C4) i forhold til indre drivkrefter, vannføringen til fjorden (øverst), og ytre drivkrefter, sjiktningen i kyststrømmen (nederst).



Figur 17. Saltholdighet og strøm i overflata basert på modellen. Pilene angir strømmen og fargeskalaen angir saltholdigheten.

4.3 Validering av strømmodellen

Siden målingene i fjorden ble foretatt i 2013, mens modellen er basert på data fra 2009, har vi ikke mulighet til å se om modellen stemmer med virkeligheten i et gitt tidspunkt. Men vi har mulighet til å se på om statistikken til modellerte strømstyrker og strømretninger stemmer overens med målingene. Slike statistiske størrelser er vist for modelldata og observasjoner i

Figur 18.

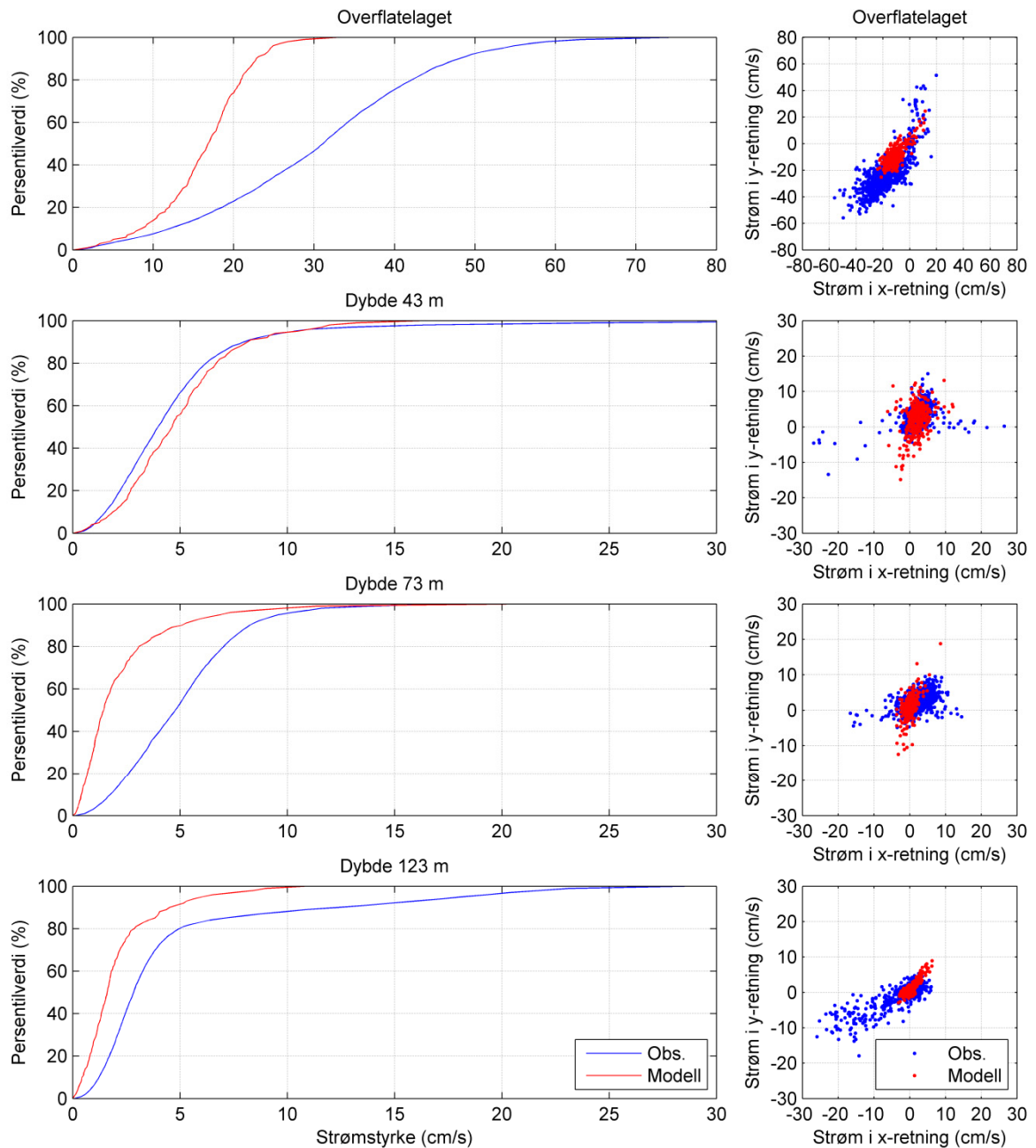
I venstre kolonne vises kumulativ fordeling av strømstyrke. På x-aksen vises strømstyrke, og verdien på y-aksen viser hvor mange prosent av observasjonene/beregningene som befinner seg under denne verdien. Medianverdien til strømstyrken er det samme som 50 persentilen, hvor halvparten av observasjonene/beregningene er under denne verdien. Den blå kurven er observasjonene og den røde er modellberegningene. Det er vist verdier fra overflaten på stasjon C2, og i 43, 73 og 123 meters dyp på stasjon C4. I høyre kolonne har vi plottet inn strømstyrken i øst-vest retning på x-aksen og i nord-sør retning på y-aksen. Dette gir et bilde av både strømstyrke og retning. En prikk som for eksempel har verdien 10 på x-aksen og 10 på y-aksen, har kursen 45°.

I overflata har observert og beregnet strøm samme hovedretning, nemlig ut av fjorden. Det forekommer episoder med innstrømning i overflata i både målingene og beregningene. Den beregnede strømstyrken i overflata er omtrent halvparten av den observerte. Årsaken til dette kan være at modellens øverste lag er for tykt (0-10 m) og ikke representerer målt strøm 1.5 m. Effekten av at modellen underestimerer strømstyrken, er at fortynningen av et utslipp i overflata blir lavere, men at spredningen får for liten utstrekning.

I 43 m dyp er den bergende strømmen veldig lik den observerte. Det er hovedsakelig innstrømning i dette dypet.

I 73 m dyp er det også innstrømning i både beregningene og i observasjonene, men her er igjen den beregnede strømstyrken for lav. Effekten av dette blir igjen at fortynningen til en partikkelsky i dette dypet blir for liten og utstrekningen til spredningen for lav.

I 123 m dyp er observasjonene preget av episoden med kraftig utstrømning. Dette er ikke fanget opp i modellen. Tas denne episoden ut av observasjonsdataene, så stemmer den beregnede strømstyrken bra med observasjonene.



Figur 18. Validering av strømmodellen. I venstre kolonne vises kumulativ fordeling av strømstyrke. På x-aksen vises strømstyrke, og verdien på y-aksen viser hvor mange prosent av observasjonene/beregningene som befinner seg under denne verdien. Den blå kurven er observasjonene og den røde er modellberegningene. Det er vist verdier fra overflaten på stasjon C2, og i 43, 73 og 123 meters dyp på stasjon C4. I høyre kolonne viser strømstyrken i øst-vest retning på x-aksen og i nord-sør retning på y-aksen.

4.4 Modellering av partikkelspredning

I følge kurver som viser partikkelstørrelsesfordeling fra Norsk Stein er omtrent 35 % av finmaterialet (0-2 mm) mindre enn 300 μm (Weidelborg, 2009). Partikler større enn dette vil ha en synkehastighet på 5-6 cm/s. Dette er den størrelsesorden som horisontal strøm vil kunne ha i Kvednavika. Det betyr at disse partiklene som er større enn 300 μm vil fraktes like fort nedover som bortover, og de vil for eksempel nå bunn innen 50 m hvis det er 50 m dypt. Disse massene blir altså værende i Kvednavika.

Norsk Stein har tillatelse til å slippe ut 150000 tonn med finmateriale per år. 35 % av dette gir et gjennomsnittlig utslipp på 144 tonn per dag eller 1.7 kg/s. Dette utslippet ble lagt inn i modellen fordelt på ni klasser av partikler med forskjellig kornstørrelse. Fordelingen som er basert på kornfordelingskurven i **Figur 19** er vist i **Tabell 1**.

Siden dumping av materialer foregår med lastebiler og i løpet av arbeidstiden, vil det i virkeligheten ikke være et jevnt utslipp slik som det som er lagt inn i modellen. I perioder vil det være betydelig mer, og i andre perioder betydelig mindre. Resultatene fra modellen blir sammenlignet med målinger av turbiditet i fjorden, og de ble multiplisert med en kalibreringsfaktor for at de skulle stemme med observasjonene. Hvis målingene på tvers av fjorden fra 11. mars skal brukes til dette formålet, kommer vi fram til en kalibreringsfaktor på omtrent 5. For at modellresultatene skal gi tilsvarende høye verdier i dypet på stasjon A2, må også en kalibreringsfaktor på 5 benyttes. For å få modellen til å stemme med resten av observasjonene, kan en betydelig lavere kalibreringsfaktor benyttes.

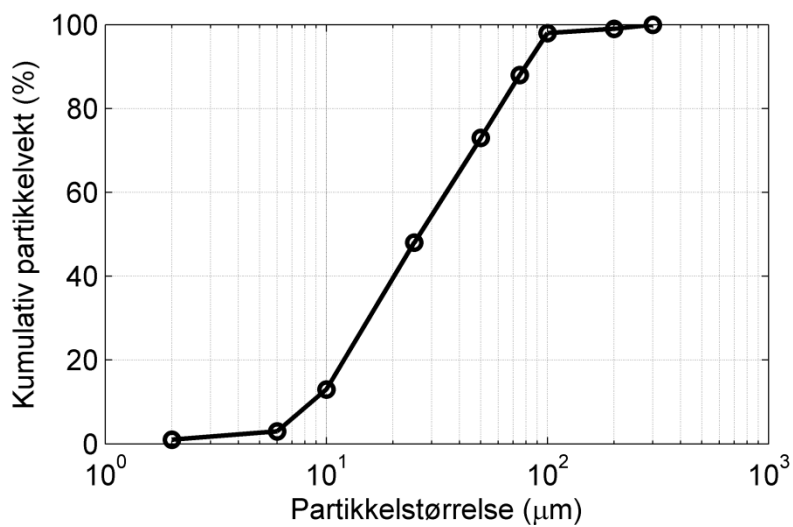
Siden utslippene er uregelmessig, vil også partikkelkonsentrasjonen i fjorden på et gitt sted variere i forhold til dette. På hver av figurene **Figur 20** til **Figur 22**, er det derfor lagt inn to verdiskalaer. Den ene benytter en kalibreringsfaktor på 1.7 og gir en nedre grense for konsentrasjonene. Den andre benytter en kalibreringsfaktor på 5 og gir en øvre grense for konsentrasjonene. For å få mer nøyaktig resultater på partikkelkonsentrasjonene i fjorden, kreves det mer nøyaktig kjennskap til hva som slippes ut til enhver tid fra Norsk Stein i Kvednavika.

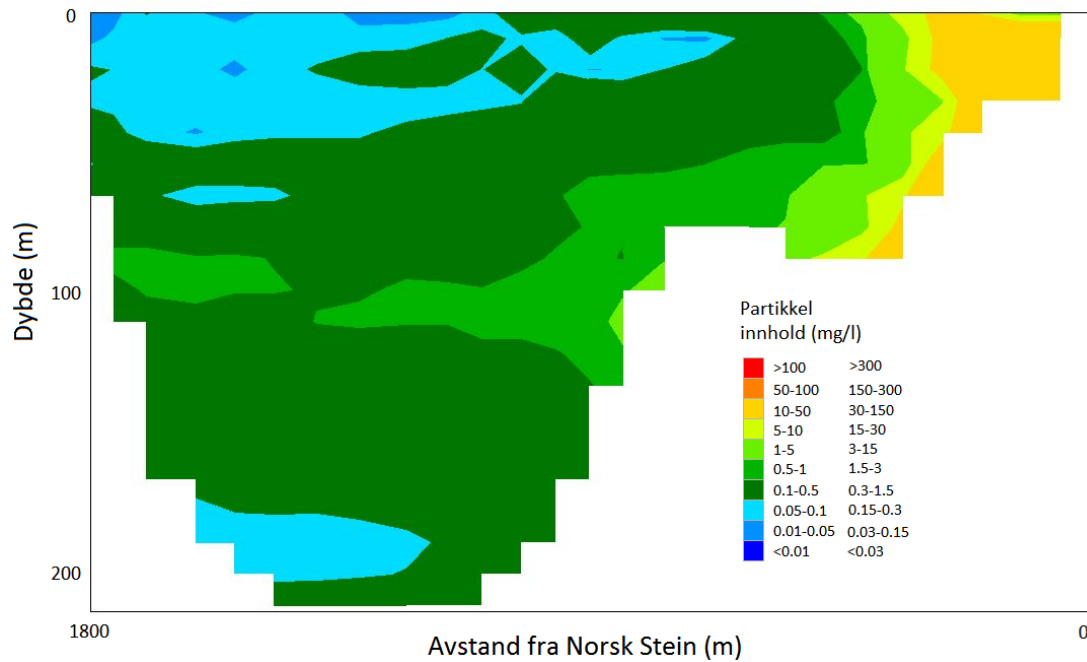
Figur 20 viser partikkelkonsentrasjoner på tvers av fjorden. En sky av partikler brer seg langs bunn fra Kvednavika om omtrent 900 m fra utslippet, hvor skya forlater bunn i 100-150 m dyp. Skya brer seg videre utover i dette dypet. Disse observasjonene stemmer bra med målinger av turbiditet på tvers av fjorden 11. mars 2013 (**Figur 11**). Modellen viser at konsentrasjonen i Kvednavika og helt ned til bunn på stasjon C1 kan komme opp i 150 mg/l. Så høye konsentrasjoner er et resultat av kalibreringsfaktoren som må benyttes og har ikke blitt observert, men det er ikke usannsynlig at svært høye partikkelkonsentrasjoner vil forekomme i dypet på stasjon C1. Konsentrasjon av partikler med forskjellige kornstørrelser er vist i vedlegg 3. Det hovedsakelig partikler med kornstørrelse mindre enn 50 μm som forlater Kvednavika, og det er partikler med kornstørrelse 10 μm som spres lengst avgårde i modellen.

Figur 21 viser tydelig at partiklene som ventet spres utover i overflata (0-25 m), og innover mellom omtrent 25 m og terskeldypet på 100 m. Partiklene brer seg videre ned i dypet innenfor terskelen. **Figur 22** viser at kan sees spor av utslippet på bunn av fjorden 10 km på innsiden av terskelen (mørkegrønn farge i figuren), men konsentrasjonen er da på maksimalt 1.5 mg/l hvis en kalibreringsfaktor på 5 benyttes.

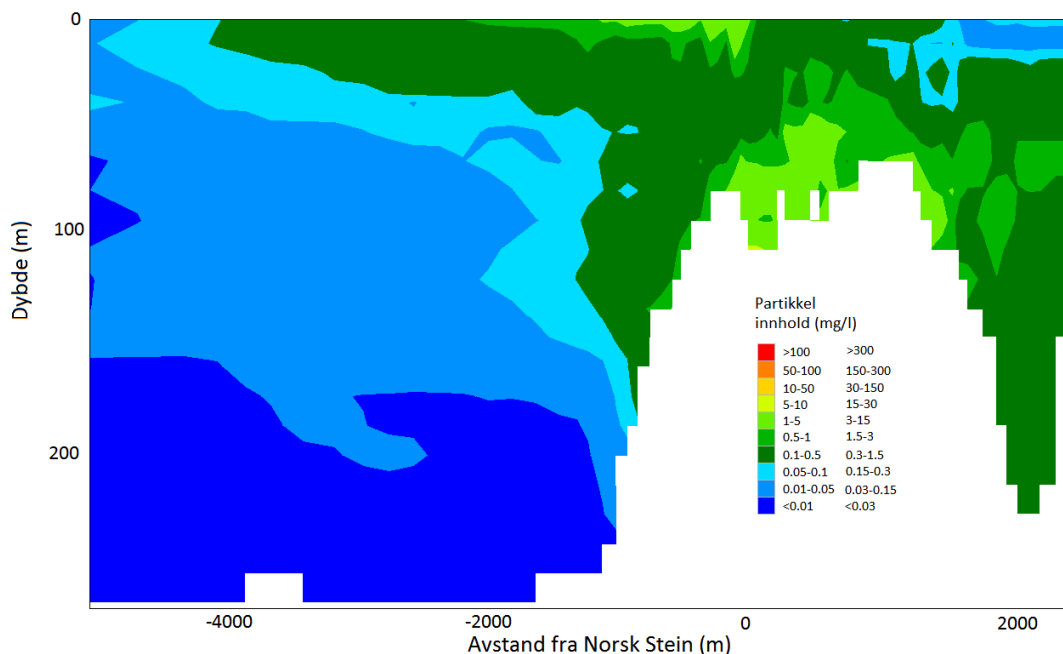
Tabell 1. Utslipp av partikler som er lagt inn i modellen.

Kornstørrelse (μm)	Utslipp (g/s)
2	16.8
6	33.6
10	166.8
25	583.2
50	416.4
75	250.2
100	166.8
200	16.8
300	16.8
Totalt	1667.4

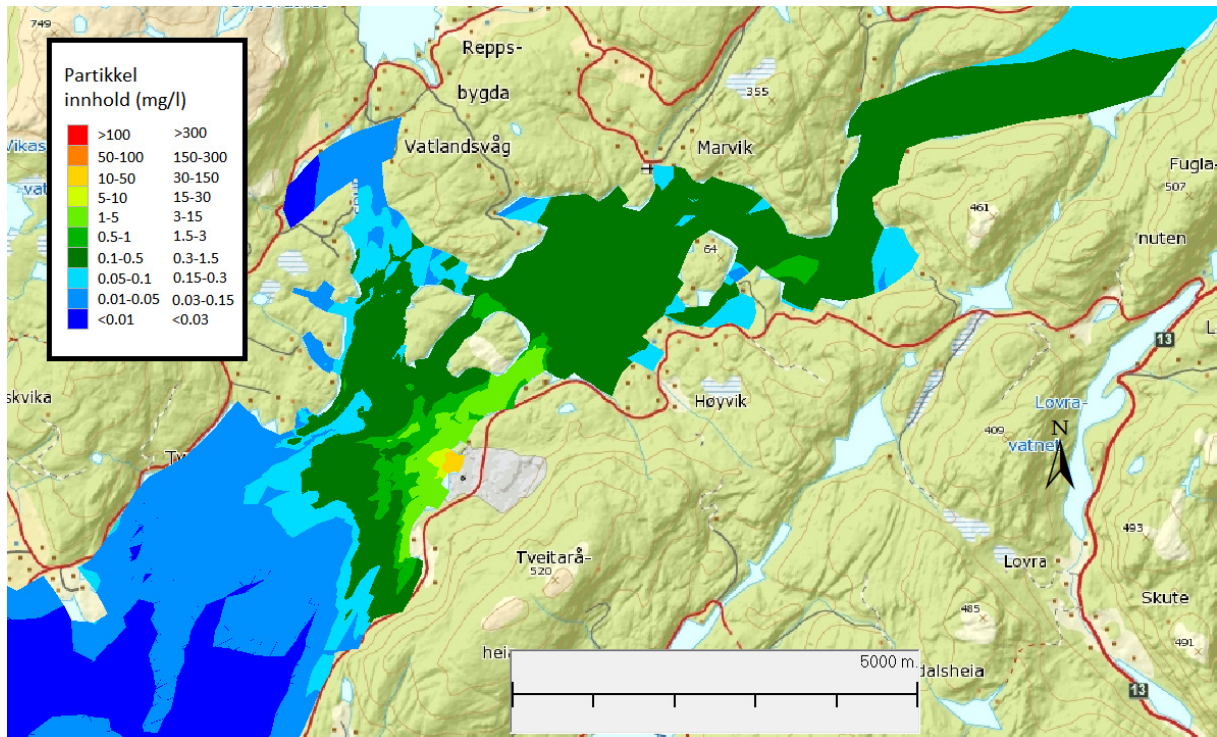
**Figur 19.** Kornfordelingskurve som er lagt inn i modellen.



Figur 20. Beregnet konsentrasjon av partikler på tvers av fjorden. Fargeskalaen angir partikkelkonsentrasjon i mg/l. Det er benyttet to forskjellige kalibreringsfaktorer som gir to verdiskalaer. Den ene benytter en kalibreringsfaktor på 1.7 (venstre skala) og gir en nedre grense for konsentrasjonene. Den andre benytter en kalibreringsfaktor på 5 (høyre skala) og gir en øvre grense for konsentrasjonene.



Figur 21. Partikkelkonsentrasjon i Straumbersundet. Fargeskalaen angir partikkelkonsentrasjon i mg/l. Det er benyttet to forskjellige kalibreringsfaktorer som gir to verdiskalaer. Den ene benytter en kalibreringsfaktor på 1.7 (venstre skala) og gir en nedre grense for konsentrasjonene. Den andre benytter en kalibreringsfaktor på 5 (høyre skala) og gir en øvre grense for konsentrasjonene.

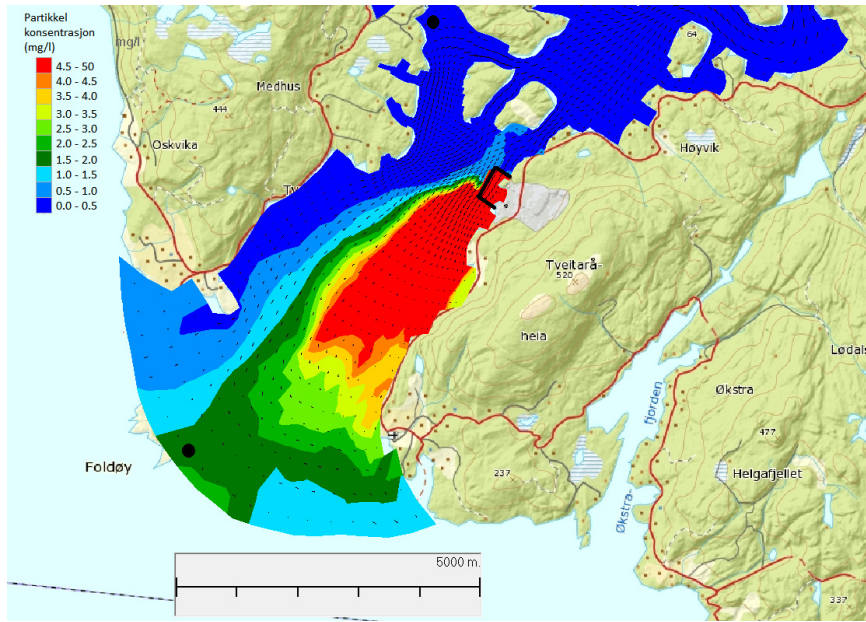


Figur 22. Det maksimale partikkelinnhold langs bunn. Fargeskalaen angir partikkelkonsentrasjon i mg/l. Den ene benytter en kalibreringsfaktor på 1.7 (venstre skala) og gir en nedre grense for konsentrasjonene. Den andre benytter en kalibreringsfaktor på 5 (høyre skala) og gir en øvre grense for konsentrasjonene.

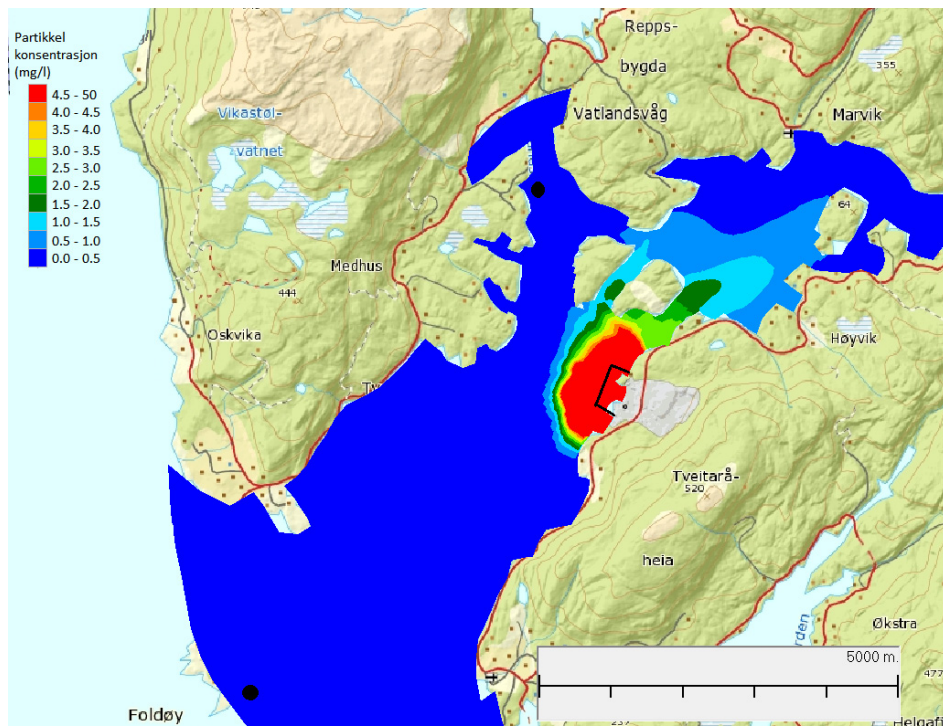
4.5 Spredning i overflata

For å anslå hvor store konsentrasjoner som kan opptre ved de to oppdrettsanleggene vist i **Figur 2**, satt vi opp et verst tenkelig scenario i GEMSS modellen. For det første ser vi på spredning av et passivt sporstoff, som ikke har noen utsynkning av partikler. Det er observert at vannet i overflata utenfor Kvednavika har høyt partikkelinnhold etter mye nedbør, noe som henger sammen med at finmateriale fra anleggsområdet føres med regnvannet. I tillegg er det observert at siltgardina har liten effekt i spesielt ugunstige vindforhold hvor det settes opp en sirkulasjon i Kvednavika. Vi tenker oss at det i en periode har vært både høy nedbør og at siltgardina ikke har hatt noen effekt, og at resultatet av dette er at alt vann fra litt nord for nordre kai til litt sør for søndre kai og ut til stasjon C1 har fått partikkelkonsentrasjonen 100 mg/l. Videre har vi valgt ut en periode hvor det strømmer innover i overflata og en hvor det strømmer utover. Resultatet viser at konsentrasjonen ved oppdrettsanlegget Austbø (omtrent 6.5 km fra Kvernarvika) maksimalt blir 2 mg/l, mens det ikke kommer noen partikler til Vintravika (omtrent 3.5 km fra Kvernarvika).

Det vil således ikke være noen fare for at fisken i anlegget på Vintravika blir påvirket av Norsk Stein sin virksomhet. Det er heller ikke sannsynlig at fisken ved anlegget på Austbø blir påvirket, men modelleringen viser at partikkelskya vil bevege seg denne veien. Det må påpekes at det er lagt inn svært høye konsentrasjoner i overflatelaget i dette scenarioet. I turbiditetsmålingene fra 1.5 m dyp på stasjon C1, ble det ikke observert høyere verdier enn 4.2 mg/l.



Figur 23. Konsentrasjon av partikler i overflata når det strømmer utover i overflata. Startkonsentrasjonen innenfor den svarte firkanten ved Kverndalsvika var 50 mg/l.



Figur 24. Konsentrasjon av partikler i overflata når det strømmer innover i overflata. Startkonsentrasjonen innenfor den svarte firkanten ved Kverndalsvika var 50 mg/l.

5. Bunnforholdene

5.1 Bløtbunnsfauna

Bløtbunnsfauna karakteriseres ved total antall arter, total antall individer og artssammensetning. På grunnlag av artslistene ble det beregnet indekser for artsmangfold og ømfintlighet. Følgende indekser ble benyttet:

- artsmangfold ved Shannon-Wiener indeksen H' (\log_2) og Hurlberts diversitetsindeks ES_{100} (forventet antall arter per 100 individer)
- ømfintlighet ved indeksen ISI
- kvalitetsindeksene NQI1 og NQI2, sammensatte indekser som kombinerer både artsmangfold og ømfintlighet

Indeksverdiene ble beregnet for hver grabbprøve og videre ble stasjonens middelverdi beregnet og brukt til tilstandsklassifisering. Klassifiseringssystemet opererer med fem tilstandsklasser som spenner fra svært god (klasse I) til svært dårlig (klasse V) (**Tabell 2**). Klassifiseringen ble utført i henhold til veileder 01:2009 (Klassifisering av miljøtilstand i vann). Det anbefales i veilederen å vektlegge NQI1 (Norwegian Quality Index) siden denne er interkalibrert mellom flest land. Klassegrensene for alle indeksene er gitt i **Tabell 2**.

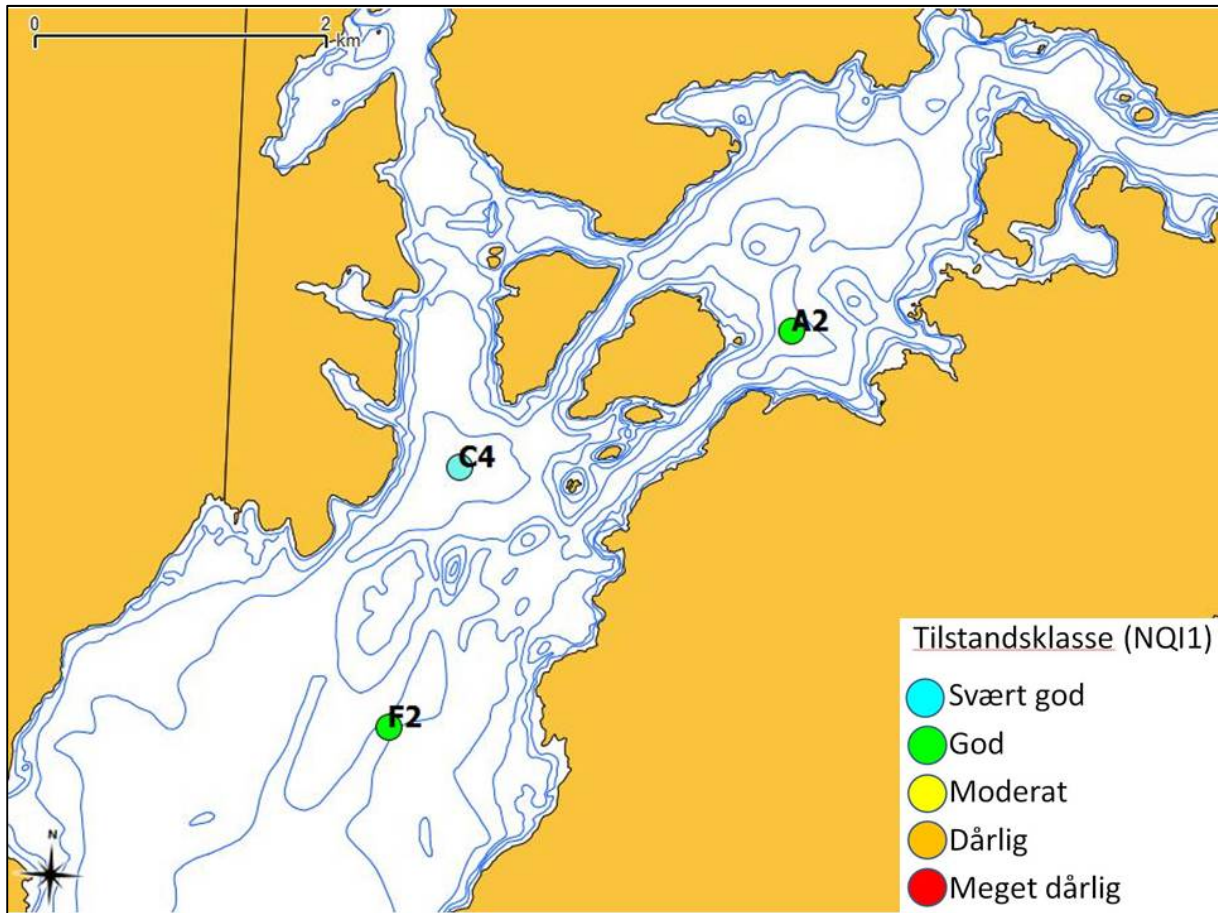
Tabell 2 Oversikt over klassegrenser og referansetilstand for de ulike indeksene som benyttes for klassifisering av økologisk tilstand på grunnlag av bløtbunnsfauna (fra veileder 01:2009).

Indeks	Type indeks	Økologiske tilstandsklasser basert på bløtbunnsfauna					Referanseverdi
		V Svært dårlig	IV Dårlig	III Moderat	II God	I Svært god	
NQI1	Sammensatt	<0,31	0,31-0,49	0,49-0,63	0,63-0,72	>0,72	0,78
NQI2	Sammensatt	<0,20	0,20-0,38	0,38-0,54	0,54-0,65	>0,65	0,73
H'	Artsmangfold	<0,9	0,9-1,9	1,9-3,0	3,0-3,8	>3,8	4,4
ES_{100}	Artsmangfold	<5	5-10	10-17	17-25	>25	32
ISI	Ømfintlighet	<4,2	4,2-6,1	6,1-7,5	7,5-8,4	>8,4	9

I **Tabell 3** er det gitt en oversikt over antall arter, individtettheter og beregnede indeksverdier for stasjonene, og **Figur 25** viser et oversiktskart med stasjoner og tilstandsklasse for NQI1. Alle de tre stasjonene var meget artsrike og hadde høy artsdiversitet. Stasjon A2 og F2 hadde god økologisk tilstand (klasse II) og C4 hadde svært god økologisk tilstand (klasse I) iht. NQI1. De øvrige indeksene viser svært god tilstand (klasse I) også for A2 og F2. Blant de mest tallrike artene er det på alle stasjonene en overvekt av flerbørstemark og muslinger, og flere av artene regnes som tolerante for forurensning, f.eks. flerbørstemarkene *Aphelochaeta* sp., *Chaetozone* sp., *Caulleriella killariensis* og *Paramphinome jeffreysii* (**Tabell 4**). Artene forekommer midlertid også under normale og gode miljøforhold og er vanlig forekommende i fjordene på vestlandet. Det høye individtallet for disse artene trekker likevel tilstandsklassifiseringen noe ned. C4 hadde flere arter av pigghuder som slangestjerner og sjømus enn de to andre (se vedlegg 1). Dette er litt større, gravende arter som anses som sensitive for miljøforstyrrelse. De er viktig for et godt bunnmiljø ved at de sørger for transport og utveksling av oksygen, næringsstoffer og nedbrytningsprodukter i bunnmiljøet. Det ble ikke registrert rester av koraller i noen av bunnprøvene.

Tabell 3 Antall arter og individer per grabbprøve, og indeksene NQI1 og NQI2 (norske kvalitetsindekser); H' (\log_2) (Shannon-Wiener diversitetsindeks), ES_{100} (Hurlberts diversitetsindeks; forventet antall arter per 100 individer) og ISI (norsk ømfintlighetsindeks) per grabbprøve ($0,1 \text{ m}^2$) i Sandsfjorden i 2013. I tillegg oppgis indeksverdier for kumulerte stasjonsdata (per $0,3 \text{ m}^2$), og det totale antall arter og individer/ m^2 funnet på hver stasjon, samt indeksenes stasjonsvise middelerverdi som brukes til tilstandsklassifisering. NQI1 er vektlagt ved klassifiseringen i henhold til veileder 01:2009. Fargekoder er gitt i henhold til **Tabell 2**.

Stasjon	Arter	Individer	NQI1	NQI2	$H'(\log_2)$	ES_{100}	ISI
A2 - I	62	457	0,72	0,67	4,5	31	10,1
A2 - II	69	653	0,71	0,66	4,4	30	10,4
A2 - III	68	673	0,71	0,66	4,4	30	9,8
Sum stasjon	94	1783	0,71	0,67	4,5	30	10,2
Middelerverdi		5943/ m^2	0,71	0,66	4,4	30	10,1
C4 - I	70	632	0,77	0,74	4,7	32	10,4
C4 - II	61	528	0,76	0,72	4,5	31	10,3
C4 - III	53	440	0,74	0,71	4,5	29	10,0
Sum stasjon	93	1600	0,77	0,74	4,7	31	9,8
Middelerverdi		5333/ m^2	0,76	0,72	4,5	30	10,2
F2 - I	68	596	0,71	0,65	4,4	32	9,8
F2 - II	61	708	0,67	0,60	4,0	27	10,0
F2 - III	75	821	0,72	0,66	4,4	30	9,9
Sum stasjon	101	2125	0,70	0,65	4,4	30	10,4
Middelerverdi		7083/ m^2	0,70	0,64	4,3	29	9,9



Figur 25 Kart med stasjoner og tilstandsklasse for NQI1.

Tabell 4 De ti mest individrike artene med individtetthet (ind/0,3 m²) på A2, C4 og F2 i Sandsfjorden i 2013.

Gruppenavn	Artsnavn	Antall individer på A2
Flerbørstemark	<i>Aphelochaeta</i> sp.	379
Flerbørstemark	<i>Spiophanes wigleyi</i>	263
Flerbørstemark	<i>Paramphinome jeffreysii</i>	171
Flerbørstemark	<i>Caulleriella killariensis</i>	128
Flerbørstemark	<i>Chaetozone</i> sp.	84
Muslinger	<i>Abra nitida</i>	68
Sipunculida (snabelorm)	<i>Onchnesoma steenstrupii steenstrupii</i>	68
Flerbørstemark	<i>Spiophanes kroyeri</i>	42
Muslinger	<i>Parvicardium minimum</i>	39
Muslinger	<i>Nucula tumidula</i>	35
Gruppenavn	Artsnavn	Antall individer på C4
Flerbørstemark	<i>Paramphinome jeffreysii</i>	471
Flerbørstemark	<i>Aphelochaeta</i> sp.	428
Flerbørstemark	<i>Chaetozone</i> sp.	203
Flerbørstemark	<i>Caulleriella killariensis</i>	109
Muslinger	<i>Thyasira equalis</i>	67
Flerbørstemark	<i>Spiophanes kroyeri</i>	64
Flerbørstemark	<i>Heteromastus filiformis</i>	57
Sipunculida (snabelorm)	<i>Onchnesoma steenstrupii steenstrupii</i>	45
Muslinger	<i>Thyasira sarsi</i>	38
Muslinger	<i>Kelliella miliaris</i>	37
Gruppenavn	Artsnavn	Antall individer på F2
Flerbørstemark	<i>Paramphinome jeffreysii</i>	235
Muslinger	<i>Kelliella miliaris</i>	197
Flerbørstemark	<i>Aphelochaeta</i> sp.	183
Muslinger	<i>Thyasira equalis</i>	112
Flerbørstemark	<i>Heteromastus filiformis</i>	108
Flerbørstemark	<i>Euclymeninae</i>	70
Flerbørstemark	<i>Amythasides macroglossus</i>	61
Muslinger	<i>Abra nitida</i>	58
Muslinger	<i>Nucula tumidula</i>	46
Slangestjerne	<i>Amphilepis norvegica</i>	40

5.2 Sediment

5.2.1 Organisk innhold

Innhold av organisk karbon (TOC) i sedimentet på stasjonene A2, C4 og F2 er gitt i **Tabell 5**. Alle tre stasjonene hadde meget lave TOC-verdier. Stasjon F2 hadde høyest innhold av TOC (fra 7,2 – 8,6 mg C/g tørrstoff), mens A2 og C4 lå på omtrent samme nivå (henholdsvis 2,2 og 2,6 mg C/g tørrstoff i gjennomsnitt). Innhold av organisk karbon ligger vanligvis på rundt 10-50 mg C/g tørrstoff (1-5 %) i marine sedimenter, og disse resultatene er således i underkant av normalområdet.

Tabell 5 Innhold av total organisk karbon (TOC) fra øvre 0-1 cm av sedimentet, og kornstørrelse (finfraksjon < 63 µm) fra øvre 0-5 cm i sedimentet. TOCnorm er TOC-verdiene korrigert for andel finstoff.

Stasjon/ replikat	Korn <63µm (% t.v.)	TOC (mg C/g TS)	TOC Norm
A2 - 1	81	2,7	6,12
A2 - 2	77	1,9	6,04
A2 - 3	77	1,9	6,04
Middelverdi	78	2,2	6,1
C4 -1	65	2	8,3
C4 -2	70	2	7,4
C4 -3	70	3,8	9,2
Middelverdi	68	2,6	8,3
F2 - 1	90	8,6	10,4
F2 - 2	90	7,5	9,3
F2 - 3	90	7,2	9
Middelverdi	90	8	10

For klassifisering av tilstand etter organisk innhold i sediment benyttes SFT veileder 97:03 (Molvær m. fl. 1997). Systemet opererer med fem tilstandsklasser som spenner fra meget god (klasse I) til meget dårlig (klasse V). Innhold av TOC i sedimenter vil normalt være høyere i finkornet enn i grovt sediment, og TOC-verdiene må derfor korrigeres for sedimentets innhold av finstoff (% <63µm, dvs. leire og silt) forut for klassifisering. Dette gjøres ved at prøven standardiseres for teoretisk 100 % finstoff etter formelen:

$$\text{Normalisert TOC} = \text{målt TOC} + 18 (1-F)$$

hvor F er lik andelen finstoff.

Innhold av organisk karbon benyttes gjerne som et supplement til faunadataene, men inngår ikke i klassifiseringen av økologisk tilstand. Klassegrensene i **Tabell 6** oppgis for å gi et inntrykk av graden av organisk belastning.

Alle tre stasjonene hadde svært god tilstand (klasse I) for organisk innhold i sediment, området er altså ikke preget av organisk belastning. Tvert om kan det meget lave innholdet av TOC i sedimentet indikere en viss nedslamming med mineralske partikler.

Tabell 6. Klassifisering av tilstand for organisk innhold i sediment. Karbonverdiene er korrigert for innhold av finstoff forut for klassifiseringen (Molvær m. fl. 1997).

Parameter	Klassifisering av tilstand for organisk innhold i sediment				
	V Meget dårlig	IV Dårlig	III Mindre god (moderat)	II God	I Meget god
Organisk karbon (mg/g)	<41	34-41	27-34	20-27	<20

5.2.2 Kornfordeling

Analyse av kornfordeling ble utført iht. ISO 16665, dvs. en omfattende analyse av alle fraksjoner (andel som % tørrvekt). Analysen ble utført akkreditert ved metoden «falling drop» (fraksjonene <0,075 mm) og våtsikting (fraksjonene >0,075 mm) ved Norges Geotekniske Institutt (NGI) løsmasselaboratorium (iht. NS 8005:1990 og NS-EN ISO/IEC 17025). Resultatet framkom som kornfordelingskurver, hvorav de ulike fraksjonene ble avlest (**Tabell 7**). A2 var den eneste stasjonen med innslag av medium og grov sand i sedimentprøven, og hadde totalt 20 % sand. F2 hadde høyest innhold av finstoff (leire og silt), og kun 10 % sand (kun fin sand). C4 hadde lavest innhold finstoff, og nesten 30 % sand (både fin og medium). Det var god overensstemmelse mellom NIVAs og NGIs bestemmelse av finfraksjon (**Tabell 5** og **Tabell 7**).

Tabell 7 Analyseresultater kornfordeling. Sedimentets innhold av de forskjellige kornstørrelseskategoriene er oppgitt som kumulative prosent.

Stasjon	Leire (< 0,002 mm)	Fin silt (< 0,006 mm)	Medium silt (< 0,02 mm)	Grov Silt (< 0,063 mm)	Fin sand (< 0,2 mm)	Medium sand (< 0,6 mm)	Grov sand (< 2,0 mm)
A2	12,5	35	57	81	94	98	100
C4	12,3	32	50	72	96	100	
F2	16	32,5	60	90	100		

6. Sammenfattende vurderinger

6.1 Sirkulasjon og strømforhold

Norsk Stein AS er i utslippstillatelsen pålagt å kartlegge strømforholdene i resipienten (Fylkesmannen i Rogaland, 2012). Det heter seg at strømmålingene skal vise strømmen i de ulike vannlag og i flere posisjoner. Målingene presentert i denne rapporten viser to forskjellige strømbilder. Mesteparten av tiden strømmer det ut i forholdsvis tynt overflatelaget/brakkvannslaget, og inn i et lag som ligger under dette, men over terskeldypet (ca. 40–100 m) (**Figur 8**). I kortere perioder snur dette mønsteret, og det strømmer inn i et tykt overflatelag, og ut i dypet. Varigheten av episoden observert i februar 2013 var fem dager, og tykkelsen på det innstrømmende laget var da muligens 40 meter, og det utstrømmende vannet dykket ned under terskeldypet. Tidligere undersøkelser viser tilsvarende variasjonsmønster i strømforholdene. Årsakene til at strømforholdene skifter på denne måten er ikke fullstendig klarlagt, men det er tydelig at det er endringer i ferskvannstilførsel og i sjiktningen til vannmassene på utsiden av fjordsystemet som er viktigst. Tidevannet har liten betydning, mens vindforholdene kun påvirker strømmen i de øverste meterne i kortere perioder.

6.2 Partikkelspredning

Det ble ved en anledning observert en sky av partikler som først bredde seg langs bunnen på tvers av fjorden i nordvestlig retning vekk fra Kvednavika, for deretter å spre seg videre i 100-150 meters dyp. Det ble målt turbiditet på over 9 mg/l omtrent 800 m fra utslippet, og på over 6 omtrent 1000 m fra utslippet. Dette ble observert rett etter at dumping av masser i Kvednavika hadde blitt utført (innen en time), og vi tolker observasjonen som et resultat av spredningen av den første partikkelskyen som dannes som et resultat av utslippet.

Hvis en slik sky opptrer samtidig som det ble observert kraftig utstrømning i dette laget, noe som er et meget sannsynlig scenario, vil partiklene fraktes raskt ut av fjorden. I et slikt tilfelle ville fortykningen vært større, og partikkelkonsentrasjonen ville raskt blitt lav. Målinger på stasjon C4 viser at turbiditeten i partikkelskya var under 2 mg/l omtrent 1400 m fra utslippet.

Det ble ikke observert høye partikkelkonsentrasjoner i Straumbergundet, siden det ikke ble gjort noen observasjoner her rett etter at dumping hatt foregått. Med tanke på de observerte strømforholdene, med vedvarende innstrømning over terskeldypet, så er det sannsynlig at turbiditetsverdier tilsvarende de som ble observert på stasjon C2b den 11. mars 2013, med verdier opp mot 10 mg/l, også vil forekomme her. Resultatene av partikkeltransport gjennom Straumbergundet, kan sees som forhøyede turbiditetsverdier innenfor tersklene, med verdier opp mot eller over 2 mg/l under 100 m.

Modellering av partikkelspredning viser at partiklene brer seg utover i overflata (0-25m) og innover over i laget (25-100 m). Konsentrasjonen kan komme opp i 30 mg/l i Straumbergundet hvis man benytter en kalibreringsfaktor i modellen på 5, og spor av partikler vil da kunne sees på bunn opp til 10 km innenfor terskelen, men konsentrasjonen vil da maksimalt være 1.5 mg/l.

6.3 Mulige effekter på bunnfauna

De tre stasjonene som ble undersøkt hadde meget artsrik bløtbunnsfauna og høy artsdiversitet. Den økologiske tilstanden var svært god (klasse 1) på C4 og god (klasse 2) på A2 og F2 (iht. NQI1). Vannforskriftens krav om at alle naturlige vannforekomster skal ha minst god økologisk tilstand er således tilfredsstillt. Det meget lave innholdet av organisk karbon i sedimentet kan indikere at sjøbunnen i området er nedslammet av mineralske partikler. Tidligere undersøkelser på stasjoner plassert i området mellom stasjon E2 og B2 (se **Figur 2**) hadde også lavt innhold av organisk karbon (Ledje, 2007). Imidlertid ser det ikke ut til at dette har hatt noen negativ effekt på bløtbunnsfaunaen på stasjonene F2, C4 og A2 så langt.

Statnett fant i forbindelse med kartlegging av sjøbunnen, koraller i Midsundet (se for eksempel <http://www.nrk.no/nyheter/distrikt/rogaland/ryfylke/1.8328367>). Slike koraller er også funnet i Trondheimsfjorden (Strømgren, 1971, Brooke og Järnegren, 2013), og da var det snakk om arten *Lophelia pertusa*. Brooke et al. (2009) gjorde eksperimenter ved å utsette denne arten for grader av sedimentering i en tank. Korallene ble utsatt for følgende partikkelkonsentrasjoner i 14 dager: 0, 54, 103, 245 og 362 mg/l. Overlevelsen var 84-90 % når korallene ble utsatt for partikkelkonsentrasjonen 54 mg/l i 14 dager. Det er ikke kjent hvor grensa nøyaktig går for når overlevelsen til korallene blir redusert på grunn av partikkelinnhold. Hvis man skulle interpolere overlevelsen lineært utfra disse opplysningene, burde overlevelsen for korallene være omtrent 97 % når de blir utsatt for partikkelkonsentrasjoner på 10 mg/l i 14 dager. Men (Brooke, Holmes, & Young, 2009) fant også at overlevelsesprosenten ikke var en lineær funksjon av partikkelkonsentrasjonen. De fant at overlevelsen mer hadde form av en trappetrinnskurve, hvor det er visse terskelverdier hvor overlevelsesprosenten plutselig reduseres når denne verdien overskrides.

Det er sannsynlig at høye turbiditetsverdier (opp mot 30 mg/l) vil forekomme i Straumbergsundet men ikke i Midsundet. Varigheten vil være betydelig kortere enn 14 dager, antageligvis i størrelsesorden noen timer. Ut i fra dette så antar vi at overlevelsen til eventuelle koraller i Straumbergsundet ikke vil bli påvirket av utslippet fra Norsk Stein, men datagrunnlaget for denne antagelsen er lite. Vi foreslår derfor at turbiditeten nær bunn i Straumbergsundet overvåkes kontinuerlig ved å plassere ut turbiditetsmålere, for å få sikre data på hvilke partikkelkonsentrasjoner som kan opptre her og varigheten til disse verdiene.

6.4 Mulige effekter på fisk

Smolt vandrer ut i løpet av april-mai, og topper i utvandring forekommer samtidig med topper i vannføring (Saltveit, 2004). Det er derfor ikke urimelig å anta at det vil være et typisk sirkulasjonsmønster, med utstrømning i overflata og en kompensasjonsstrøm under dette, i perioder hvor smolten passerer utenfor Norsk Stein sitt anlegg. I slike tilfeller er det sannsynlig at skyer med høyt partikkelinnhold beveger seg inn i Straumbergsundet og Midsundet i det innstrømmende laget under brakkvannslaget. Overflatelaget i disse to sundene vil ikke være påvirket av Norsk Stein sitt utslipp i slike tilfeller, siden det strømmer ut i dette laget.

Konsentrasjon av uorganiske partikler med konsentrasjon mindre enn 50 mg/l kan føre til massiv fiskedød i oppdrettsanlegg, hvis partiklene er spisse og nålformede (Jacobsen, Grande, Aanes, Kristiansen, & Andersen, 1987). Konsentrasjon av runde partikler med konsentrasjon opp mot 200 mg/l kan på den annen side ha liten effekt på fisk (Grande, Andersen, Bjerknes, & Kvellestad, 1995). Ved Norsk Stein sitt anlegg så utvinnes produktene fra en bergart (granodioritt) bestående av mineralene kvarts og feltspat, som vil danne spisse partikler når det knuses, men de vil ikke være utpreget nåleformede.

For å anslå hvor store konsentrasjoner som kan opptre ved de to oppdrettsanleggene vist i **Figur 2**, satt vi opp et verst tenkelig scenario i GEMSS modellen. Resultatet viser at konsentrasjonen ved oppdrettsanlegget Austbø maksimalt blir 2 mg/l, mens det ikke kommer noen partikler til Vintravika.

Det vil således ikke være noen fare for at fisken i anlegget på Vintravika blir påvirket av Norsk Stein sin virksomhet. Det er heller ikke sannsynlig at fisken ved anlegget på Austbø blir påvirket, men modelleringen viser at partikkelskya vil bevege seg denne veien. Vi foreslår at det i overvåkningsprogrammet plasseres en turbiditetsmåler i overflata litt sør for utslippet, for å overvåke hvor store konsentrasjoner som faktisk vil opptre her.

6.5 Mulige effekter på plankton

Mackas & Anderson (1986) studerte sammensetning av dyreplankton ved AMAX/Kitsault gruven i et fjordsystem i Canada med lignende sirkulasjonsmønster som i Sandsfjordsystemet, men med utslippet plassert innenfor en relativ grunn terskel som reduserer vannutskiftningen. I dette tilfellet hadde det blitt sluppet ut 4.1 millioner tonn med partikler over 17 måneder gjennom et rør med utslippsdyp på 50 m. Partiklene var ikke direkte giftige for fisk, og det dannet seg en sky i dybdeintervallet 65-125 m. Partikkelkonsentrasjonen var 10-20 mg/l nær utslippet og var redusert til 2-5 mg/l 5 km fra utslippet. Dette utslippet er derfor et eksempel som kan sammenlignes med Norsk Stein sitt utslipp, men med mindre vannutskiftning. De fant at planktonsammensetningen var noe annerledes nær utslippet, men det var ikke andre arter i dette området sammenlignet med resten av fjorden, kun en forskyvning av relativ forekomst av de ulike artene. Det må påpekes at dette var en molybdengruve, slik at eventuelle økologiske effekter også kan skyldes kjemiske forhold og ikke selve turbiditeten.

Ved veldig høye partikkelkonsentrasjoner er det vist at dyreplankton får i seg partikler, men dette fører ikke til redusert overlevelse før ved konsentrasjoner over 560 mg/l (Anderson & Mackas, 1986).

7. Referanser

- Anderson, E. P. og Mackas, D. L. (1986). Lethal and sublethal effects of a molybdenum mine tailing on marine zooplankton: mortality, respiration, feeding and swimming behavior in *Calanus marshallae*, *Metridia pacifica* and *Euphausia pacifica*. *Marine Environmental Research*, 19, 131-155.
- Aure, J. og Rey, F. (1992). Oceanographic conditions in the Sandsfjord system, Western Norway, after a bloom of the toxic prymnesiophyte *Prymnesium Parvum carter* in August 1990. *Sarsia*, 76, 247-254.
- Brooke, S. D., Holmes, M. W. og Young, C. M. (2009). Sediment tolerance of two different morphotypes of the deep-sea coral *Lophelia pertusa* from the gulf of Mexico. *Marine Ecol Prog Ser*, 390, 137-144.
- Brooke, S. og Järnegren, J. (2013). Reproductive periodicity of the scleractinian coral *Lophelia pertusa* from the Trondheim Fjord, Norway. *Mar Biol*, 160, 139-153.
- Fylkesmannen i Rogaland. (2012). Norsk Stein AS, Suldal kommune - Oversendelse av vedtak om utslippstillatelse. 2011/12543. Stavanger.
- Golmen, L. G. (1989). Straumtilhøve og vassutskifting i Sandsfjorden og Hylsfjorden i Ryfylke. *Norsk fiskeoppdrett*.
- Grande, M., Andersen, S., Bjerknes, V. og Kvellestad, A. (1995). Igangkjøring av Heiki Kraftverk. II. Eksponering av bleke for partikulært materiale fra kraftverkstunnel.
- ISO. (2005). Water quality Guidelines for quantitative sampling and sample processing of marine soft-bottom macrofauna.
- Jacobsen, P., Grande, M., Aanes, K. J., Kristiansen, H. og Andersen, S. (1987). Vurdering av årsaker til fiskedød ved G. P. Jægtvik A.S., Langstein. NIVA.
- Johnsen, B. O., Økland, F., Lamberg, A., Thorstad, E. B. og Jensen, A. J. (1996). Undersøkelser av laksens vandring i Sandsfjordsystemet og Suldalslågen i 1995 ved hjelp av radiotelemetri. Trondheim: NINA.
- Kaartvedt, S. og Svendsen, H. (1990). Impact of freshwater runoff on physical oceanography and plankton distribution in a western norwegian fjord: an experiment with a controlled discharge from a hydroelectric power plant. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 31, 381-395.
- Kaartvedt, S., og Svendsen, H. (1995). Effect of freshwater discharge, intrusion of coastal water, and bathymetry on zooplankton distribution in a Norwegian fjord system. *Journal of Plankton Research*, 17(3), 493-511.
- Ledje, U. P. (2007). Deponering av siltslam fra Norsk Steins masseuttak på Berakvam, Suldal kommune - konsekvensvurdering. Stavanger: AMBIO Miljørådgivning AS.
- Mackas, D. L. og Anderson, E. P. (1986). Small-scale zooplankton community variability in a northern British Columbia fjord system. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 22, 115-142.

- McClimans, T. (1974). Hylsfjorden, delrapport 1, kalibrering og forberedende undersøkelser på modellen. Vassdrags- og havnelaboratoriet.
- Saltveit, S. J. (2004). Smoltvandring hos laks i Suldalslågen i 2004. Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske.
- Strømgren, T. (1971). Vertical and horizontal distribution of *Lophelia pertusa* (Linné) in Trondheimsfjorden on the West Coast of Norway. Trondheim: Universitetsforlaget.
- Svendsen, H. og Golmen, L. G. (1987). Hydrographic investigations in the Sandsfjord system and adjacent an coastal area. Universitetet i Bergen.
- Weidelborg, M. (2009). Konsekvensvurdeing av deponering av knust stein på 150 - 200 m dyp på havbunnen i Berakvam, Jels i Suldal kommune. Aquateam Rapport nr. 08-033.

Vedlegg A. Artsliste

Artslister bløtbunnsfauna, Sandsfjorden 2013

STASJON	GRUPPENAVN	FAMILIENAVN	ARTSNAVN	G1	G2	G3
A2	HYDROZOA		Hydroidolina	1	1	
A2	PLATYHELMINTHES		Turbellaria	1		
A2	NEMERTEA		Nemertea	11	9	9
A2	POLYCHAETA	Amphinomidae	Paramphinome jeffreysii	45	59	67
A2	POLYCHAETA	Aphroditidae	Aphrodita aculeata	1	1	
A2	POLYCHAETA	Phyllodocidae	Sige fusigera	1	4	2
A2	POLYCHAETA	Pholoidae	Pholoe baltica	1		3
A2	POLYCHAETA	Pholoidae	Pholoe pallida	3	1	1
A2	POLYCHAETA	Hesionidae	Hesionidae	1		
A2	POLYCHAETA	Hesionidae	Nereimyra punctata		1	3
A2	POLYCHAETA	Pilargidae	Glyphohesione klatti		1	
A2	POLYCHAETA	Syllidae	Exogone (Exogone) verugera	4	4	7
A2	POLYCHAETA	Nereidae	Ceratocephale loveni			1
A2	POLYCHAETA	Nephtyidae	Nephtys incisa	6	5	5
A2	POLYCHAETA	Nephtyidae	Nephtys paradoxa			1
A2	POLYCHAETA	Glyceridae	Glycera lapidum		1	
A2	POLYCHAETA	Goniadidae	Goniada maculata	2		2
A2	POLYCHAETA	Onuphidae	Paradiopatra fiordica	1		
A2	POLYCHAETA	Onuphidae	Paradiopatra quadricuspis	3	1	
A2	POLYCHAETA	Lumbrineridae	Abyssoninoe hibernica	2	8	3
A2	POLYCHAETA	Lumbrineridae	Augeneria tentaculata	6	11	16
A2	POLYCHAETA	Lumbrineridae	Lumbrineris aniana	3	4	10
A2	POLYCHAETA	Arabellidae	Drilonereis filum	1	1	1
A2	POLYCHAETA	Dorvilleidae	Ophryotrocha sp.	1	8	1
A2	POLYCHAETA	Dorvilleidae	Ougia subaequalis			1
A2	POLYCHAETA	Paraonidae	Aricidea sp.		3	2
A2	POLYCHAETA	Paraonidae	Levinsenia gracilis	1		2
A2	POLYCHAETA	Paraonidae	Paradoneis lyra	6	14	4
A2	POLYCHAETA	Spionidae	Laonice sarsi		1	1
A2	POLYCHAETA	Spionidae	Prionospio cirrifera		1	2
A2	POLYCHAETA	Spionidae	Prionospio dubia	1	2	1
A2	POLYCHAETA	Spionidae	Prionospio fallax		1	1
A2	POLYCHAETA	Spionidae	Scolelepis korsuni	1	1	
A2	POLYCHAETA	Spionidae	Spiophanes kroyeri	11	14	17
A2	POLYCHAETA	Spionidae	Spiophanes wigleyi	75	111	77
A2	POLYCHAETA	Cirratulidae	Aphelochaeta sp.	80	151	148
A2	POLYCHAETA	Cirratulidae	Caulleriella killariensis	27	35	66
A2	POLYCHAETA	Cirratulidae	Chaetozone sp.	28	26	30
A2	POLYCHAETA	Cirratulidae	Cirratulus cirratus	1		
A2	POLYCHAETA	Cirratulidae	Macrochaeta polyonyx	1		
A2	POLYCHAETA	Flabelligeridae	Brada villosa		1	
A2	POLYCHAETA	Flabelligeridae	Diplocirrus glaucus	1	2	1
A2	POLYCHAETA	Scalibregmidae	Scalibregma inflatum	1		
A2	POLYCHAETA	Capitellidae	Heteromastus filiformis	3	2	5
A2	POLYCHAETA	Capitellidae	Notomastus latericeus	1		1
A2	POLYCHAETA	Maldanidae	Euclymene droebachiensis	1	1	2
A2	POLYCHAETA	Maldanidae	Euclymeninae			1

A2	POLYCHAETA	Oweniidae	Galathowenia oculata		1	
A2	POLYCHAETA	Ampharetidae	Amythasides macroglossus	1	8	18
A2	POLYCHAETA	Ampharetidae	Melinna cristata	2	5	6
A2	POLYCHAETA	Ampharetidae	Mugga wahrbergi		1	
A2	POLYCHAETA	Ampharetidae	Pterolysippe vanelli	1	2	1
A2	POLYCHAETA	Terebellidae	Paramphitrite tetrabanchia		1	
A2	POLYCHAETA	Terebellidae	Pista lornensis		1	
A2	POLYCHAETA	Terebellidae	Polycirrus medusa		1	1
A2	POLYCHAETA	Terebellidae	Streblosoma intestinale		1	
A2	POLYCHAETA	Terebellidae	Terebellidae			1
A2	POLYCHAETA	Sabellidae	Chone sp.		2	1
A2	PROSOBRANCHIA	Naticidae	Euspira montagui			1
A2	OPISTOBRANCHIA	Retusidae	Cylichnina sp.		1	
A2	OPISTOBRANCHIA	Philinidae	Philine sp.	5	7	5
A2	CAUDOFOVEATA		Caudofoveata	1	2	3
A2	BIVALVIA	Nuculidae	Nucula tumidula	11	9	15
A2	BIVALVIA	Nuculanidae	Yoldiella lucida		2	3
A2	BIVALVIA	Nuculanidae	Yoldiella propinqua			3
A2	BIVALVIA	Arcidae	Batharca pectunculoides			1
A2	BIVALVIA	Limidae	Limatula sp.		1	
A2	BIVALVIA	Thyasiridae	Axinulus croulinensis	1		2
A2	BIVALVIA	Thyasiridae	Mendicula ferruginosa	3	9	9
A2	BIVALVIA	Thyasiridae	Mendicula pygmaea	2		
A2	BIVALVIA	Thyasiridae	Thyasira equalis	10	8	2
A2	BIVALVIA	Thyasiridae	Thyasira obsoleta	3	4	4
A2	BIVALVIA	Thyasiridae	Thyasira sarsi	7	4	4
A2	BIVALVIA	Lasaeidae	Tellimya tenella	3	1	6
A2	BIVALVIA	Cardiidae	Parvicardium minimum	14	17	8
A2	BIVALVIA	Scrobiculariidae	Abra nitida	19	15	34
A2	BIVALVIA	Kelliellidae	Kelliella miliaris			2
A2	SCAPHOPODA	Dentaliidae	Antalis sp.	3	4	3
A2	SCAPHOPODA	Entalinidae	Entalina tetragona	2	1	1
A2	PYCNOGONIDA		Pycnogonida			1
A2	CUMACEA	Leuconidae	Eudorella emarginata	5	2	2
A2	CUMACEA	Nannastacidae	Campylaspis costata		1	
A2	CUMACEA	Diastylidae	Diastylis cornuta	1	1	
A2	CUMACEA	Diastylidae	Diastylodes serratus	1		
A2	ISOPODA	Gnathidae	Gnathia maxillaris			1
A2	AMPHIPODA	Melitidae	Eriopisa elongata	1	2	
A2	SIPUNCULIDA		Onchnesoma steenstrupii steenstrupii	16	29	23
A2	ASTEROIDEA		Astropectinidae		3	2
A2	OPHIUROIDEA		Ophiuroidea juvenil	4	6	6
A2	OPHIUROIDEA	Amphiuridae	Amphiura chiajei	2	6	2
A2	OPHIUROIDEA	Amphilepididae	Amphilepis norvegica	3	1	
A2	OPHIUROIDEA	Ophiuridae	Ophiura albida		4	2
A2	OPHIUROIDEA	Ophiuridae	Ophiura sp.	1		2
A2	ECHINOIDEA	Brissidae	Brissopsis lyrifera	2	4	4
C4	NEMERTEA		Nemertea	7	8	7
C4	POLYCHAETA	Amphinomidae	Paramphinome jeffreysii	136	120	215
C4	POLYCHAETA	Aphroditidae	Aphrodita aculeata			2
C4	POLYCHAETA	Sigalionidae	Neoleanira tetragona		1	
C4	POLYCHAETA	Phyllodocidae	Chaetoparia nilssoni	1	1	

C4	POLYCHAETA	Phyllodocidae	Eteone longa		1	
C4	POLYCHAETA	Phyllodocidae	Eulalia cf. Mustela		1	
C4	POLYCHAETA	Phyllodocidae	Sige fusigera			1
C4	POLYCHAETA	Pholoidae	Pholoe pallida	5	1	3
C4	POLYCHAETA	Hesionidae	Nereimyra punctata			1
C4	POLYCHAETA	Hesionidae	Ophiodromus flexuosus			1
C4	POLYCHAETA	Pilargidae	Pilargis sp.			1
C4	POLYCHAETA	Syllidae	Exogone (Exogone) verugera	4	4	12
C4	POLYCHAETA	Nereidae	Ceratocephale loveni	5	3	2
C4	POLYCHAETA	Nephtyidae	Nephtys incisa	4	3	7
C4	POLYCHAETA	Nephtyidae	Nephtys paradoxa	1	1	1
C4	POLYCHAETA	Sphaerodoridae	Sphaerodorum gracilis			1
C4	POLYCHAETA	Onuphidae	Paradiopatra quadricuspis	2	1	1
C4	POLYCHAETA	Lumbrineridae	Abyssoninoe hibernica	7	11	13
C4	POLYCHAETA	Lumbrineridae	Augeneria tentaculata	7	14	14
C4	POLYCHAETA	Lumbrineridae	Lumbrineris aniana	4	5	5
C4	POLYCHAETA	Arabellidae	Drilonereis filum	1	1	1
C4	POLYCHAETA	Dorvilleidae	Protodorvillea kefersteini			1
C4	POLYCHAETA	Orbiniidae	Orbinia (Orbinia) sertulata	3		
C4	POLYCHAETA	Orbiniidae	Orbinia norvegica		3	4
C4	POLYCHAETA	Apistobranchidae	Apistobranchus tullbergi		5	2
C4	POLYCHAETA	Paraonidae	Aricidea sp.	1		
C4	POLYCHAETA	Paraonidae	Levinsenia gracilis	2	3	2
C4	POLYCHAETA	Paraonidae	Paradoneis eliasoni	1		7
C4	POLYCHAETA	Paraonidae	Paradoneis lyra		9	
C4	POLYCHAETA	Spionidae	Laonice sarsi	1		
C4	POLYCHAETA	Spionidae	Prionospio cirrifera		1	1
C4	POLYCHAETA	Spionidae	Prionospio dubia	2	1	2
C4	POLYCHAETA	Spionidae	Prionospio multibranchiata			1
C4	POLYCHAETA	Spionidae	Scolelepis korsuni	1	1	1
C4	POLYCHAETA	Spionidae	Spiophanes kroyeri	11	17	36
C4	POLYCHAETA	Spionidae	Spiophanes wigleyi	3	3	
C4	POLYCHAETA	Cirratulidae	Aphelochaeta sp.	108	205	115
C4	POLYCHAETA	Cirratulidae	Cauleriella killariensis	23	41	45
C4	POLYCHAETA	Cirratulidae	Chaetozone sp.	66	79	58
C4	POLYCHAETA	Flabelligeridae	Diplocirrus glaucus	2		
C4	POLYCHAETA	Scalibregmidae	Scalibregma inflatum	2	1	
C4	POLYCHAETA	Capitellidae	Heteromastus filiformis	17	17	23
C4	POLYCHAETA	Capitellidae	Notomastus latericeus		1	2
C4	POLYCHAETA	Maldanidae	Euclymeninae	6	16	15
C4	POLYCHAETA	Oweniidae	Galathowenia oculata	1		2
C4	POLYCHAETA	Ampharetidae	Amage auricula	1		
C4	POLYCHAETA	Ampharetidae	Amphicteis gunneri	1		
C4	POLYCHAETA	Ampharetidae	Amythasides macroglossus	1	10	18
C4	POLYCHAETA	Ampharetidae	Melinna cristata			5
C4	POLYCHAETA	Ampharetidae	Pterolysippe vanelli	4	1	3
C4	POLYCHAETA	Ampharetidae	Samytha sexcirrata	1		
C4	POLYCHAETA	Terebellidae	Paramphitrite tetrabranchia		1	
C4	POLYCHAETA	Terebellidae	Polycirrus medusa	2	1	3
C4	POLYCHAETA	Terebellidae	Polycirrus norvegicus	1		2
C4	POLYCHAETA	Terebellidae	Thelepus cincinnatus	1		2
C4	POLYCHAETA	Trichobranchidae	Terebellides stroemii	17		
C4	POLYCHAETA	Trichobranchidae	Trichobranchus roseus			1

C4	POLYCHAETA	Sabellidae	Chone sp.			3
C4	PROSOBRANCHIA	Naticidae	Euspira montagui	2	1	2
C4	OPISTOBRANCHIA	Diaphanidae	Diaphana globosa	1		2
C4	OPISTOBRANCHIA	Retusidae	Cylichnina sp.			1
C4	OPISTOBRANCHIA	Philinidae	Philine sp.	4		2
C4	OPISTOBRANCHIA	Scaphandridae	Scaphander sp.			1
C4	POLYPLACOPHORA	Lepidopleuridae	Leptochiton asellus	1		
C4	CAUDOFOVEATA		Caudofoveata	2	2	5
C4	BIVALVIA	Nuculidae	Nucula tumidula	9	7	14
C4	BIVALVIA	Nuculanidae	Yoldiella lucida			2
C4	BIVALVIA	Nuculanidae	Yoldiella propinqua	1	3	3
C4	BIVALVIA	Thyasiridae	Axinulus croulinensis	1		
C4	BIVALVIA	Thyasiridae	Mendicula ferruginosa	2	6	9
C4	BIVALVIA	Thyasiridae	Mendicula pygmaea	3	4	4
C4	BIVALVIA	Thyasiridae	Thyasira equalis	17	22	28
C4	BIVALVIA	Thyasiridae	Thyasira obsoleta	5	6	3
C4	BIVALVIA	Thyasiridae	Thyasira sarsi	15	10	13
C4	BIVALVIA	Cardiidae	Parvicardium minimum	1	2	1
C4	BIVALVIA	Scrobiculariidae	Abra nitida	12	8	12
C4	BIVALVIA	Kelliellidae	Kelliella miliaris	6	5	26
C4	BIVALVIA	Cuspidariidae	Tropidomya abbreviata	5	1	2
C4	SCAPHOPODA	Dentaliidae	Antalis sp.		3	1
C4	SCAPHOPODA	Entalinidae	Entalina tetragona	3		1
C4	OSTRACODA	Cypridinidae	Cylindroleberis mariae		1	
C4	OSTRACODA	Cypridae	Macrocypris minna			1
C4	CUMACEA	Leuconidae	Eudorella emarginata	1	2	
C4	CUMACEA	Nannastacidae	Campylaspis costata	2		
C4	CUMACEA	Diastylidae	Diastylidae	1		
C4	ISOPODA	Parasellidae	Ilyarachna longicornis			1
C4	AMPHIPODA	Melitidae	Eriopisa elongata	4	2	
C4	AMPHIPODA	Pardaliscidae	Nicippe tumida		1	
C4	DECAPODA	Nephropidae	Nephrops norvegicus			1
C4	DECAPODA	Galatheidae	Munida rugosa			1
C4	SIPUNCULIDA		Onchnesoma steenstrupii steenstrupii	8	17	20
C4	SIPUNCULIDA		Thysanocardia procera		1	
C4	ASTEROIDEA		Astropectinidae			1
C4	OPHIUROIDEA		Ophiuroidea juvenil	8	1	2
C4	OPHIUROIDEA	Amphiuridae	Amphiura chiajei	7	3	9
C4	OPHIUROIDEA	Amphilepididae	Amphilepis norvegica	3	2	2
C4	OPHIUROIDEA	Ophiuridae	Ophiocten affinis		2	3
C4	OPHIUROIDEA	Ophiuridae	Ophiura sarsii	1		
C4	OPHIUROIDEA	Ophiuridae	Ophiura cf. sarsii			1
C4	OPHIUROIDEA	Ophiuridae	Ophiura sp.	5		
C4	CHAETOGNATHA		Chaetognatha	3	4	5
C4	PISCES		Pisces			1
F2	ANTHOZOA		Virgularia mirabilis	2		1
F2	NEMERTEA		Nemertea	7	8	7
F2	POLYCHAETA	Amphinomidae	Paramphinome jeffreysii	109	94	32
F2	POLYCHAETA	Aphroditidae	Aphrodita aculeata	1	2	
F2	POLYCHAETA	Sigalionidae	Neoleanira tetragona		1	1
F2	POLYCHAETA	Phyllodocidae	Eteone sp.	1		
F2	POLYCHAETA	Phyllodocidae	Phyllodoce groenlandica	1		

F2	POLYCHAETA	Pholoidae	Pholoe baltica	1		
F2	POLYCHAETA	Pholoidae	Pholoe pallida	1		
F2	POLYCHAETA	Hesionidae	Nereimyra punctata		2	1
F2	POLYCHAETA	Hesionidae	Ophiodromus flexuosus		1	
F2	POLYCHAETA	Syllidae	Exogone (Exogone) verugera		2	
F2	POLYCHAETA	Syllidae	Myrianida cf. edwardsi	1		
F2	POLYCHAETA	Nereidae	Ceratocephale loveni	1	6	4
F2	POLYCHAETA	Nereidae	Nereididae		1	
F2	POLYCHAETA	Nephtyidae	Aglaophamus pulchra			1
F2	POLYCHAETA	Nephtyidae	Nephtys incisa	2	5	2
F2	POLYCHAETA	Glyceridae	Glycera lapidum	2		
F2	POLYCHAETA	Onuphidae	Paradiopatra quadricuspis	6	4	1
F2	POLYCHAETA	Lumbrineridae	Abyssoninoe hibernica	4	5	2
F2	POLYCHAETA	Lumbrineridae	Augeneria tentaculata	7	9	5
F2	POLYCHAETA	Lumbrineridae	Lumbrineris aniana	10	2	3
F2	POLYCHAETA	Orbiniidae	Orbinia norvegica	5	2	
F2	POLYCHAETA	Paraonidae	Aricidea sp.	1		
F2	POLYCHAETA	Paraonidae	Levinsenia gracilis	1	3	4
F2	POLYCHAETA	Paraonidae	Paradoneis lyra		1	1
F2	POLYCHAETA	Spionidae	Laonice sarsi	1		
F2	POLYCHAETA	Spionidae	Prionospio cirrifera	1		
F2	POLYCHAETA	Spionidae	Prionospio dubia	11	6	6
F2	POLYCHAETA	Spionidae	Spiophanes kroyeri	8	2	1
F2	POLYCHAETA	Cirratulidae	Aphelochaeta sp.	54	65	64
F2	POLYCHAETA	Cirratulidae	Caulleriella killariensis	10	3	3
F2	POLYCHAETA	Cirratulidae	Chaetozone sp.	9	5	8
F2	POLYCHAETA	Cirratulidae	Cirratulus cirratus	1		
F2	POLYCHAETA	Cirratulidae	Macrochaeta polyonyx	1		
F2	POLYCHAETA	Flabelligeridae	Brada villosa	4	1	
F2	POLYCHAETA	Flabelligeridae	Diplocirrus glaucus	2	1	5
F2	POLYCHAETA	Opheliidae	Ophelina sp.	1		
F2	POLYCHAETA	Capitellidae	Heteromastus filiformis	55	27	26
F2	POLYCHAETA	Capitellidae	Notomastus latericeus	1		
F2	POLYCHAETA	Maldanidae	Euclymeninae	21	10	39
F2	POLYCHAETA	Maldanidae	Rhodine loveni	1	2	1
F2	POLYCHAETA	Oweniidae	Galathowenia oculata		1	
F2	POLYCHAETA	Pectinariidae	Lagis koreni	2	7	2
F2	POLYCHAETA	Pectinariidae	Pectinaria (Amphictene) auricoma			2
F2	POLYCHAETA	Ampharetidae	Ampharete finmarchica		1	
F2	POLYCHAETA	Ampharetidae	Amythasides macroglossus	36	15	10
F2	POLYCHAETA	Ampharetidae	Mugga wahrbergi	1	2	
F2	POLYCHAETA	Ampharetidae	Pterolysippe vanelli	8	11	4
F2	POLYCHAETA	Ampharetidae	Sosanopsis wireni	2		3
F2	POLYCHAETA	Terebellidae	Paramphitrite tetrabanchia		1	
F2	POLYCHAETA	Terebellidae	Polycirrus cf. latidens			2
F2	POLYCHAETA	Terebellidae	Terebellinae	1		
F2	POLYCHAETA	Trichobranchidae	Terebellides stroemii	12	13	13
F2	POLYCHAETA	Sabellidae	Chone sp.	4	2	
F2	OPISTHOBANCHIA	Retusidae	Cylichnina sp.	1		1
F2	OPISTHOBANCHIA	Philineidae	Philine sp.		3	
F2	CAUDOFOVEATA		Caudofoveata	5	1	
F2	BIVALVIA	Nuculidae	Nucula tumidula	21	10	15

F2	BIVALVIA	Thyasiridae	Mendicula pygmaea	12	10	1
F2	BIVALVIA	Thyasiridae	Thyasira equalis	34	32	46
F2	BIVALVIA	Thyasiridae	Thyasira obsoleta	3		
F2	BIVALVIA	Thyasiridae	Thyasira sarsi	2	2	
F2	BIVALVIA	Cardiidae	Parvicardium minimum	1		1
F2	BIVALVIA	Scrobiculariidae	Abra nitida	20	15	23
F2	BIVALVIA	Kelliellidae	Kelliella miliaris	70	83	44
F2	BIVALVIA	Kelliellidae	Vesicomya abyssicola			1
F2	BIVALVIA	Cuspidariidae	Tropidomya abbreviata	1		
F2	SCAPHOPODA	Dentaliidae	Antalis sp.		1	
F2	SCAPHOPODA	Entalinidae	Entalina tetragona	3	5	2
F2	OSTRACODA	Cypridinidae	Cypridina cf. megalops			1
F2	CUMACEA	Leuconidae	Eudorella emarginata	1	4	1
F2	CUMACEA	Leuconidae	Leucon sp.			1
F2	CUMACEA	Nannastacidae	Campylaspis costata		2	
F2	CUMACEA	Nannastacidae	Campylaspis rubicunda		1	1
F2	CUMACEA	Diastylidae	Diastylis cornuta	1	1	1
F2	TANAIDACEA	Parathanidae	Tanaidacea		1	2
F2	ISOPODA	Gnathidae	Gnathia maxillaris	1		
F2	ISOPODA	Parasellidae	Ilyarachna sp.			1
F2	ISOPODA	Parasellidae	Munnopsis typica	1		
F2	AMPHIPODA	Melitidae	Eriopisa elongata	7	5	8
F2	AMPHIPODA	Oedicerotidae	Westwoodilla caecula	1		
F2	AMPHIPODA	Pardaliscidae	Nicippe tumida		1	
F2	DECAPODA	Galatheidae	Munida rugosa	1		
F2	SIPUNCULIDA		Golfingiida		1	
F2	SIPUNCULIDA		Nephasoma sp	6	1	10
F2	SIPUNCULIDA		Onchnesoma steenstrupii steenstrupii	7	6	3
F2	ASTEROIDEA		Astropectinidae	1		
F2	OPHIUROIDEA		Ophiuroidea juvenil	6	3	1
F2	OPHIUROIDEA	Amphiuridae	Amphiura chiajei	3	1	5
F2	OPHIUROIDEA	Amphilepididae	Amphilepis norvegica	11	14	15
F2	ECHINOIDEA		Irregularia	1	1	
F2	CHAETOGNATHA		Chaetognatha	1	1	2

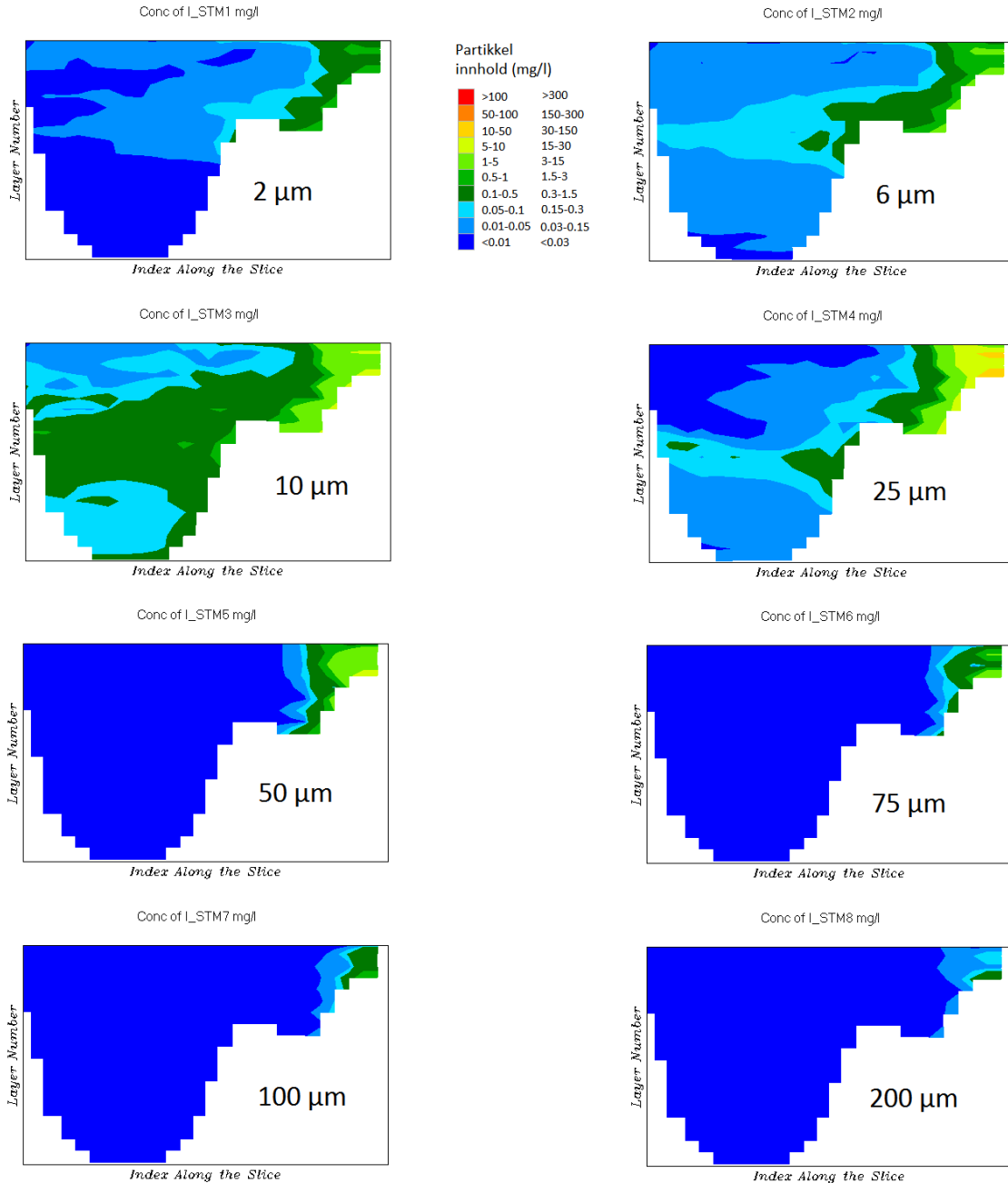
Vedlegg B. Stasjoner

TS = temperatur og saltholdighet, Turb = turbiditet, Cur = strøm, Gr = bunnfauna.

Stasjon kode	Parametere	Easting (UTM33)	Northing (UTM33)	Breddegrad	Lengdegrad
A-2	TS+Tu+Gr	-6386	6617600	59.390365	6.067324
B-2	TS+Tu	-7338	6616934	59.383314	6.052337
B-3	TS+Tu	-8001	6617338	59.386100	6.039856
C-0	TS+Tu	-7853	6616127	59.375536	6.045285
C-1	TS+Tu	-7986	6616267	59.376617	6.042643
C-1a	TS+Tu	-7995	6616167	59.375720	6.042723
C-1b	TS+Tu	-8139	6616145	59.375351	6.040271
C-2	TS+Tu+Cur	-8115	6616440	59.377997	6.039993
C-2a	TS+Tu	-8194	6616323	59.376864	6.038895
C-2b	TS+Tu	-8205	6616535	59.378731	6.038204
C-3	TS+Tu	-8329	6616653	59.379629	6.035770
C-3a	TS+Tu	-8475	6616670	59.379604	6.033192
C-4	TS+Tu+Cur+Gr	-8745	6616875	59.381097	6.028013
D-2	TS+Tu	-8388	6616013	59.373880	6.036254
D-3	TS+Tu	-8668	6616241	59.375566	6.030849
E-2	TS+Tu	-9030	6615696	59.370295	6.025844
E-3	TS+Tu	-9633	6616267	59.374632	6.014014
F-2	TS+Tu+Gr	-9392	6615143	59.364953	6.020860

Vedlegg C. Resultater fra modellering av partikkelspredning

Figuren under viser resultater fra modellering av partikler i fjorden. Samme snitt som i **Figur 20** er vist. Konsentrasjonen i mg/l er vist for de åtte første kornstørrelsene.



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