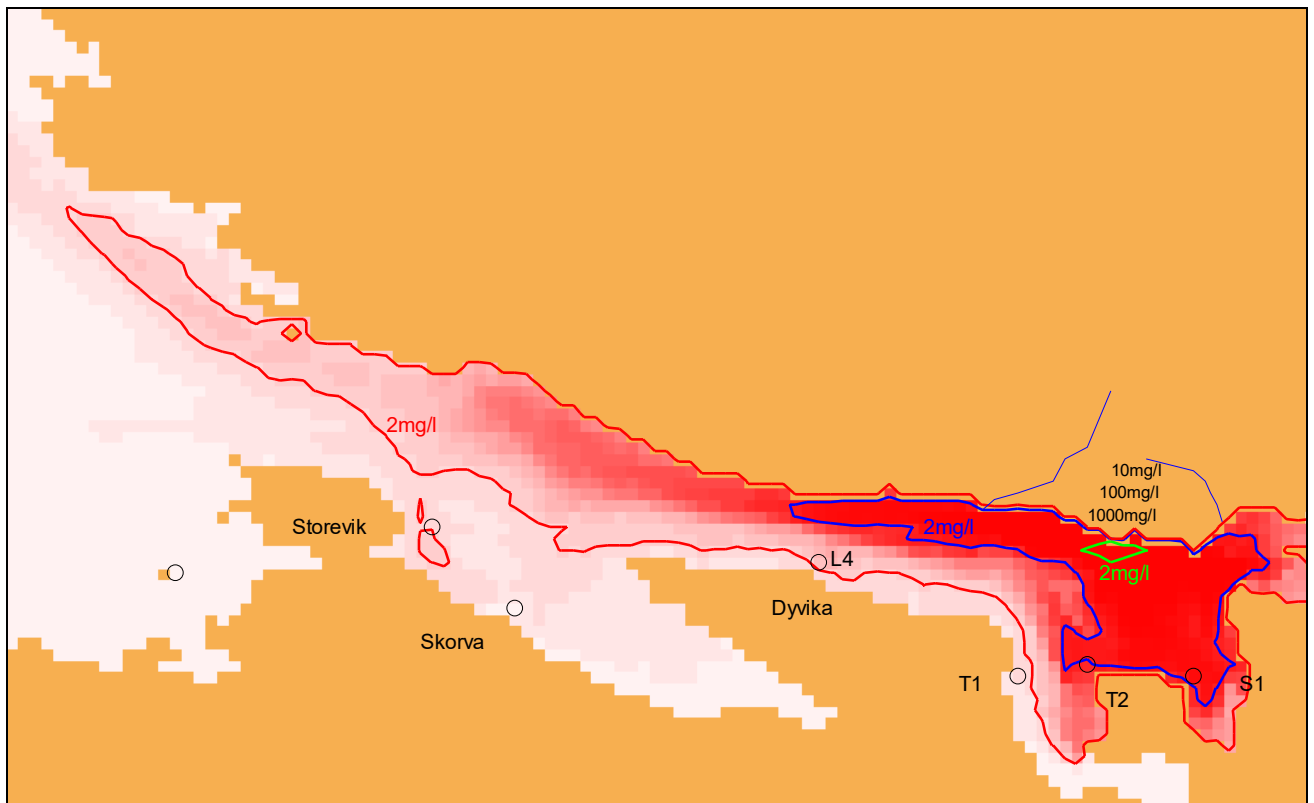


# Spredning av partikler i overflatelaget utenfor Engebøfjellet

Modellering av vannkvalitet som følge av utslipp fra gruveaktivitet



**Hovedkontor**

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

**Sørlandsavdelingen**

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

**Østlandsavdelingen**

Sandvikaveien 41  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**Vestlandsavdelingen**

Postboks 2026  
5817 Bergen  
Telefon (47) 2218 51 00  
Telefax (47) 55 23 24 95

**NIVA Midt-Norge**

Postboks 1266  
7462 Trondheim  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Spredning av partikler i overflatelaget utenfor Engebøfjellet – Modellering av vannkvalitet som følge av utslipp fra gruveaktivitet	Løpenr. (for bestilling) 5690 - 2008	Dato 2. februra 2009
	Prosjektnr. Undernr. 27199-WP8-3	Sider Pris 56
Forfatter(e) André Staalstrøm Jarle Molvær	Fagområde Oseanografi	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Førdefjorden	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Nordic Mining	Oppdragsreferanse
-----------------------------------	-------------------

**Sammendrag**

Målet med dette arbeidet har vært å lage et underlag for å vurdere konsekvensene for det marine livet i fjorden ved et utslipp av partikler i overflatelaget fra gruveaktivitet i Engebøfjellet. Dette har blitt gjort ved å simulere utslipp av partikler fra tre posisjoner med havmodellen ROMS (Regional Ocean Modelling System). De tre utslippsposisjonene var Grytaelvas utløp, Engebøkaia og Støselvas utløp ved Vevring. Konsentrasjonen av partikler som følge av utslippene har blitt beregnet som en funksjon av tiden ved alle oppdrettsanlegg i nærheten. Modellberegningene tyder på at utslipp i overflatelaget som følge av en hendelse ikke vil føre til særlig forhøyede partikkelkonsentrasjoner ved oppdrettsanleggene i nærheten. To anlegg peker seg ut, S1 og T2, hvor risikoen for forhøyede partikkelkonsentrasjoner er større ved et utslipp fra Engebøkaia. Det er risiko for forhøyede partikkelkonsentrasjoner innenfor Grytaskjeret.

Fire norske emneord 1. Modellering 2. Fortynning 3. Passivt sporstoff 4. Partikkelkonsentrasjon	Fire engelske emneord 1. Modelling 2. Dilution 3. Passive tracers 4. Particle concentration
---	---

*André Staalstrøm*  
Prosjektleder

*Dominique Durand*  
Forskningsleder  
ISBN 978-82-577-5425-9

*Jarle Nygard*  
Fag- og markedsdirektør

O-27199-WP8-3

**Spredning av partikler i overflatelaget utenfor  
Engebøfjellet**

Modellering av vannkvalitet som følge av utslipp fra  
gruveaktivitet

## Forord

Denne delrapporten som omtaler konsekvensene for vannkvaliteten ved spredning av partikler i overflatelaget, inngår i grunnlaget for samlet vurdering av potensiell konsekvenser for oppdretts- og fiskeriaktivitet i Førdefjorden i forbindelse med en eventuell etablering av gruvevirksomhet på Engebøneset. Arbeidet har foregått i perioden fra 15. mai til 11. november 2008 og er utført av forsker André Staalstrøm og seniorforsker Jarle Molvær ved NIVA.

Oslo, 11.11.2008

*André Staalstrøm*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>6</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>8</b>
<b>2. Beskrivelse av tiltaket</b>	<b>9</b>
2.1 Begrunnelse for tiltaket	9
2.2 Nordic Mining	10
2.3 Bakgrunnen for prosjektet	10
2.4 Forekomsten	10
2.4.1 Geologisk kartlegging	11
2.5 Tiltaket og tilhørende virksomhet	11
2.5.1 Engebø	13
2.5.2 Ny driftsveg mellom Engebø og Engebøfjellet	15
2.5.3 Dagbruddsområde og deponi på Engebøfjellet	15
2.5.4 Oppsamling av vann fra dagruddet.	16
2.5.5 Sigevann fra gråbergsdeponiet.	16
2.5.6 Serviceområde på Engebøfjellet	16
2.5.7 Deponiområde for vrakstein fra dagbruddet	17
2.5.8 Sjødeponi	17
2.5.9 Området for gruvedrift	18
2.5.10 Inntak og fordeling av drikke- og industrivann	18
2.5.11 El. forsyning.	18
<b>3. Feltmålinger</b>	<b>19</b>
3.1 Beskrivelse av måleriggene	19
3.2 Strøm i 3 meters dyp	20
3.3 Sjiktningen i fjorden fra oktober 2007 til juni 2008	20
3.4 Turbiditet i fjorden	23
<b>4. Beregning av partikkelkonsentrasjon med ROMS</b>	<b>25</b>
4.1 Beskrivelse av modellen	25
4.2 Validering av modellen	26
<b>5. Potensiell partikkelkonsentrasjon i fjorden</b>	<b>29</b>
5.1 Utslippssenario	29
5.2 Utslipp fra Grytaelva	30
5.3 Utslipp fra Engebøkaia	33
5.4 Utslipp fra Støselva	35
5.5 Partikkelkonsentrasjon ved oppdrettslokalitet S1	37
5.6 Partikkelkonsentrasjon ved oppdrettslokalitet T2	38
5.7 Partikkelkonsentrasjon ved oppdrettslokalitet T1	39
5.8 Partikkelkonsentrasjon ved oppdrettslokalitet L4, Dyvika	40
5.9 Partikkelkonsentrasjon ved oppdrettslokalitet L2, Storevik	41
5.10 Partikkelkonsentrasjon ved oppdrettslokalitet L3, Skorva	42
5.11 Vertikalt snitt på tvers av fjorden	43

---

<b>6. Sammenfattende vurdering</b>	<b>44</b>
<b>Referanser</b>	<b>46</b>
<b>Vedlegg A. Spredning fra Grytaelva</b>	<b>47</b>
<b>Vedlegg B. Spredning fra Støselva</b>	<b>50</b>
<b>Vedlegg C. Spredning fra Engebøkaia</b>	<b>53</b>

## Sammendrag

Ved ordinær gruvedrift skal det ikke være noe utslipp av partikler til overflatelaget i fjorden og tiltaket forventes ikke å representere en konflikt med oppdrettsanleggene som har dybde ned mot 35 meter. Ved et mulig uhell knyttet til gruvevirksomheten er det to elver som kan frakte partikler ut i sjøen. Det er Stølselva som renner ut ved Vevring vest for Engebøfjellet, og Grytaelva som renner ut innenfor Grytaskjeret øst for Engebøfjellet. Det kan også tenkes at det skjer et brudd på nedføringsledningen ved Engebøkaia. NIVA har foretatt simuleringer av utslipp fra disse punktene og beregnet partikkelkonsentrasjonen i aktuelle områder i fjordsystemet. For dette er det brukt den 3-dimensjonale modellen ROMS med en oppløsning på 150m x 150m og med 20 vannlag. Beregningene er gjort med svak vind fra nordøst og med vannføring 4 m<sup>3</sup>/s og 1 m<sup>3</sup>/s i hhv. Grytaelva og Stølselva.

Hoveddelen av det oppknuste materialet som antas å brukes som avgang har en kornstørrelse mellom 100µm og 250 µm, dvs det er som sand i størrelse (Dale m.fl 2008). Disse partiklene vil synke ut av det aktuelle vannlaget i løpet av minutter – timer. Det betyr at sedimentasjon vil ha stor betydning for spredning i vannmassene. En viss andel av partiklene har størrelse mindre enn 100 µm og sedimenterer langsommere. For eksempel vil en partikler med diameter ca. 5 -10 - 20 µm ha teoretisk synkehastighet på ca. 0,006- 0,03 -0,1 m/t i stillestående vann. Det er altså de aller minste partiklene som kan utgjøre en risiko for oppdrettsanleggene i nærheten.

Vi kjenner ikke mengden av små partikler som kan bli ført ut i fjorden ved et uhell som fører til avrenning til Grytaelva, Stølselva eller som utslipp ved Engebøkaia. I beregningene er det antatt at 10 % av avgangen består av partikler som er så små at de driver passivt med vannmassene med neglisjerbar sedimentasjon. Startkonsentrasjonen som er brukt i beregningene representerer altså en finfraksjon, mens konsentrasjon i avgangen er 10 ganger så stor. I beregningene er det brukt startkonsentrasjoner på 10-100-1000 mg/l der den høyeste konsentrasjonen er nokså usannsynlig. Det er antatt at utslippet varer i inntil 7 dager.

Ved et utslipp av slike små partikler fra Grytaelva fordeler de seg hovedsakelig i bukta innefor Grytaskjeret. Det er da fare for at høye partikkelkonsentrasjoner vil kunne forekomme her. Når partikkelskya kommer ut i fjorden utenfor Grytaskjeret blir den tatt av strømmen og fraktet utover på nordsiden av fjorden. Ved tilførsel av vann med konsentrasjon 10 mg/l fant man at skyen definert ved 2 mg/l konturlinjen, bredte seg omtrent 150 m fra utslippspunktet ved et utslipp som varer i 7 dager. Ved tilførsel av vann med 100 mg/l bredte skya seg omtrent 1000 m fra utslippspunktet. Ved tilførsel av vann med 1000 mg/l bredte skya seg (definert ved 2 mg/l konturlinjen) omtrent 5000 m fra utslippspunktet.

Ved et tilsvarende utslipp fra Stølselva blir partiklene hovedsakelig fraktet ut av fjorden, hvor de høyeste konsentrasjonene finnes på nordsiden av fjorden. Ved tilførsel av vann med konsentrasjon 10 mg/l bredte skya seg (definert ved 2 mg/l konturlinjen) omtrent 300 m fra utslippspunktet ved et utslipp over 7 dager. Ved tilførsel av vann med 100 mg/l lå denne konturlinjen ca. 5000 m fra utslippspunktet. Ved tilførsel av vann med 1000 mg/l lå konturlinjen ca 15 km fra utslippspunktet.

Ved et utslipp fra Engebøkaia vil partiklene foruten å spre seg utover på nordsiden av fjorden også spres over hele fjorden øst for Engebø. Ved en startkonsentrasjon 10 mg/l vil skyen definert ved 2 mg/l konturlinjen, bre seg omtrent 450 m fra utslippspunktet. Ved tilførsel av vann med 100 mg/l vil skya i følge modellberegningene bre seg omtrent 4000 m fra utslippspunktet. Ved tilførsel av vann med 1000 mg/l vil skya bre seg omtrent 14 km fra utslippspunktet. Partikkelskyas utbredelse er for forskjellige startkonsentrasjoner er oppsummert i **Tabell 1**. Ved utslipp av vann med konsentrasjon på 100 mg/l, er det bare ved lokalitetene T2 (Torsk- Russeneset V) og S1 (Skjell-Russeneset)

konsentrasjoner på over 1 mg/l forekommer. Ved T2 kommer ikke konsentrasjonen over 2 mg/l i modellkjøringene. Ved S1 er konsentrasjonen over 2 mg/l (men under 3 mg/l) i omtrent 6 timer. Ved tilførsel av vann med konsentrasjon 1000 mg/l blir disse tallene 10x høyere (10-30 mg/l).

Utslippsvannet må ha en høy konsentrasjon av meget små partikler (opp mot 1000 mg/l) og må ha en viss varighet (flere dager) for at forhøyede partikkelkonsentrasjoner vil forekomme ved noen av oppdrettsanleggene i området over tid. Ved et tenkt utslipp (hendelse) fra Grytaelva eller Engebøkaia er det imidlertid fare for at høye akkumulerte verdier av partikkelkonsentrasjon kan forekomme innenfor Grytaskjeret.

Som en oppsummering kan det sies at ved:

1. Høy konsentrasjon av meget små partikler
2. Varighet på flere døgn
3. Svak vind

er det en risiko for økt partikkelkonsentrasjon ved lokalitetene ved Russeneset.

**Tabell 1.** Oversikt over partikkelskyas utbredelse ved forskjellige startkonsentrasjoner for finfraksjonen av partikler..

	Konturlinjer	Startkonsentrasjon		
		10 mg/l	100 mg/l	1000 mg/l
Utslipp fra Grytaelva	2 mg/l	150 m	1000 m	5000 m
	10 mg/l	-	300 m	1300 m
Utslipp fra Støselva	2 mg/l	300 m	5000 m	15 km
	10 mg/l	-	900 m	7800 m
Utslipp fra Engebøkaia	2 mg/l	450 m	4000 m	14 km
	10 mg/l	-	900	7500 m



# 1. Innledning

Nordic Mining ASA har fått konsesjon til å utvinne mineralet rutil (titandioksid) i Engebøfjellet i Naustdal kommune. Under vises et kart over området hvor oppdrettsnæringens virksomhet er tegnet inn (**Figur 1**). Denne rapporten beskriver resultatene fra utredning av mulige konsekvenser for den marine faunaen i fjorden, og da spesielt for oppdrettsnæringens virksomhet i området.

Under vanlig gruvedrift skal det ikke være noe utslipp av partikler til overflatelaget i fjorden, men i et mulig uhell er det to elver som kan frakte partikler ut i sjøen. Det er Stølselva som renner ut ved Vevring vest for Engebøfjellet, og Grytaelva som renner ut innefor Grytaskjeret øst for Engebøfjellet. Det kan også tenkes at det skjer et brudd på nedføringsledningen ved Engebøkaia. De antatte utslippspunktene er markert med blå punkter i kartet. Avstanden mellom utslippspunktene og oppdrettsanleggene og anleggenes beliggenhet på motsatt side av fjorden tyder på at risikoen for skader er liten. Hensikten med dette prosjektet er å gi en konkret vurdering av denne risikoen.



**Figur 1.** Området rundt Engebøfjellet. Dagens lokaliteter for oppdrett er markert (L2-L4: laks, T1-T2: torsk, S1: blåskjell). Lakseanleggene L2-L4 kalles henholdsvis Storevik, Skorva og Dyvika. Strømrigger er markert med røde punkt. CTD målinger er markert med svarte punkt. Utslippspunkt er markert med blå punkt. (Kilde [www.fidir.no](http://www.fidir.no))

Fra 30. mai til 27. juni 2008 var det utplassert to strømmålere i 3 meters dyp. Den første riggen ble utplassert ved Stølselvas utløp (R1661). Den andre riggen ble utplassert ved Grytaelvas utløp (R1662). Begge disse målerne hadde montert turbiditetsensor for å måle partikkelkonsentrasjon i vannmassene. Tiltaket blir beskrevet i neste kapittel. Feltnålingene blir beskrevet i kapittel 3. Strømnålingene blir presentert sammen med modell-resultatene i kapittel 4.

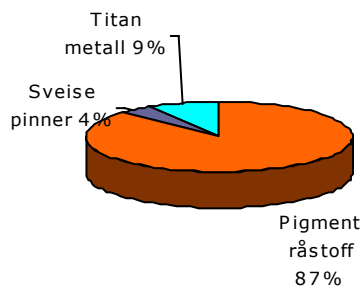
Den hydrodynamiske strømodellen ROMS (Regional Ocean Modeling System) har blitt satt opp for området for å vise hvordan partikler i avrenningsvannet spres og fortynnes. Modellen beregner også partikkelkonsentrasjon som funksjon av avstand fra utslippene. Modellen blir beskrevet og resultatene blir validert mot feltnålingene i kapittel 3. I kapittel 5 blir resultatene fra beregningene av potensiell partikkelkonsentrasjon i fjorden presentert.

## 2. Beskrivelse av tiltaket

### 2.1 Begrunnelse for tiltaket

Det var en norsk professor som i 1909 utviklet en metode for å fremstille et miljøvennlig pigment fra titan dioksyd. Dette ble raskt en god erstatning til ulike bly forbindelser, og er i dag en stor global industri. Norge har siden hatt ulike industrivirksomheter med utgangspunkt i titanråstoffet ilmenitt, Og det er opparbeidet stor kompetanse innen de ulike områdene, og Norge har fått et renommé som en stabil og kost-effektiv aktør.

Rutil er et miljøvennlig mineral med økende anvendelse innen en rekke områder. Ca. 90% av alt titanråstoff benyttes til produksjon av pigment som igjen går inn i ulike sluttprodukter som maling, plast, fyllstoff, papir, kosmetikk, medisin og næringsmidler. Titandioksyd er ett av få mineraler som kan benyttes i næringsmidler uten helserisiko.



En mindre andel går inn som råstoff til produksjon av titan metall og som belegg på sveisestaver. Titan metallens unike egenskaper gjør det attraktivt til stadig flere anvendelser i et moderne samfunn. Størst er økningen i bruk av titan i sivil luftfart der metallet i økende grad erstatter legeringer av aluminium. Videre er komponenter av titan en sterk konkurrent til rustfritt stål i ulike industri prosesser som avsaltningsanlegg, katalysatorer og undervannsprødsjon av olje og gass. Produksjon av rutil i Naustdal vil kunne gi et godt utgangspunkt for en mulig produksjon av titan metall i Norge. Dette vil igjen kunne utvikles til produksjon av komponenter og således utgjøre en ny verdikjede og en mulig sterk norsk kompetanseklynge.



Europa har stort underskudd på råstoff til pigmentproduksjon og vil ha behov for rutilkonsentrat til høyverdige pigmentanvendelser. Rutil vil i forhold til ilmenitt ha miljø- og kvalitetsfordeler og en langsiktig rutilinndekning vil av flere av de større aktørene kunne danne basis for både stabile råstoff-forsyninger til deres europeiske produksjonsenheter og til eventuell utvidelse av disse.

Markedet for titanmetall er inne i en langsiktig solid vekst og industrielle aktører i Europa og USA vil være beredt til å inngå langsiktig inndekning for metall. Denne langsiktige sikringen forventer vi vil forplante seg bakover i kjeden til høyverdige rutilforekomster.

Engebøforekomsten inneholder rutil som kan fremstilles i renhet av 93 – 96 %  $\text{TiO}_2$ , og som vil ha et anvendelsespotensiale både i eksisterende og i en ny og mer miljørettet industri. Sammenlignet med eksisterende gruver som produserer naturlig rutil i dag har Engebøforekomsten et betydelig fortrinn ved at den inneholder svært lite radioaktive mineraler.

## 2.2 Nordic Mining

Nordic Mining ASA ble etablert ved fisjon fra Rocksource ASA 8. mai 2006. Selskapets strategi er å lete, utvinne og produsere høyverdige industrimineraler og metaller. Gjennom fisjonen fikk Nordic Mining eksklusiv rettigheter til Rocksource's avanserte tolkningsteknologi innen elektromagnetisk ressurskartlegging (EM-teknologi) for anvendelse innen utforskning av mineralressurser.

Pr. 15. oktober 2007 har Nordic Mining ASA 2.820 aksjonærer. Omkring 88 % av selskapets aksjer innehas av norske aksjonærer; de øvrige 12% eies av utenlandske aksjonærer. Selskapet har ca. 53,38 mill. aksjer, og pålydende aksjekapital er NOK 5,3 mill. Aksjen handles på Oslo Axess med ticker NOM. Markedsverdien for Nordic Mining pr. 15. oktober 2007 er ca. NOK 180 mill. Pr. 30. juni 2007 har Nordic Mining NOK 7 mill. i gjeld gjennom datterselskapet Gudvangen Stein AS (85 %). Selskapets kontantbeholdning var pr. samme dato NOK 40 mill.

Nordic Mining overtok 31. mai 2007 85 % av aksjene i Gudvangen Stein AS som utvinner anortositt i Sogn. Produksjonen er ca 240 000 tonn pr. år og Nordic Mining tar sikte på å utvikle denne driften videre både volummessig i eksisterende markeder samt ved produktutvikling for innpass i nye markedsegmenter. Selskapet har inngått en samarbeidsavtale med StatoilHydro om utprøving og utvikling av teknologi for bruk av  $\text{CO}_2$  innen foredling av anortositten i Gudvangen.

## 2.3 Bakgrunnen for prosjektet

Nordic Mining inngikk i september 2006 avtale med Conoco Phillips Investments Norge AS om kjøp av deres rettigheter (utmål) til rutilforekomsten i Engebøfjellet. Forekomsten består av en rutilholdig eklogittmalm estimert til 380 mill. tonn med et gjennomsnittlig innhold av titandioksyd på 3 – 5 prosent.

Nordic Mining fikk i januar 2007 konsesjon for overtagelse av rettighetene av Nærings- og handelsdepartementet. Nordic Mining har i samarbeid med bl.a. NGU, NTNU og Outotec utviklet geologiske og tekniske planer for en utvinning fra Engebøfjellet.

## 2.4 Forekomsten

Rutilforekomsten på Engebø ble første gang oppdaget på 1970 tallet. I 1990 årene gjennomførte DuPont i samarbeid med NGU en rekke undersøkelser av forekomsten. Et omfattende boreprogram ble gjennomført og 15 000 meter ble boret for geologisk kartlegging og analyser av kjemisk sammensetning. En rekke oppredningsforsøk ble også gjennomført for å undersøke utvinningsgraden, altså mengden rutil som kunne utvinnes fra malmen.

Forekomsten på Engebø er en rutilførende eklogitt malm som ble dannet ved høytrykks metamorfose av en basaltisk intrusjon under den Kaledonske fjellkjededannelsen. Eklogitten er formet som en 2,5 km lang steiltstående linse med øst-vestlig utstrekning i Engebøfjellets lengderetning. Forekomsten ligger i bratt fjell og malmen er utgående i toppen av det vel 300 m høye fjellet. I vestlig retning strekker malmen seg ned til mer enn 200 meter under havoverflaten. Basert på analyser som ble gjort

for ca. 10 år siden så definerte Dupont forekomsten til å være 382 mill. tonn malm med et gjennomsnittlig rutilinnhold på 3.96 % og med en total tonnasje på om lag 15 mill tonn titan dioksyd. Eklogitten har en forholdsvis kompleks geologi med bånding og en serie av foldinger. Malmen grenser til lav gehalt eklogitt i nord og til bergarten amfibolitt i sør.

Foruten rutil så består bergarten hovedsakelig av mineralene pyroksen (omfasitt), granat og amfibol, samt mindre mengder kvarts, pyrite, dolomitt og zoisitt. Granat står for omtrent 25-30% av bergartsmineralene og er, på grunn av høy egenvekt og styrke, et interessant biprodukt i tillegg til rutil. Mulige bruksområder for granaten er vannskjæring og sandblåsing.

#### **2.4.1 Geologisk kartlegging**

Nordic Mining vil utføre egne geologiske undersøkelser av Engebøforekomsten. Dette vil blant annet innebære kvalitetssikring av tidligere geologiske undersøkelser, videre kjerneboring og kjemiske analyser, mineralogiske undersøkelser med hensyn til malmkvalitet og oppredningsmessige egenskaper, og konkrete oppredningsforsøk i labskala og pilotskala. Undersøkelsene vil i tillegg til fokus på rutil også fokusere på granat som biprodukt både med hensyn til mineralets kvaliteter og mulighetene for å produsere et godt granatkonsentrat. Et program for boring av om lag 6000 meter planlegges gjennomført i løpet av 2009. Resultatene vil benyttes for å utbedre den geologiske modellen av forekomsten ytterligere.

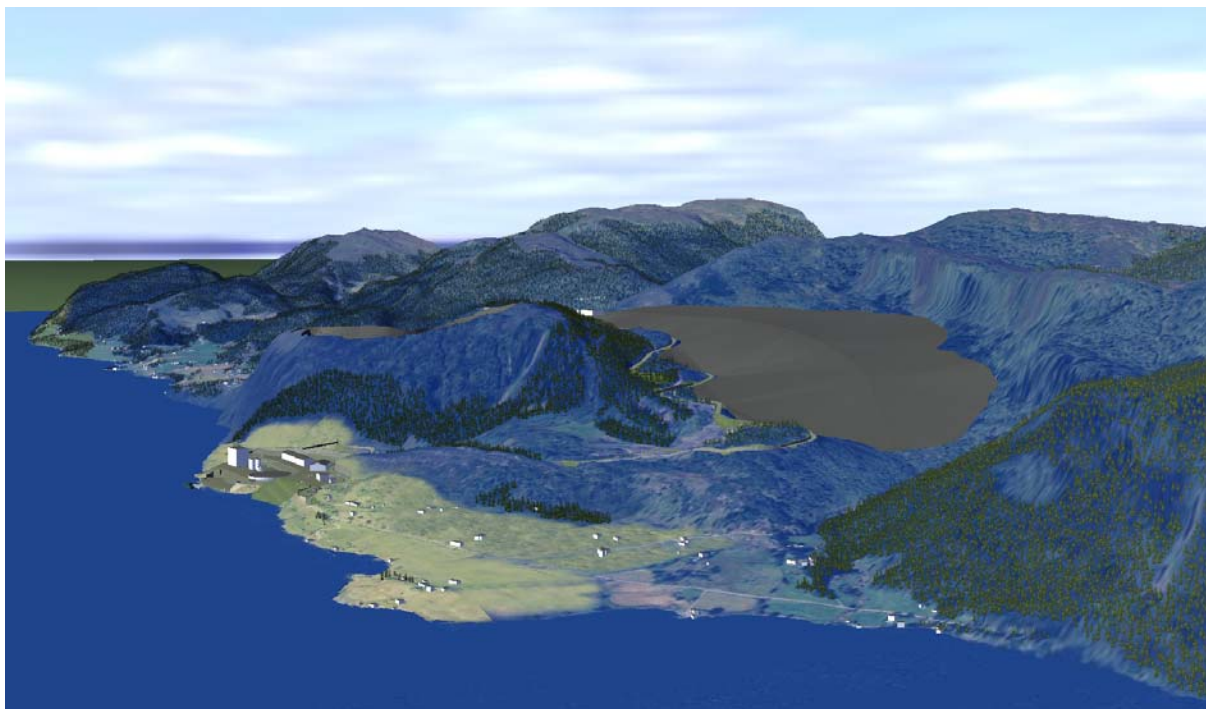
#### **Konklusjon**

Rutilforekomsten på Engebøfjellet er en unik ressurs i verdensammenheng og representerer en av de største kjente oppkonsentrasjonene av rutil i fast fjell. Tradisjonelt har strandforekomster vært en viktig kilde til rutil. Disse har ofte lave gehalter og i senere år har det blitt vanskeligere å finne drivverdige forekomster. De geologiske og oppredningsmessige undersøkelsene viser at det er mulig å produsere høykvalitets rutil, sammen med et salgbart granatprodukt fra forekomsten på Engebøfjellet. Med planlagt produksjonsnivå vil gruvedriften produsere rutil tilsvarende 20 % av verdensmarkedet. Engebøfjellet må derfor oppfattes som en forekomst av internasjonal betydning så vel som lokal og nasjonal. Ressursen kan også bidra til å sikre tilgang på pigmentråstoff til det Europeiske markedet, hvor rutil i dag kun blir importert fra land utenfor kontinentet (blant annet Sør-Afrika og Australia).

## **2.5 Tiltaket og tilhørende virksomhet**

Hele tiltaket består av å etablere følgende delområder/enheter:

1. På Engebø
  - Etablere prosessområdet
  - Oppruste eksisterende kaiområde
  - Legge om Rv 611
  - El. forsyning
  - Inntak og fordeling av industri- og drikkevann.
  - Sanitæranlegg
2. Anlegge ny veg fra Engebø og opp til Engebøfjellet
3. Dagbruddsområde på Engebøfjellet
4. Serviceområde på Engebøfjellet
5. Deponiområde for avdekkingsmasser (gråberg) og vrakstein nord-øst for dagbrudd
6. Deponi for lagring av avgang i Førdefjorden (restmasser fra produksjonen)
7. Etablering og drift av gruve (underjordsdrift)



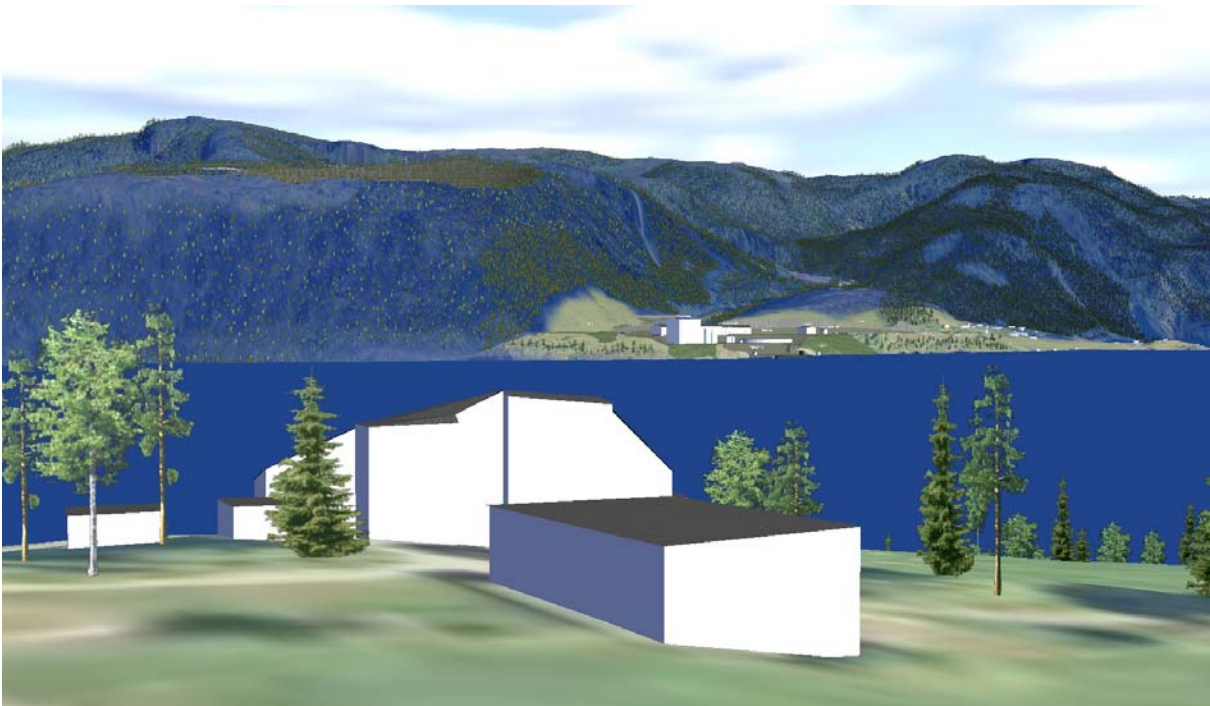
*Tiltaket illustrert fra kartmodell*



*Tiltaket sett fra Vevring (Joker-butikken)*



*Tiltaket sett fra Redalen*



*Tiltaket sett fra Askvoll*

### **2.5.1 Engebø**

Prosessområdet på Engebø vil bli etablert på 3 ulike terrengnivåer. Øverste nivå ligger på kote 30 og har et areal på ca 40 daa. Midterste nivå ligger på kote 19 og har et areal på ca 20 daa. Nederste og

laveste nivå, som er kaiområdet, ligger på kote 4 har et areal på ca 4 daa. Totalt vil ca 0.5 mill m<sup>3</sup> fjell masse tas ut. Det vil bli vurdert om denne massen egner seg for eksport/salg til det Europeiske markedet.

På de ulike terrengnivåene vil det bli satt opp ulike bygg med varierende høyde som skal ivareta ulike funksjoner. Disse funksjonene er:

Møllebygg (kote 30): Den knuste malmen males ned til en finkornet masse. I tillegg kan utstyr for nedknusing av malmen før møllemalingen bli plassert i dette bygget. All råalm blir knust ned til en stykkstørrelse som er finere enn ca. 20 mm. Etter møllemalingen og før prosessering er malmen malt ned til en kornfinhet mindre enn ca. 0,3 mm.

Div. verksteder samt kontorer vil trolig bli plassert i møllebygget.

Prosessanlegg (kote 30): Etter knusing og nedmaling av malmen i møller utvinnes rutil og granat (konsentrater) ved bruk av forskjellig type separasjonsutstyr. Alle prosessering inkl. møllemaling er en våt prosess som krever bruk av betydelige vannmengder. Etter utvinning av konsentratene går alt avgangsmateriale i rør til fortykke(re) som er plassert på kote 19.

Tørrepareringsanlegg (kote 19): Konsentratene fra prosessanlegget tørkes. Det benyttes naturgass ved tørkingen av konsentratene. En sluttbehandling/prosessering frem til endelig salgbart konsentrat skjer ved en tørreparering med bruk av høy intensitets magneter. Konsentratene blåses i rør til ferdigproduksiloer.

Lager/siloer for konsentrater (kote 19): Konsentratene lagres i lukkede siloer. Konsentratene blåses i rør fra siloer til båt. Det benyttes båter som lagrer konsentratene i lukkede tanker.

Fortykker/sedimentering av avgang (kote 19): Avgangen fra prosessanlegget går i rør-til fortykker for gjenvinning av vann som kan resirkuleres til den våte prosessen for gjenbruk. Avgangen føres til fjorddeponi.

Trafo-område har et areal på ca 3 daa (kote 30): Området vil bli sikret spesielt (lukket/inngjerdet).

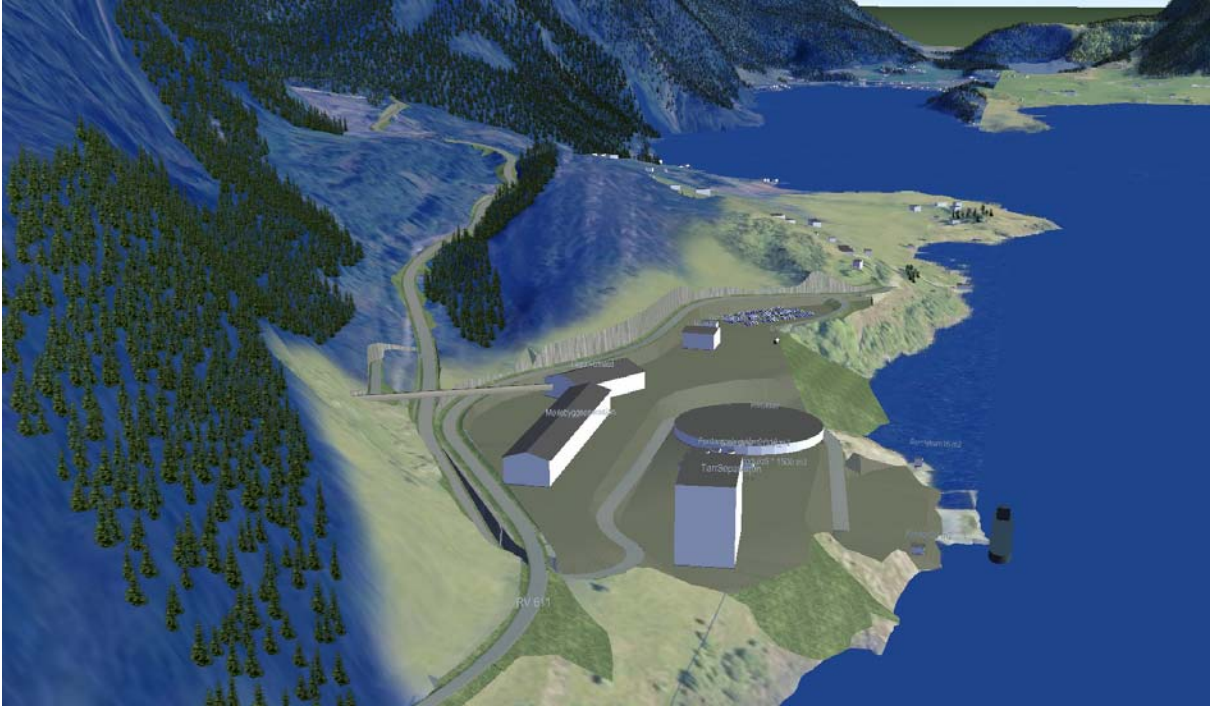
Tanker for lagring av naturgass (LNG) (kote 19): LNG gass benyttes til tørking av konsentrater etter våt prosessering.

Lagerbygg for div. forbruksmateriell (kote 30): Det antas at tyngre maskindeler etc. vil bli tatt inn over kai.

Laboratoriebygg (kote 30): Det er behov for å utfører fysiske og kjemiske analyser for kontroll av malmkvalitet og forskjellige produkter i prosessen.

Kaiområdet (kote 4): På 1990 tallet ble det drevet steinbrudd/pukkproduksjon i dagbrudd fra fjellet. Kaianlegg ble bygget og en del stein ble skipet ut, men driften viste seg ikke å være økonomisk forsvarlig. Kaien er fortsatt intakt og kan benyttes i oppstarten. Nytt kaianlegg/oppgradering er påkrevet når aktiviteten er kommet i ordinær drift. Samlekum for avgangsmasser som skal deponeres i fjorden vil bli plassert i strandkant.

Rv 611 legges om: Dette vil gi tiltaket den ønskede frihet til å bruke prosessområdet mest effektivt. Den omlagte traseen vil få en lengde på ca. 850 meter og ha en kjørebanebredde på 2 x 3,25 meter. Det planlegges et planfritt kryss mellom Rv 611 og anleggsveien ned fra forekomsten.



*Illustrasjon av hvordan Engebø kan utformes*

### 2.5.2 Ny driftsveg mellom Engebø og Engebøfjellet

Eksisterende veg har for dårlig standard (smal og bratt) til at den kan nyttes til helårsdrift. Ny veg vil få en lengde på ca 3400 meter mellom prosessområdet og serviceområdet på Engebøfjellet. Kjørebanebredde er 7 meter. Vegen vil i driftssammenheng bli benyttet til:

- Frakte div. utstyr til og fra området
- Transport av tyngre maskiner/utstyr for bruk i dagbruddet og deponiet.
- Frakt av råvarer til sprengstoffproduksjon.
- Frakt av diesel.
- Arbeidsreiser
- Diverse

### 2.5.3 Dagbruddsområde og deponi på Engebøfjellet

I de første årene (10 til 15 år) vil uttak av malm foregå ved dagbruddsdrift. Dette er nødvendig fordi en stor del av malmen ligger helt øverst i fjellet mot dagen. Størrelsen på dagbruddet er vurdert ut fra forekomstens kvalitet og beliggenhet. Arealet er ca 200 daa og etter endt uttak vil bunnen av bruddet ligge ca på kote 40 og bruddkanten mot syd på ca kote 250. Total bergfangst i dagbruddsfasen er om lag 80 millioner tonn malm og gråberg. Av dette er 45 millioner tonn malm, noe som tilsvarer en malmproduksjon på ca 3-4 millioner tonn i året, og en tilsvarende gråbergsproduksjon på ca 2-3 millioner tonn. Gråberg deponeres som grovskutt stein i dalsøkket nordøst for dagbruddet. Størsteparten av malmbrytningen finner sted under jord. Ved underjordsdrift vil gråbergsproduksjonen være minimal siden brytningen skjer selektivt inne i



malmkroppen. Utvinnbar malm under jord er estimert til 200 millioner tonn. Avgrensningen av malmen mot dypet er fortsatt ukjent og estimatet er derfor basert på foreløpige tall.

I dagbruddet vil følgende aktiviteter foregå:

1. Boring og sprengning
2. I noen grad pigging (knusing) av store blokker
3. Opplasting av malm på trucker og dumping i grovknuser
4. Kjøring og dumping av malm i vertikalsjakt
5. Kjøring av vrakstein til deponi
6. Oppsamling og drenering av vann fra dagbruddet

Grovknuser vil bli plassert skjermet i bruddet. Det grovknuste godset dumpes i vertikalsjakt og fraktes videre på transportbelte i tunnel til finknuseverk på kote 30. Etter finknusing mellomlagres malmen før den transporteres til møllebygget for ytterligere nedmaling. Den endelige plan kan åpne for andre løsninger med hensyn til knusing og transport av gods til prosessanlegg.

Ved underjordsdrift forflyttes sprengnings-, uttaks- og lasteaktiviteten til under jord. Grovknuseren vil installeres inne i fjellet. Det vil tas sikte på å benytte eksisterende transportsystem, slik anlagt ved dagbruddsdrift, for adgang til prosessanlegget.

#### **2.5.4 Oppsamling av vann fra dagbruddet.**

Vann fra dagbruddet vil bli samlet opp og gå i en egen drenssjakt ned til industriområdet på Engebø. Størstedelen av vannet vil bli gjenbrukt og brukt som prosessvann.

#### **2.5.5 Sige vann fra gråbergsdeponiet.**

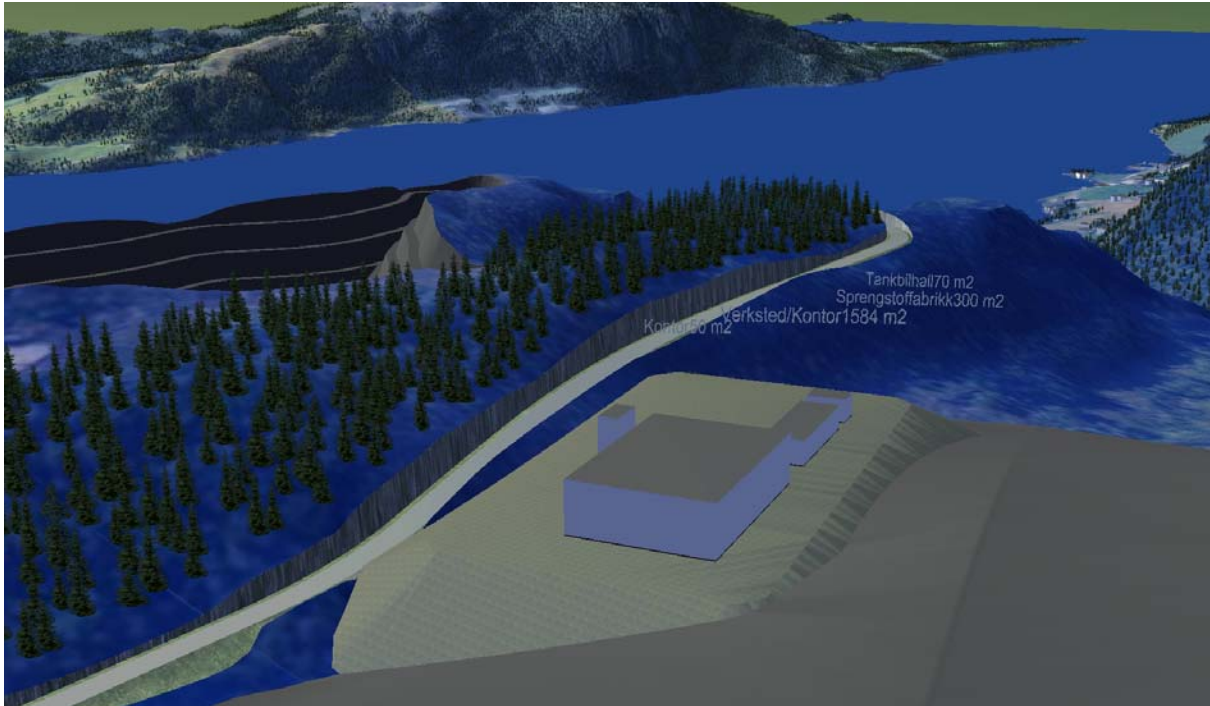
Sige vann fra gråbergsdeponiet samles opp brukes som industrivann i anleggene på Engebø.

#### **2.5.6 Serviceområde på Engebøfjellet**

Det er behov for at serviceområdet lokaliseres i nærheten av der mobilt utstyr og annet tyngre gruveutstyr er i bruk:

1. Verksted for service av mobil utstyr samt annet tyngre gruveutstyr.
2. Kontor/spise- og sanitærbygg
3. Sprengstoffabrikk inkl. servicehall for tankbiler.

Det vil bli inngått avtale med en sprengstoffleverandør som etablerer og sørger for leveransen av sprengstoff for bruk i dagbruddet. Det vil bli benyttet flytende sprengstoff som ikke utgjør noen eksplosjonsrisiko ved frakt inn til bedriften eller ved lagring og transport inne på industriområdet.



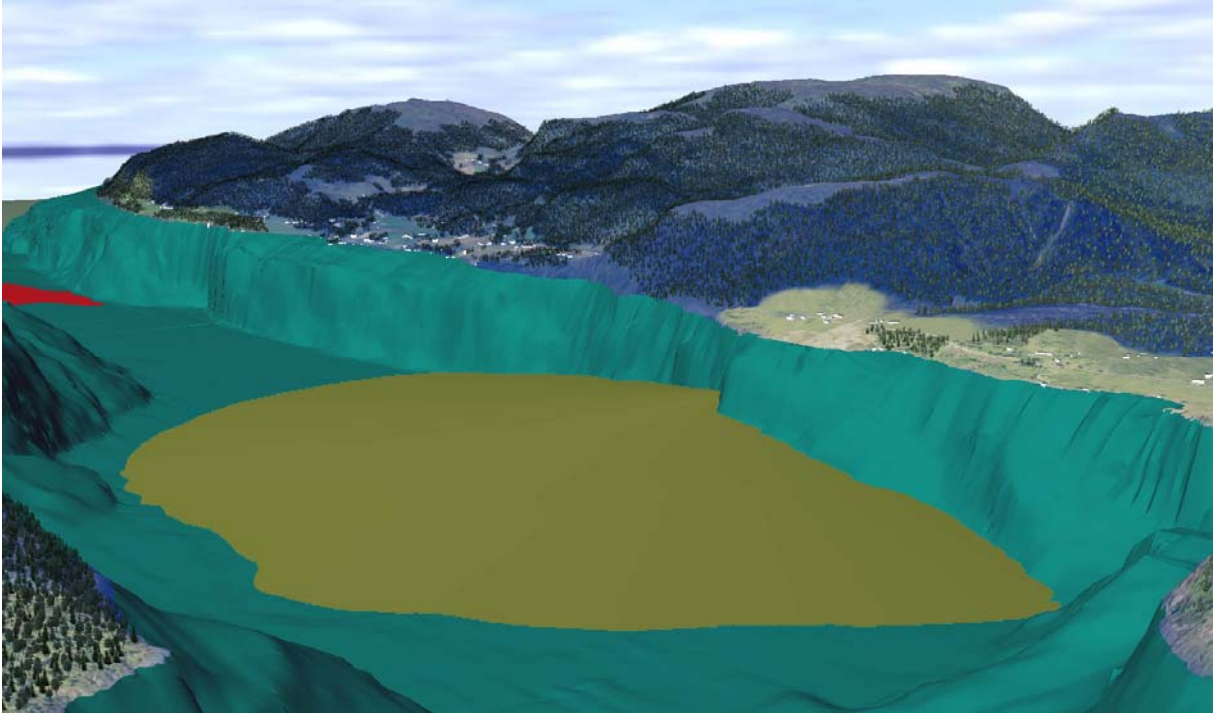
*Illustrasjon viser serviceområdet. Illustrasjonen er vist fra Vest mot øst med Engjabødalen i bakgrunnen.*

### 2.5.7 Deponiområde for vrakstein fra dagbruddet

I ulike områder av dagbruddet viser kartleggingen at ressursen har varierende kvalitet. Det er av den grunn behov for å deponere vrakstein utenfor dagbruddsområdet. Det er beregnet at deponivolumet for vraksteinen, i utsprengt tilstand, vil være ca 15 mill m<sup>3</sup> etter ca 15 års drift. Deponiet vil bygges opp fra baksiden av Engebøfjellet og møt øst i Engjabødalen. Det maksimale arealet deponiet vil dekke over er 460 daa. Den aktive del av deponiet vil i hele driftsperioden fremstå på en mindre del av deponiområdet. De deler av deponiet som er ferdigstilt vil bli tildekket og tilsådd.

### 2.5.8 Sjødeponi

Totalt forventet malmuttak fra Engebøfjellet vil være opp til 250 mill. tonn malm over hele driftsperioden. Dette tilsvarer et avgangsvolum på totalt 140 mill. m<sup>3</sup>. Søknad om utslipptillatelse er oversendt SFT v/Fylkesmannen i Sogn og Fjordane. I søknaden er det inkludert et maksimalt avgangsvolum på ca. 200 mill.m<sup>3</sup>. Deponiet vil berøre areal i Naustdal og Askvoll kommune. Avgangen føres i ledning fra fortykker via samlekum, ned på dypt vann etter at avgangen er tilsatt sjøvann.



*Illustrasjon som viser volumet av sjødeponiet ved utløp av driftsperioden etter 45-50 år. Området under vann fremstår som grønntonet farge. Rødt område viser fjordbassengets dypeste område på ca 340 meters dybde. Engebø vises slik det fremstår ved dagens situasjon.*

### **2.5.9 Området for gruvedrift**

Gruvedriftsområdet strekker seg fra Støselva i Vevring mot øst ca 1,5 kilometer under Engebøfjellet. ”Endepunktet” ligger 300 til 400 meter vest for det gamle steinbruddet som var i drift på 90-tallet (Fjordstein). Se forslag til reguleringsplan i kap.12.

### **2.5.10 Inntak og fordeling av drikke- og industrivann**

Det planlegges med et forbruk av ca. 600 m<sup>3</sup> industrivann pr. time. Industrivann pumpes fra Liavatnet til et høydebasseng som plasseres ovenfor industriområdet på Engebø. Vann til industriområdet på Engebø samt til industriområdet ved dagbruddet tas ut fra høydebassenget. Samme basseng forsyner anleggene med drikkevann. Det vil bli installert et eget renseanlegg for drikkevannet.

### **2.5.11 El. forsyning.**

Det vil bli ført frem strøm til anleggene til Engebø i en ny kraftlinje.

## 3. Feltmålinger

### 3.1 Beskrivelse av måleriggene

For å få et bilde av strømforholdene i sjøen utenfor de to elveutløpene, ble det 30. mai 2008 utplassert to strømmålere. Målerne ble tatt opp 27. juni 2008. MS Solkongen ble benyttet ved utsetting og opptak, med Halvar Espeseth og Christian Espeseth som mannskap. Den første måleriggene ble plassert utenfor Vevring (RCM s/n 635) og den andre ved Grytaelvas utløp (RCM s/n 1346). Det ble målt temperatur, saltholdighet og turbiditet som funksjon av dypet ved hjelp av en YSI sonde ved begge måleposisjonene. **Tabell 2** viser posisjonen til måleriggene, samt posisjon til CTD-stasjoner tatt fra oktober 2007 til juni 2008.

**Tabell 2.** Posisjonene til strøm- og CTD målinger (se også Figur 1).

Stasjon	Stasjonskode	Bredde	Lengde	Måletidspunkt	Kommentar
Vevring	R1661	N 61° 29,359'	E 5° 23,940'	27/6/08	CTD + Strømmåling
Engebø	NM2	N 61° 28,968'	E 5° 25,288	27/6/08	Kun CTD
Gryta	R1662	N 61° 29,349'	E 5° 28,034'	27/6/08	CTD + Strømmåling
Vevring	F1	N 61° 29,069'	E 5° 23,165'	4/10/07, 4/3/08, 1/4/08, 30/4/08, 30/5/08	Kun CTD

Strømmålerne var plassert i en rigg med et ca. 100 kg tungt lodd på bunnen, med tau opp til måleren som sto på 3 meters dyp. Omtrent 1 meter over måleren var det en 25 kg oppdriftsbøye. På overflaten var det markeringsbøye med lys.

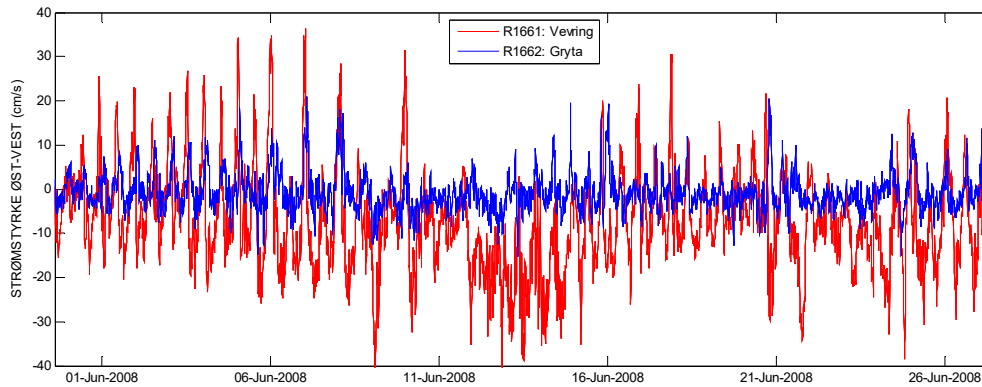
**Figur 2** viser en av strømmålerne samt Grytaelvas utløp.



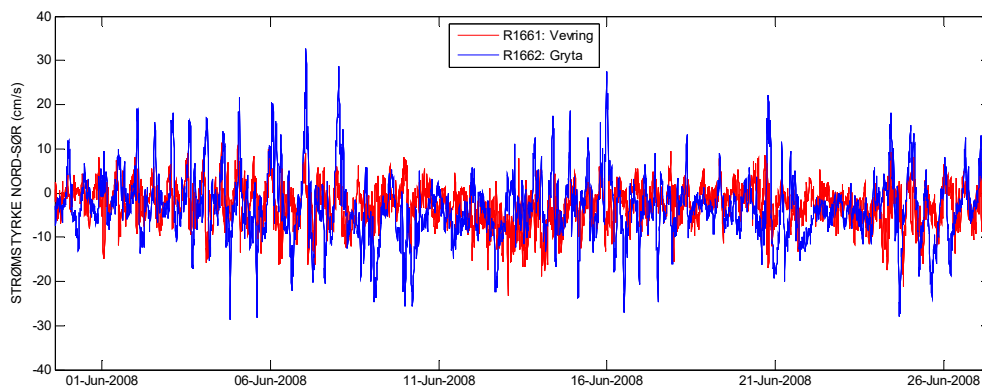
**Figur 2.** Bildet til venstre viser en av strømmålerne (RCM s/n 635) under opptak.. Bildet til høyre viser Grytaelvas utløp, sett mot strømmåleren. Grytaskjeret sees rett bak den hvite båten i bildet.(Foto: Mats Thoresen).

### 3.2 Strøm i 3 meters dyp

**Figur 3** og **Figur 4** viser målt strøm dekomponert i øst-vest og nord-sør retning. Det er tydelig at tidevannsvariasjoner dominerer i måleserien. Strømmålingene blir nærmere beskrevet når de blir sammenlignet med modell beregningene i kapitell 4.2.



**Figur 3.** Målt strømmen dekomponert i øst-vest retning.



**Figur 4.** Målt strøm dekomponert i nord-sør retning.

### 3.3 Sjiktingen i fjorden fra oktober 2007 til juni 2008

Strømforholdene i fjorden er i sterk grad styrt av tidevannsvariasjonene, men dette betyr ikke nødvendigvis at vann strømmer inn over hele fjordens tverrsnitt når vannstanden stiger, og ut igjen når den synker. Vanligvis settes det opp virvler som er begrenset av fjordens geometri. Disse virvlene flytter seg fram og tilbake med tidevannsvariasjonene. Strømmålingene tyder på at det i overflatelaget hovedsakelig strømmer ut på nordsiden av fjorden.

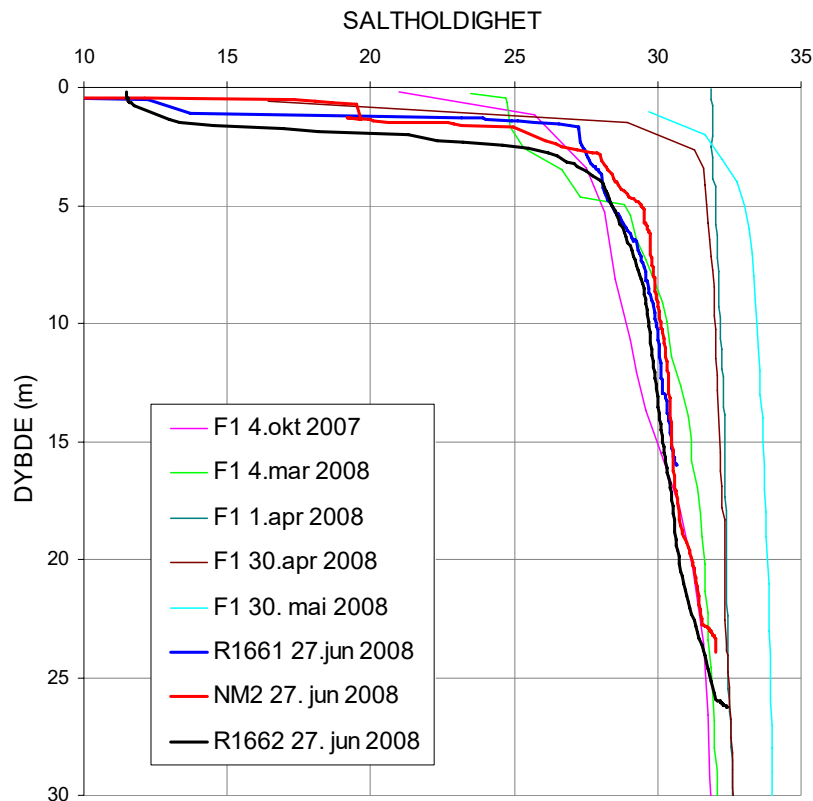
Forholdene i fjorden, og spesielt i overflatelaget kan variere med variasjon av sjiktingen i fjorden gjennom året. Vi skal derfor se på sjiktingen i fjorden fra oktober 2007 til juni 2008, og på hvor representativ perioden strømmålerne har vært utplassert i er i forhold til årsvariasjonen.

Det ble i forbindelse med opptak av strømmålerne målt tre profiler av temperatur, saltholdighet og turbiditet som funksjon av dypet. Måleren som ble brukt var av typen YSI med 25 meter kabel. Kabellengden begrenset hvor dypt ned det ble foretatt målinger. Det ble målt en profil ved rigg 1 (R1661, Vevring), en profil midtfjords (NM2, Engebø) og en profil ved rigg 2 (R1662, Gryta). I tillegg har det blitt målt 5 profiler ved stasjon F1 (se **Tabell 2**) fra oktober 2007 til mai 2008.

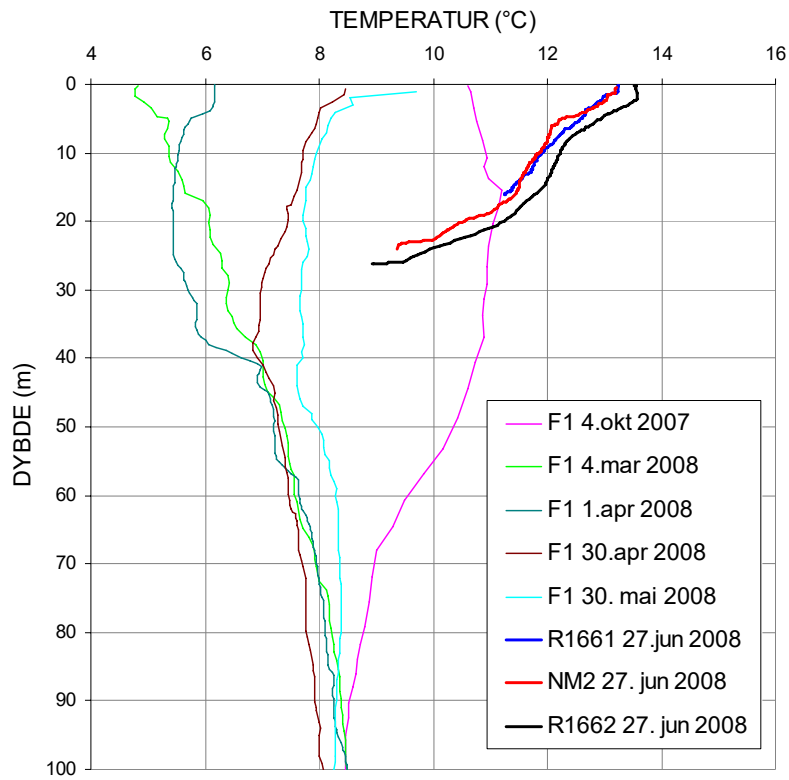
**Figur 5** og **Figur 6** viser henholdsvis saltholdighet og temperatur som funksjon av dypet. **Figur 7** viser tettheten ved stasjon F1 helt ned til 200m. Fra oktober til mars har vannmassen blitt avkjølt helt ned til 100 meters dyp. Det er sterk sjiktning, med et 1 til 2 meters tykt brakkvannslag både i oktober og mars. Det er sannsynlig at dette overflatelaget har blitt blandet ned og forsvunnet flere ganger i løpet av vinteren. Fra 4. mars til 1. april så skjer dette, og overflatelaget forsvinner helt. I løpet av april så varmes vannet opp ned til 40 meters dyp og det dannes et tydelig brakkvannslag i overflata. Den 30. mai er sjiktningen i fjorden svakere med et sprangsjikt fra 2 til 4 meter.

Alle tre profilene fra 26. juni viser et ferskt overflatelag med et svært skarpt sprangsjikt under. Ute i fjorden er overflatelaget todelt, med et tynt overflatelag med ferskt vann. Under det ligger det et omtrent 1 meter tykt lag med saltholdighet på rundt 20. Denne lagdelingen finnes igjen ved Vevring, men ikke inne i Gryta. Inne i Gryta er overflatelaget dypere (2 m) enn ute i fjorden.

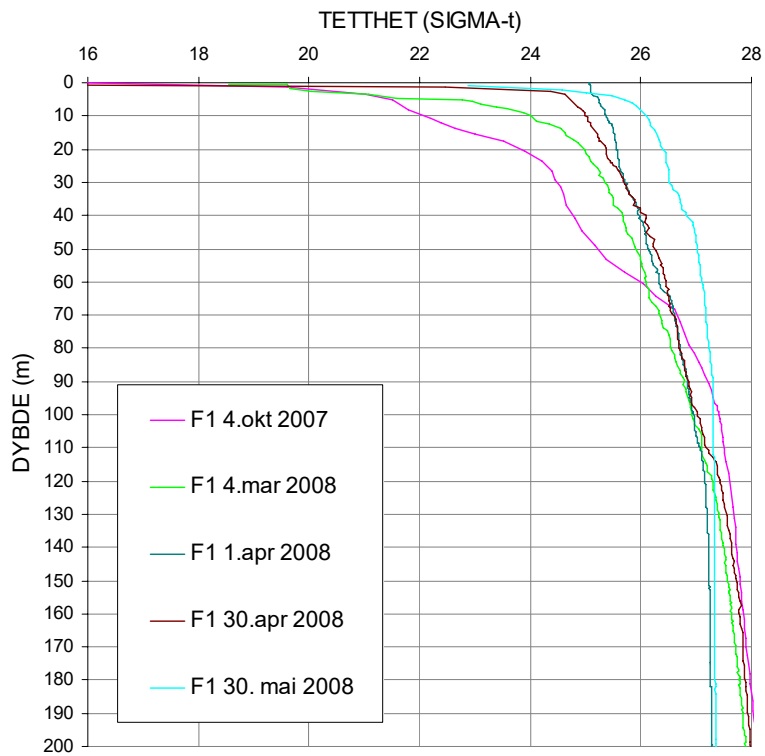
Det er bare en av de målte profilene som ikke viser en tydelig sjiktning. På grunn av ferskvannstilførsel vil en tilstand med relativt sterk sjiktning være det som forekommer mesteparten av tiden i fjorden.



**Figur 5.** Saltholdighet i fjorden utenfor Engebøfjellet..



**Figur 6.** Temperatur i fjorden utenfor Engebøfjellet.



**Figur 7.** Tettheten i fjorden utenfor Engebøfjellet.

### 3.4 Turbiditet i fjorden

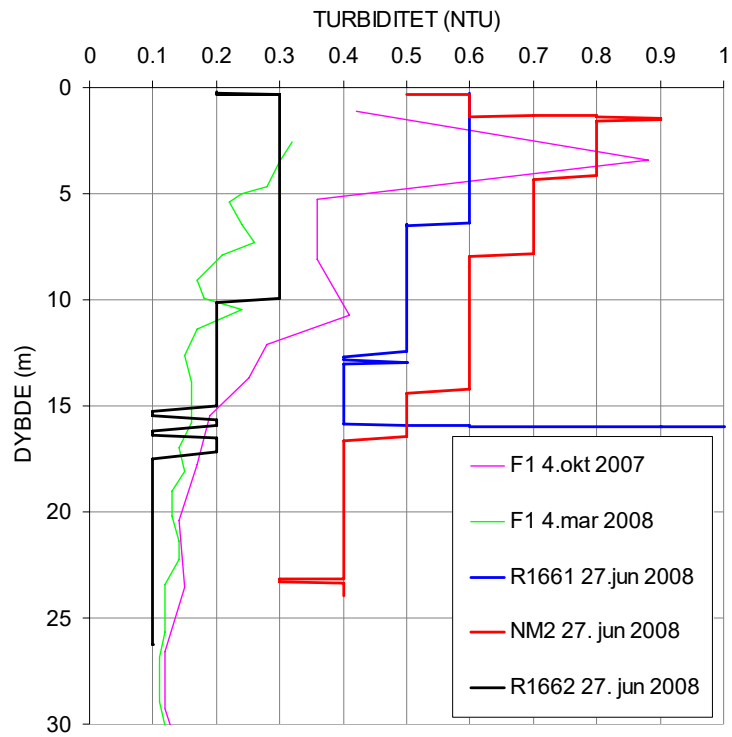
Turbiditet måles i turbiditetsenheter (NTU) og brukes ofte som et mål på partikkelkonsentrasjon i vannmassene. Partiklene sprer lys og en turbiditetsensor måler denne spredningen. En turbiditetsenhet vil ofte tilsvare omtrent en partikkelkonsentrasjon på 1 mg/l, men dette varierer blant annet med partikkelstørrelse. Det er ikke bare uorganiske partikler som sprer lyset. Organisk materiale som plankton eller luftbobler sprer også lyset og vil gi utslag på turbiditetssensoren.

For å få et bilde på konsentrasjon av partikkelkonsentrasjonen i fjorden har det blitt målt turbiditet både som funksjon av dypet ved gitte tidspunkt, og som funksjon av tiden på et gitt dyp. Det ble målt turbiditet gjennom hele vannsøylen ute i fjorden i oktober 2007 og mars 2008. Ved opptak av strømmålerne ble det målt turbiditet ved hver av riggene og ute i fjorden (se **Figur 8**). Begge strømmålerne hadde montert turbiditetssensorer som målte turbiditet kontinuerlig i 3 meters dyp (se **Figur 9**).

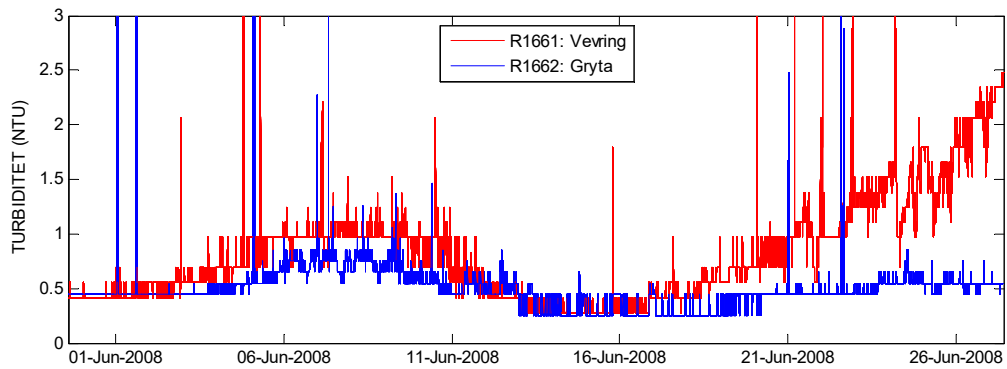
I oktober 2007 ble det målt turbiditetsverdier opp til 0,9 NTU i overflatelaget. Dette er høyere enn bakgrunnivået i sjøvann, men ikke spesielt høyt i et brakkvannslag. I mars 2008 er turbiditeten lavere gjennom hele vannsøylen, med 0,3 NTU på 3 meters dyp. Målingene fra juni 2008 viser en del horisontal variasjon. Det ble observert visuelt at det var mer alger ute i fjorden enn inne ved land. Ute i fjorden ble det igjen målt 0,9 NTU i 2 meters dyp. Midtfjords ved Vevring var turbiditeten relativt høy. Inne ved målerigg 2 var turbiditeten mye lavere. Turbiditet på opp til 0,9 NTU forekommer altså i overflata. Dette er ikke spesielt høye verdier, men det kan likevel nevnes at siden dette forekommer midtfjords så skyldes det trolig organisk materiale. Ved avrenning fra land ville man vente å finne høyere verdier nærmere land.

De kontinuerlige målingene i 3 meters dyp viser også høyere verdier ute ved Vevring enn innenfor Grytaskjeret. Målingene følger hverandre, men med litt større variasjon ute ved Vevring. Mot slutten av måleperioden ser det ut til at sensoren ved Vevring gradvis blir begrodd. Målingene har en del kortvarige hopp i turbiditet. Dette tas det ikke hensyn til her. Turbiditetsmålingene med YSI sonden ga lavere verdier enn det sensorene på strømmålerne ga, men det samme bildet med høyere verdier ute ved Vevring vises altså i alle målingene.





**Figur 8.** Turbiditet som funksjon av dybdenmålt med YSI-sonde. Merk at målingene er ikke tatt på samme stasjon. Oppløsningen på målingene fra 27. juni er kun 0,1 NTU.



**Figur 9.** Turbiditet som funksjon av tiden i 3 meters dyp målt med RCM.

## 4. Beregning av partikkelkonsentrasjon med ROMS

### 4.1 Beskrivelse av modellen

Havmodellen ROMS har tidligere blitt satt opp for et område på omtrent 2625 km<sup>2</sup> i Sogn og Fjordane. Modellområdet strekker seg fra Buefjorden i sør til Frøysjøen i nord. ROMS står for Regional Ocean Modeling System. ROMS er en tredimensjonal havmodell med fri overflate og terrengfølgende vertikale koordinater. Modellen er beskrevet av blant annet Haidvogel m.fl. (2007) og på hjemmesiden <https://www.myroms.org/wiki/>. Oppløsningen i modellen er 150 meter. Det vil si at modellområdet er delt inn i ruter på 150x150 m<sup>2</sup>. I hver rute eller celle beregnes strøm, vannstand, saltholdighet, temperatur og eventuelt konsentrasjon av et eller flere sporstoff. Modellen utfører beregninger for 20 vannlag mellom overflate og bunn. Siden modellen har terrengfølgende vertikale koordinater, så har hver beregningscelle like mange lag uansett vanddyb. Tykkelsen på lagene varierer med vanddybet. Modellen har tidligere blitt validert mot strømmålinger med svært gode resultater (Staalstrøm, 2007).

I ROMS er det mulighet for å definere passive sporstoff. Dette er stoff som har nøytral oppdrift og som derfor bare driver med vannet. Sporstoffet kan brukes til å simulere spredning av den delen av partiklene som synker sakte ut av vannmassene. Modellen kan vise hvordan strømmen vil flytte vannmasser med en gitt konsentrasjon av sporstoff rundt i modellområdet.

De viktigste inngangsdatene til modellen:

1. Startbetingelser for strøm, vannstand, saltholdighet og temperatur.
2. Grenseflatebetingelser for strøm, vannstand, saltholdighet og temperatur.
3. Vindforhold.
4. Ferskvannstilførsel.
5. Tidevann.

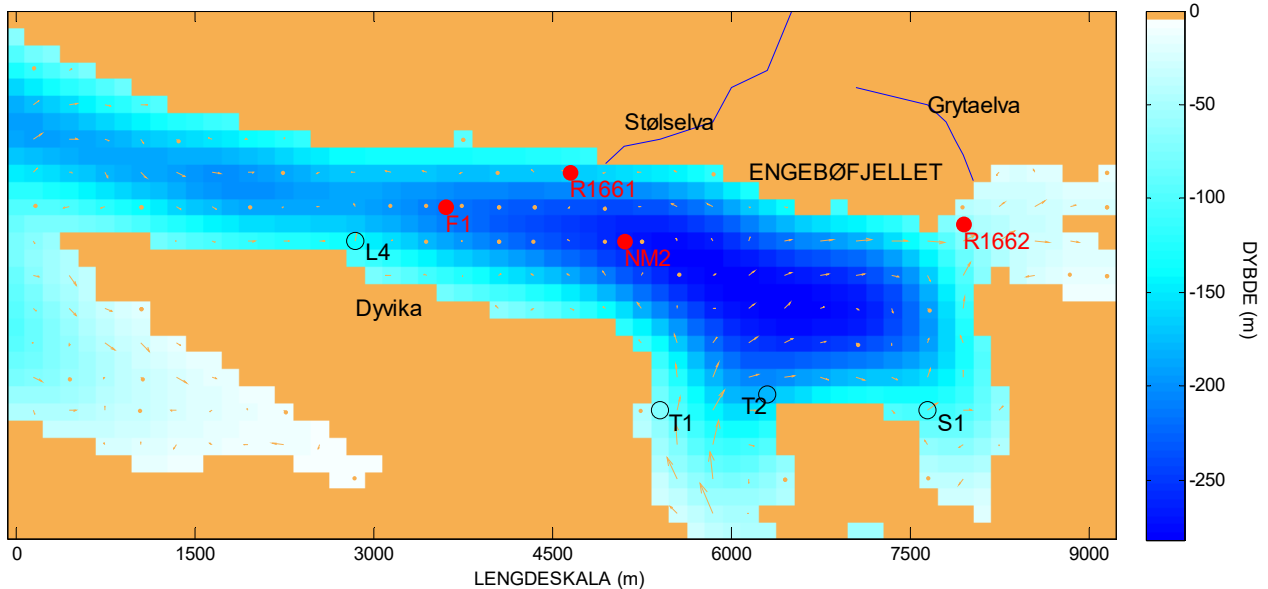
Tidevannskomponentene for området har blitt beregnet ved å kjøre harmonisk analyse av data fra met.no sin modell MI-POM som er satt opp for norskekysten opp til Stad på et rutenett med 4 km oppløsning. Månedsmiddelet av dataene representerer de saktevarierende forholdene (kyststrømmen), og har blitt lagt inn som grenseflate- og startbetingelser. Kyststrømmen og tidevannsvariasjonene driver modellen sammen med vind og ferskvannstilførsel.

Det er lagt inn et konstant vindfelt hvor det blåser 3 m/s fra nordøst. Fra NVE atlas (<http://arcus.nve.no/website/nve/viewer.htm>) oppgis det at kystfeltet hvor Grytaelva og Stølselva ligger er på 65,11 km<sup>2</sup>, og at det årlige tilslaget til havet er 5,3 m<sup>3</sup>/s. Dette fordeler seg på 7 elver/bekker, hvor Stølselva og Grytaelva er to av dem. I modellkjøringen er det lagt inn 4 m<sup>3</sup>/s i Grytaelva og 1 m<sup>3</sup>/s i Stølselva.

Dataene fra met.no er på 4 km oppløsning, og verdiene for saltholdighet og temperatur blir i utgangspunktet ikke gode når de interpoleres ned til et rutenett med 150 meters oppløsning, spesielt ikke inne i fjordene. Strømdataene tilpasses topografien ved å la modellen kjøre beregninger i et par modelldager, i en såkalt "spinup" periode. Men det kreves mer data for å få sjiktningen korrekt, og det fins ikke CTD målinger for alle kriker og kroker i modellområdet. Det gjelder å bruke de dataene som fins. Seks sjiktningprofiler rundt omkring inni modellområdet målt i mai måned har blitt brukt til å lage inngangsdata til modellen. I den delen av modellområdet som er åpent hav har sjiktningdata fra Sognesjøen blitt brukt. Hver profil har representert sjiktningen i et delområde. Modellen har så blitt

kjørt i fire dager for å utjevne unaturlige horisontale temperatur- og saltholdighetsgradienter mellom hvert delområde.

**Figur 10** viser et kart over den delen av modellområdet som det blir fokusert på i prosjektet.



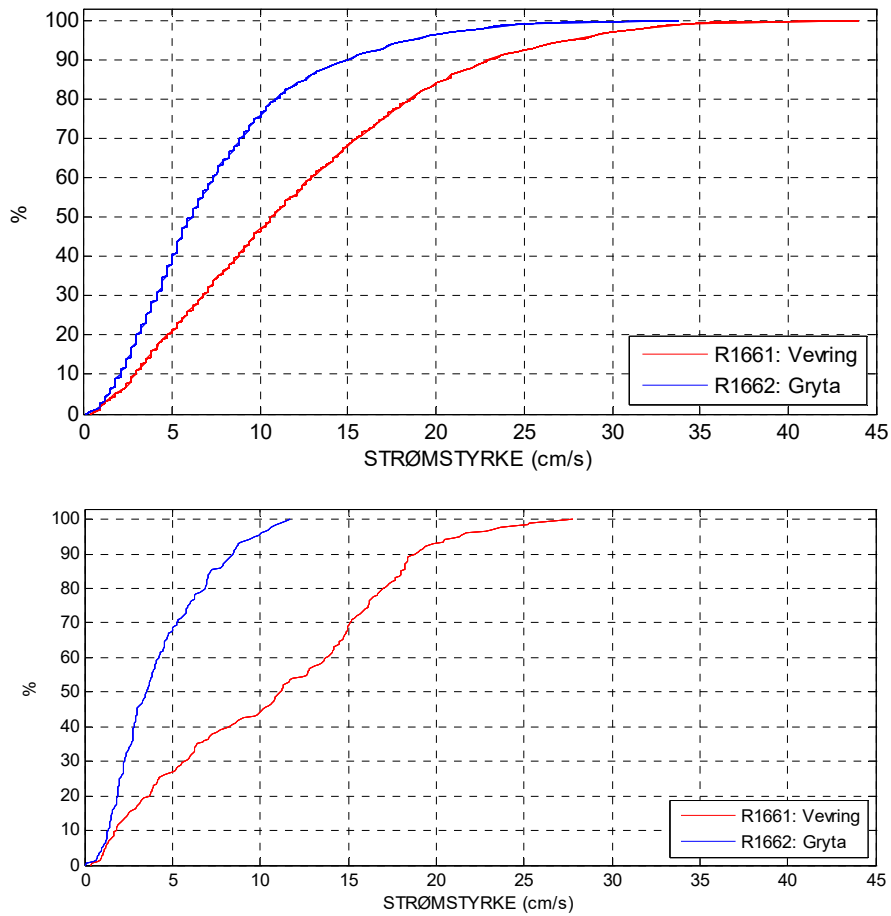
**Figur 10.** Kart over fjorden utenfor Engebøfjellet. De to strømmålerne (R1661, R1662), CTD stasjonene (F1, NM2) og oppdrettslokaliteter (L4, T1, T2, S1) er markert. Overflatestrømmen midlet over den perioden modellen er kjørt for er vist med brune piler. Den svarte linjen sørover fra Støselva angir et snitt på tvers av fjorden som det senere i rapporten blir beregnet partikkelkonsentrasjoner for.

## 4.2 Validering av modellen

Når feltmålingene skal sammenlignes med modellberegningene så må påpekes. Den strømmen som blir beregnet i 3 meters dyp representerer på grunn av modellens horisontale oppløsning en middelvei over et område på  $150 \times 150 \text{ m}^2$ . Dette kan bety at det blir mindre variasjon i strømstyrke og retning i modellenberegningene i forhold til feltmålingene.

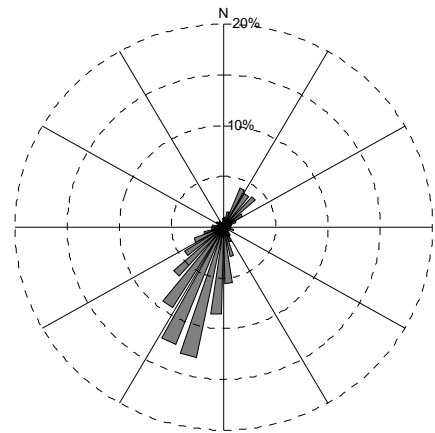
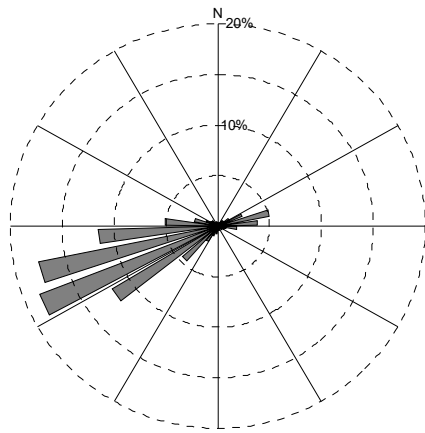
**Figur 11** viser kumulativ fordeling av strømstyrken for måleseriene og modellberegningene ved de to målepunktene. Modellen gir litt for høye verdier av strømstyrken ute ved Vevring og litt for lave verdier inne ved Grytaskjeret. Modellen klarer ikke å gjenskape de maksimale målte verdiene, men gir et godt bilde av strømstyrken opp til omtrent 95 percentilen. Både målingene og beregningene viser at strømmen er sterkest ute ved Vevring.

**Figur 12** viser strømretning ved rigg 1 og 2. Ute ved Vevring går det en sterk strøm ut fjorden. Hovedretningen er  $240^\circ$ - $260^\circ$ . Inne i Gryta går strømmen også hovedsakelig utover, men her er den svakere. Hovedretningen er  $190^\circ$ - $210^\circ$ . Strømmen følger dybdekonturene ved begge målepunktene. Modellen gjensker også strømretningen godt, selv om de målte strømretningene er mer spredt enn det modellen sier.

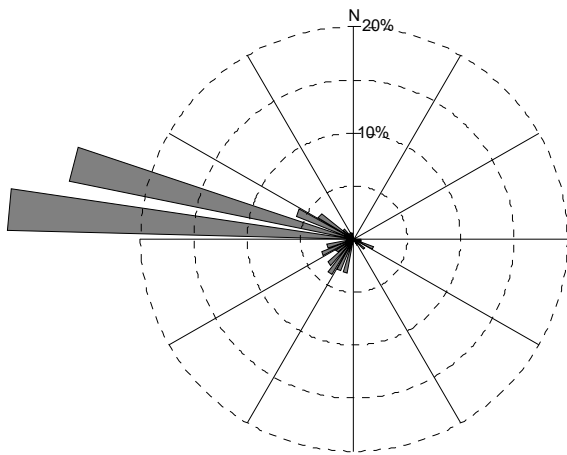


**Figur 11.** Kumulativ fordeling av strømstyrken i 3 m dyp. Den øverste figuren viser målt strømstyrke og den nederste figuren viser strømstyrken beregnet med modellen. Den beregnede strømstyrken er en middelvei av strømmen i en 150x150 m<sup>2</sup> stor beregningscelle, mens målingene er strøm målt i punkter.

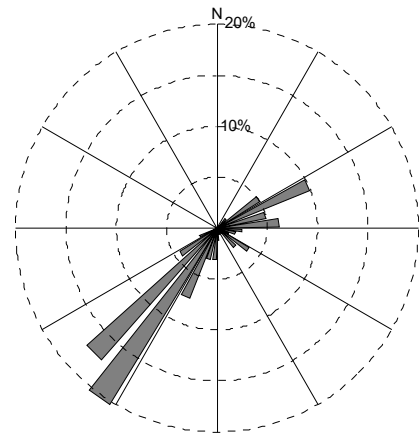
Måling:



Modell:



R1661: Vevring



R1662: Gryta

**Figur 12.** Målt (øverst) og beregnet (nederst) strømretning i 3 m dyp ved Vevring (venstre) og Gryta (høyre). Figurene viser prosentvis andel av strøm i hver retning.

## 5. Potensiell partikkelkonsentrasjon i fjorden

### 5.1 Utslippssenario

I denne undersøkelsen er det lagt inn tre utslippspunkt:

1. Grytaelvas utløp
2. Støselvas utløp
3. Engebøkaia

Det kan tenkes at det ved et uhell kommer partikler ut i både Grytaelva og Støselva samtidig. I så fall må beregningene av partikkelkonsentrasjon fra disse to utslippspunktene adderes. Ved et eventuelt brudd på nedføringsenheten ved Engebøkaia er det lite sannsynlig at det samtidig kommer partikler ut ved de andre utslippspunktene, da dette på sees på som en isolert hendelse.

Det vanskelig å anslå hvilke konsentrasjoner som kan opptre i utslippsvannet i de to elvene eller utenfor Engebøkaia ved et eventuelt uhell. Det er her valgt en lav, en middels og en høy konsentrasjon. Disse startkonsentrasjonene blir modellen initiert med etter at utslippsvannet er blandet inn i overflatelaget i en beregningscelle på 150x150 m<sup>2</sup>.

Havmodellen beregner partikkelkonsentrasjon i alle beregningsceller utifra en startverdi. Ved begynnelsen av modellberegningene blir partikkelkonsentrasjonen i de to øverste meterne i beregningscellene hvor utslippet skal være spesifisert. For å simulere et kontinuerlig utslipp blir konsentrasjonen i elveutløpene reinitiert hver 6. time i 54 timer og deretter hver 12. time. I modellkjøringen har startkonsentrasjonen blitt satt til 100 mg/l. Så lenge sporstoffet (partikkelkonsentrasjon) spres passivt i overflata, vil modellen behandle vann med ulike konsentrasjoner likt. Dermed kan partikkelskyens utbredelse studeres ved ulike startkonsentrasjoner utifra en modellkjøring ved å multiplisere med en faktor  $f$ , som er gitt fra formelen

$$c = f \cdot c_0 + c_B$$

hvor  $c_0$  er beregnet partikkelkonsentrasjonen over et bakgrunnsnivå  $c_B$  ved utslipp av vann med en konsentrasjon på 100 mg/l og  $c$  er beregnet partikkelkonsentrasjonen ved utslipp av vann med en konsentrasjon på  $f \cdot 100$  mg/l.

Modellen inkluderer ikke effekten av utsynkning (sedimentasjon) og vil dermed gi for høy partikkelkonsentrasjon. Oppdrettsanleggene kan ha 25-35 m dype merer og det er bare partikler som synker sakte nok til at de fortsatt befinner seg i dette vannlaget gjennom hele modellkjøringen som egentlig blir betraktet her. I praksis betyr dette at man betrakter partikler av størrelse 2-10  $\mu\text{m}$ . Hovedvekten av partiklene i avgangen vil trolig være 100-250  $\mu\text{m}$  (Dale m.fl. 2008), og størsteparten av disse vil synke ut i løpet av minutter- timer og vil ikke bli tatt med i videre beregninger. Den delen av partiklene som vil ha tilstrekkelig liten størrelse til at de kan betraktes partikler som spres passivt med vannmassene, vil utgjøre mindre enn 10% av den totale avgangen. I beregningene er det antatt at denne andelen er 10%. Partikkel-skyens utbredelse med en startkonsentrasjon på 10, 100 og 1000 mg/l blir presentert i **Figur 13**, **Figur 16** og **Figur 19**. Dette representerer altså finfraksjonen i avgangen, der den totale partikkelkonsentrasjonen kan være mer enn 10 ganger så stor. Konturlinjen 2 mg/l er brukt for å vise skyens utbredelse.

**Figur 7** viser sjøvannets tyngde ved stasjon F1. Ved 5 meters dyp er hele tiden vannets tetthet over 1021 g/l. Egenvekten til vannet i overflatelag og i sjøvannslag er i størrelsen 1010-1027 g/l og partikkeltilførselen fra elvene vil ikke bidra til noen merkbar endring av egenvekten. Modellen opererer med middelkonsentrasjonen for beregningsceller som har en horisontal utstrekning på 150x150 m<sup>2</sup>. Dette betyr at horisontalt kan konsentrasjonen variere en god del innen hver beregningscelle. Spesielt nær utslippet vil det forekomme konsentrasjoner som er større enn middelkonsentrasjonen i cellen. Lenger vekk fra utslippet vil denne effekten bli mindre. I disse kjøringene er det lagt inn en svak vind fra nordvest. Ved andre vindforhold vil spredningen i overflata bli noe annerledes.

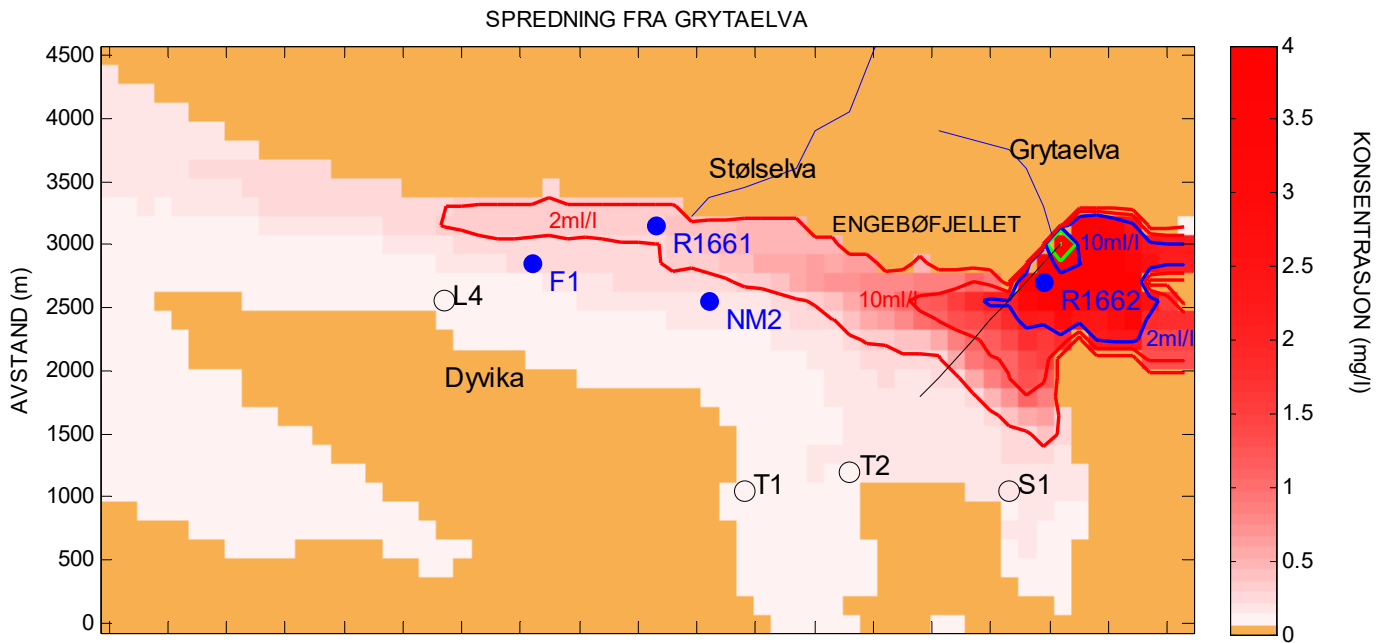
## 5.2 Utslipp fra Grytaelva

**Figur 13** viser den maksimale konsentrasjonen som forekommer i løpet av 7 dager i overflatelaget i fjorden ved utslipp fra Grytaelva. Konturlinjen for 2 mg/l over bakgrunnsnivået er valgt til å definere skyas utbredelse. 2 mg/l er ikke en høy konsentrasjon, men det er en verdi som vil være klart målbar over bakgrunnsnivået. Partiklene fordeler seg hovedsakelig i bukta innefor Grytaskjeret. Det er da fare for at høye partikkelkonsentrasjoner vil kunne forekomme her. Når partikkelskya kommer ut i fjorden utenfor Grytaskjeret blir den tatt av strømmen og fraktet utover på nordsiden av fjorden. Ved utslipp av vann med konsentrasjon 10 mg/l<sup>1</sup> vil skyen bre seg omtrent 150 m fra utslippspunktet ved et utslipp som varer i 7 dager. Ved utslipp av vann med 100 mg/l vil skya kunne bre seg omtrent 1000 m fra utslippspunktet, og konsentrasjoner på 10 mg/l kan finnes 300 m fra utslippspunktet. Ved utslipp av vann med 1000 mg/l vil skya kunne bre seg omtrent 5000 m fra utslippspunktet, og konsentrasjoner på 10 mg/l kan finnes 1300 m fra utslippspunktet.

Andre vindforhold vil trolig endre dette bildet. Det er for eksempel sannsynlig at langvarig vind fra øst i større grad vil spre ellevannet ut til området utenfor Grytaskjeret. Likedan er startkonsentrasjon for små partikler og utslippets varighet åpenbart av betydning.

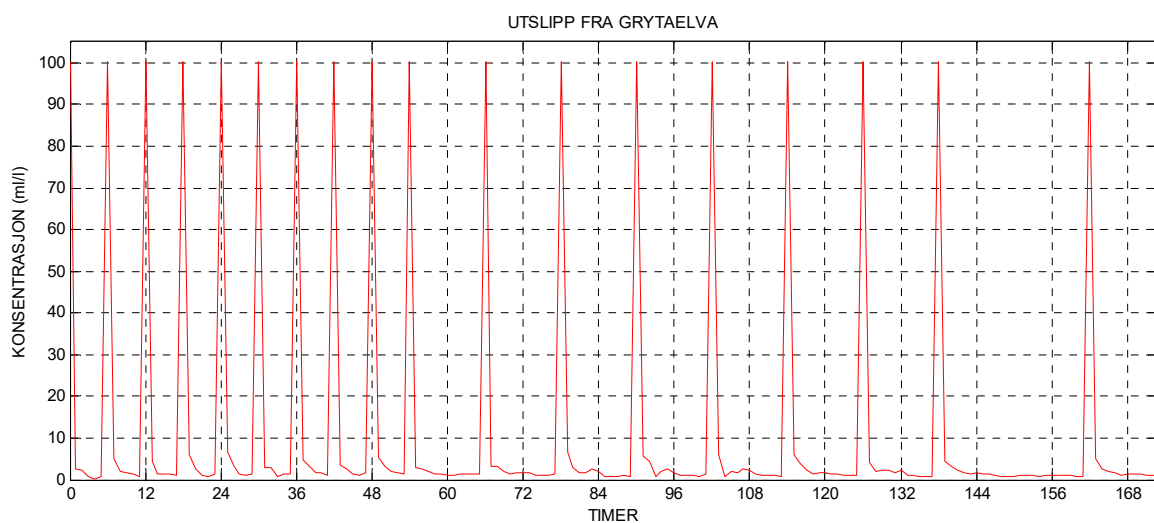
---

<sup>1</sup> Finfraksjon



**Figur 13.** Kart over maksimal konsentrasjon i løpet av en uke fra modellberegningene med utslipp fra Grytaelva. Konsentrasjon (finfraksjonen av utslippet) som funksjon av avstand fra utslippspunktet langs den svarte linjen er vist i Figur 15. De røde linjene er konturene 2 og 10 mg/l for utslipp med vann med startkonsentrasjon 1000 mg/l. De blå linjene er konturene 2 og 10 mg/l for utslipp av vann med startkonsentrasjon 100 mg/l. Den grønne linjen er konturen for konsentrasjon 2 mg/l for utslipp med vann med startkonsentrasjon 10 mg/l.

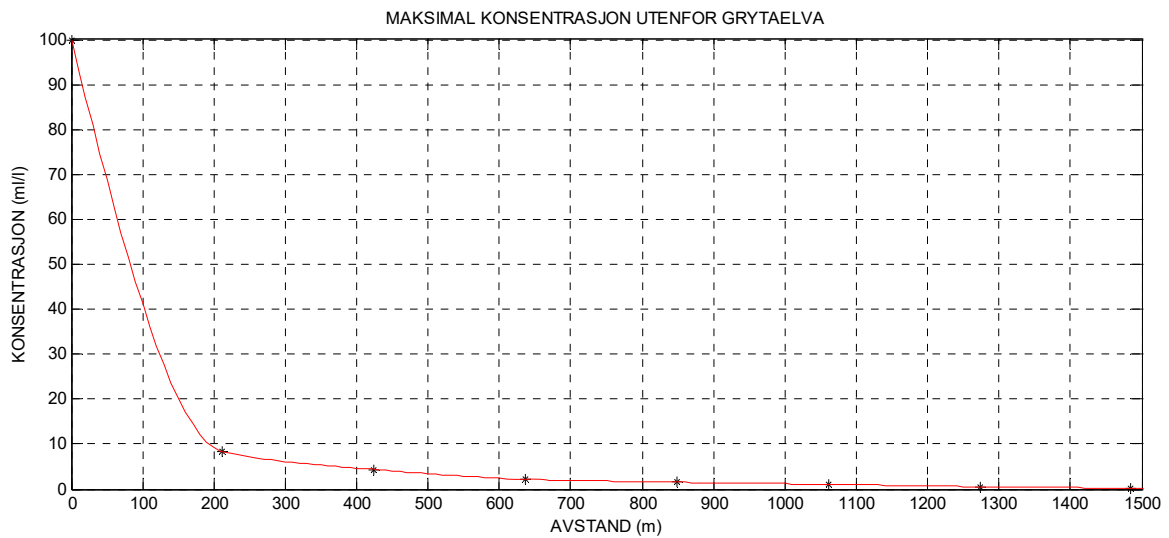
**Figur 14** viser konsentrasjonen i elveutløpet som funksjon av tiden. Fortynningen i den første timen etter hvert utslipp varierer mellom 15 og 37 ganger.



**Figur 14.** Tidsutviklingen av konsentrasjonen ved Grytaelvas utløp.



**Figur 15** viser den maksimale konsentrasjonen som funksjon av avstanden fra utslippet langs den svarte linjen i **Figur 13**. Elvevannet fortynnes 11 ganger på de første 200 m fra utslippet.

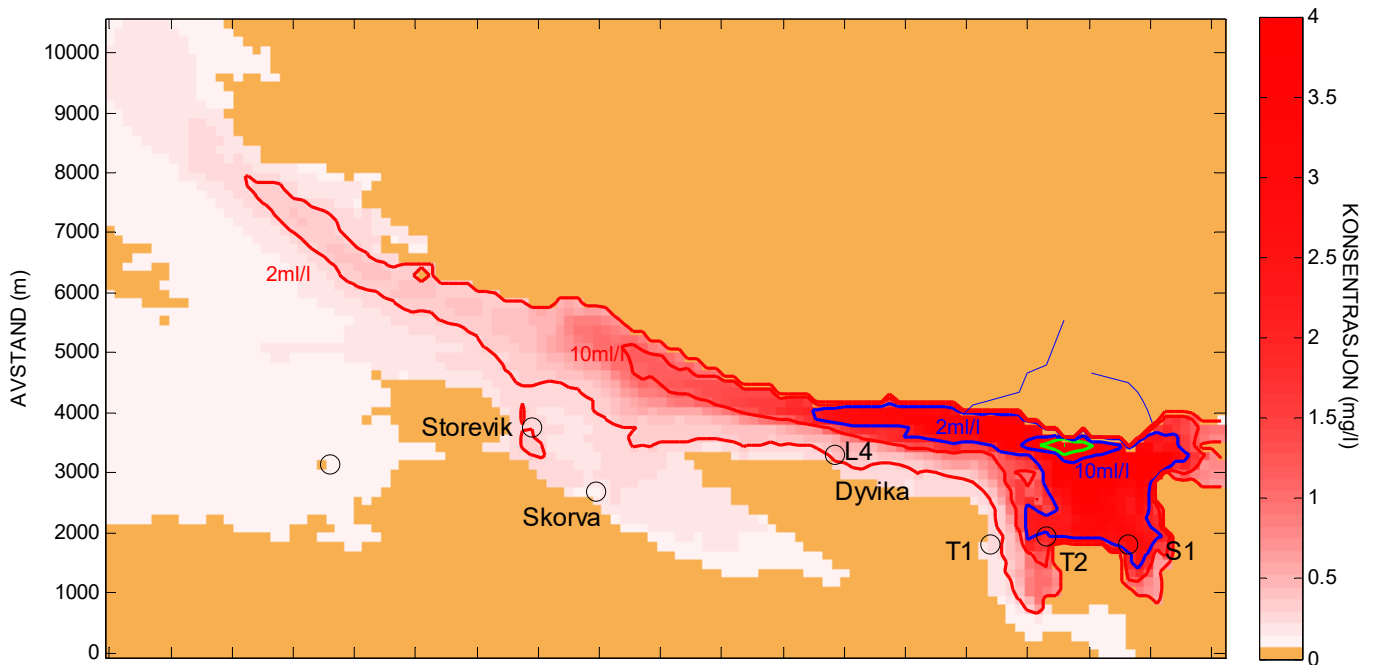


**Figur 15.** Den maksimale konsentrasjonen utenfor Grytaelva som funksjon av avstanden fra utløpet.

### 5.3 Utslipp fra Engebøkaia

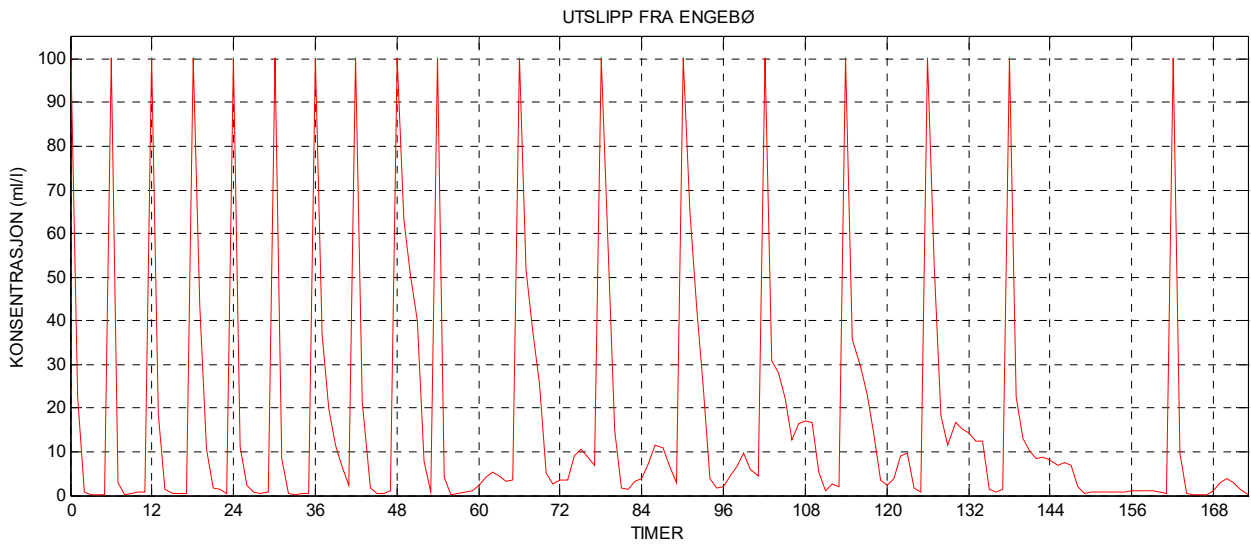
Det forutsettes at utslippet går til fjordens overflatelag ved land. **Figur 16** viser den maksimale konsentrasjonen som forekommer i løpet av 7 dager i overflatelaget i fjorden. Partiklene vil foruten å spre seg utover på nordsiden av fjorden også spres over hele fjorden øst for Engebø. Ved utslipp av vann med konsentrasjon 10 mg/l vil skyen definert ved 2 mg/l konturlinjen, bre seg omtrent 450 m fra utslippspunktet. Ved utslipp av vann med 100 mg/l vil skyen kunne bre seg omtrent 4000 m fra utslippspunktet, og konsentrasjoner på 10 mg/l kan finnes 900 m fra utslippspunktet. Ved utslipp av vann med 1000 mg/l vil skyen kunne bre seg omtrent 14 km fra utslippspunktet, og konsentrasjoner på 10 mg/l kan finnes 7500 m fra utslippspunktet.

Andre vindforhold kan trolig endre dette bildet. Likedan er startkonsentrasjon for små partikler og utslippets varighet åpenbart av betydning.



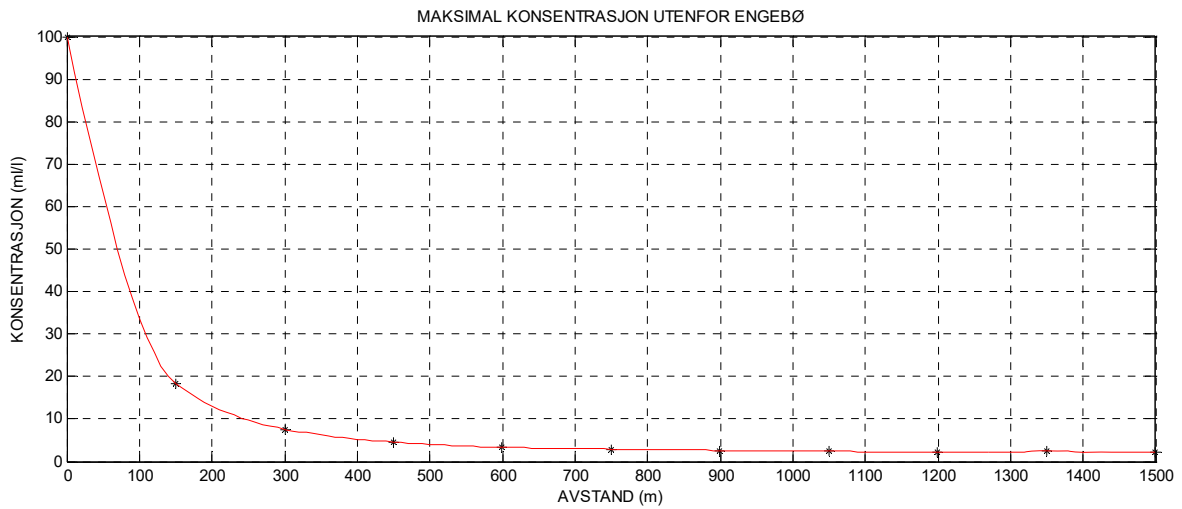
**Figur 16.** Kart over maksimal konsentrasjon i løpet av en uke fra modellberegningene med utslipp fra Engebøkaia. Konsentrasjon (finfraksjonen av utslippet) som funksjon av avstand fra utslippspunktet langs den svarte linjen er vist i Figur 18. De røde linjene er konturene 2 og 10 mg/l for utslipp med vann med startkonsentrasjon 1000 mg/l. De blå linjene er konturene 2 og 10 mg/l for utslipp av vann med startkonsentrasjon 100 mg/l. Den grønne linjen er konturen for konsentrasjon 2 mg/l for utslipp med vann med startkonsentrasjon 10 mg/l.

**Figur 17** viser konsentrasjonen i utløpet som funksjon av tiden. Fortynningen i den første timen etter hvert utslipp varierer mellom 2 og 35 ganger.



**Figur 17.** Tidsutviklingen av konsentrasjonen ved Engebøkaia.

**Figur 18** viser den maksimale konsentrasjonen som funksjon av avstanden fra utslippet langs den svarte linjen i **Figur 16**. Konsentrasjonen avtar 8 ganger på de første 200 m fra utslippet.

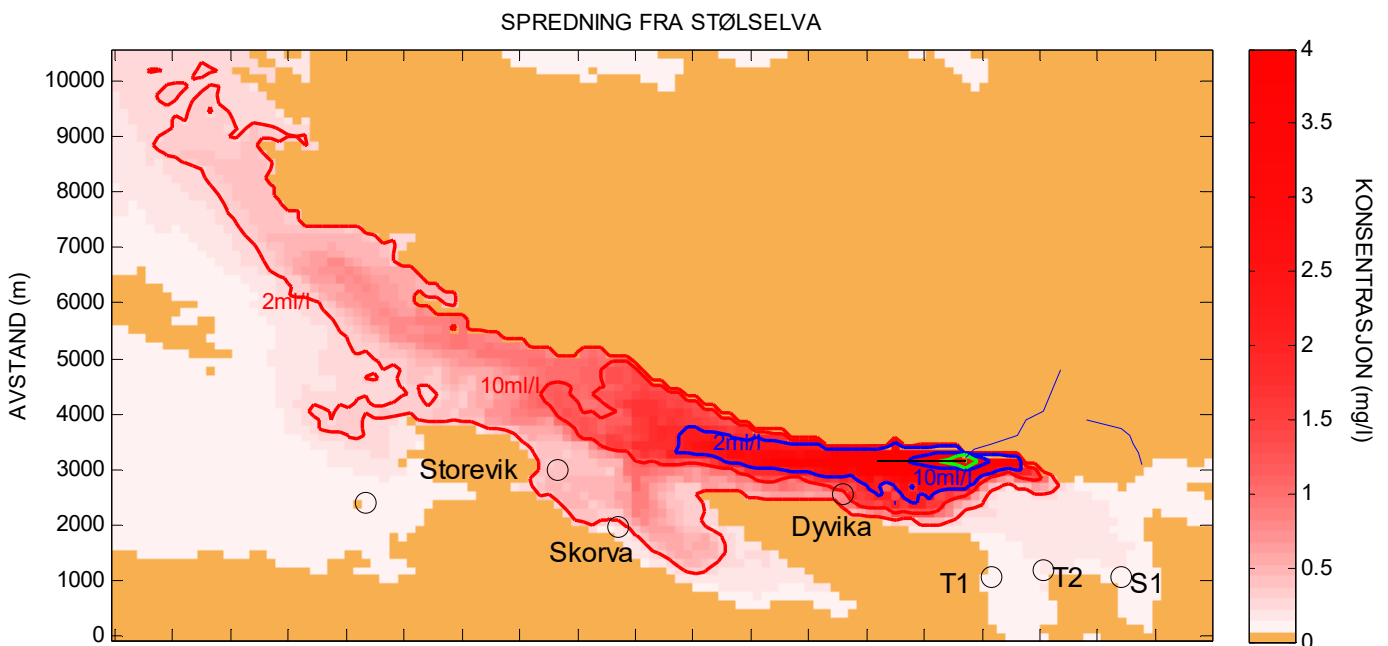


**Figur 18.** Beregnet maksimal konsentrasjonen utenfor Engebøkaia som funksjon av avstanden fra utløpet.

## 5.4 Utslipp fra Støselva

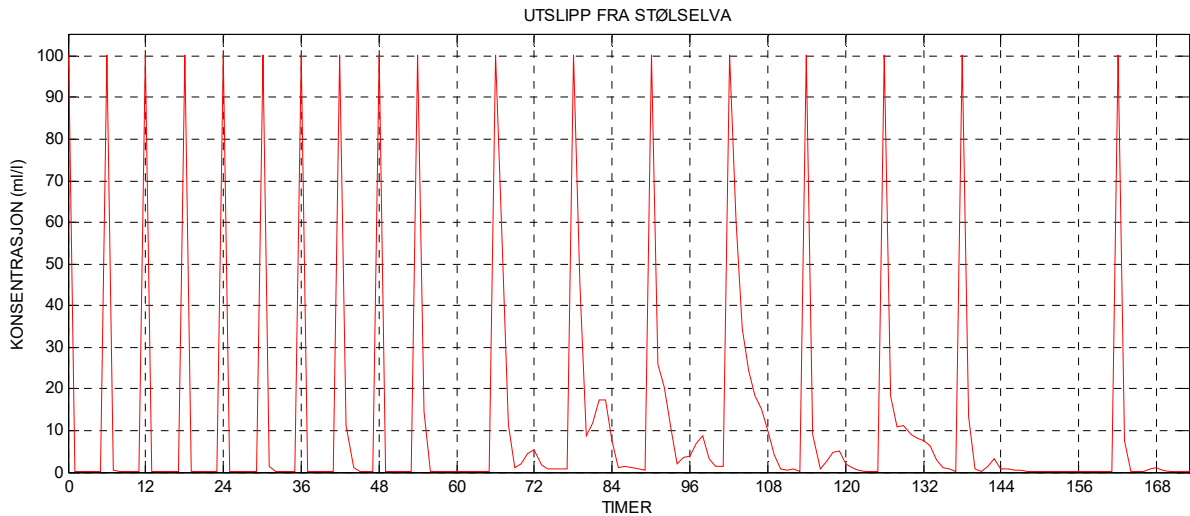
**Figur 19** viser den maksimale konsentrasjonen som forekommer i løpet av 7 dager i overflatelaget i fjorden ved utslipp fra Støselva. Partiklene blir hovedsakelig fraktet ut av fjorden, hvor de høyeste konsentrasjonene finnes på nordsiden av fjorden. Ved utslipp av vann med konsentrasjon 10 mg/l vil skyen definert ved 2 mg/l konturlinjen, bre seg omtrent 300 m fra utslippspunktet. Ved utslipp av vann med 100 mg/l vil skyen kunne bre seg omtrent 5000 m fra utslippspunktet, og konsentrasjoner på 10 mg/l kan finnes 900 m fra utslippspunktet. Ved utslipp av vann med 1000 mg/l vil skyen kunne bre seg omtrent 15 km fra utslippspunktet, og konsentrasjoner på 10 mg/l kan finnes 7800 m fra utslippspunktet.

Andre vindforhold kan trolig endre dette bildet. Likedan er startkonsentrasjon for små partikler og utslippets varighet åpenbart av betydning.



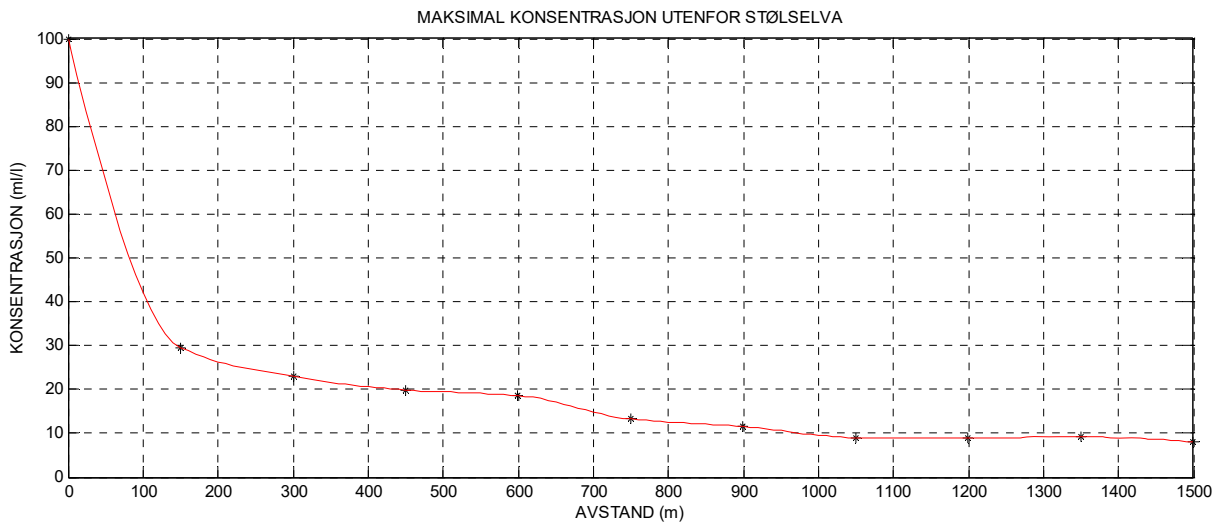
**Figur 19.** Kart over maksimal konsentrasjon i løpet av en uke fra modellberegningene med utslipp fra Støselva. Konsentrasjon (finfraksjonen av utslippet) som funksjon av avstand fra utslippspunktet langs den svarte linjen er vist i Figur 21. De røde linjene er konturene 2 og 10 mg/l for utslipp med vann med startkonsentrasjon 1000 mg/l. De blå linjene er konturene 2 og 10 mg/l for utslipp av vann med startkonsentrasjon 100 mg/l. Den grønne linjen er konturen for konsentrasjon 2 mg/l for utslipp med vann med startkonsentrasjon 10 mg/l.

**Figur 20** viser konsentrasjonen i utløpet som funksjon av tiden. Fortynningen i den første timen etter hvert utslipp varierer voldsomt. Etter det første utslippet fortynnes avløpsvannet hele 892 ganger i løpet av en time, mens det ved det 13. utslippet bare er en fortynning på 2 i løpet av den første timen.



**Figur 20.** Tidsutviklingen av konsentrasjonen utenfor Stølselvas utløp.

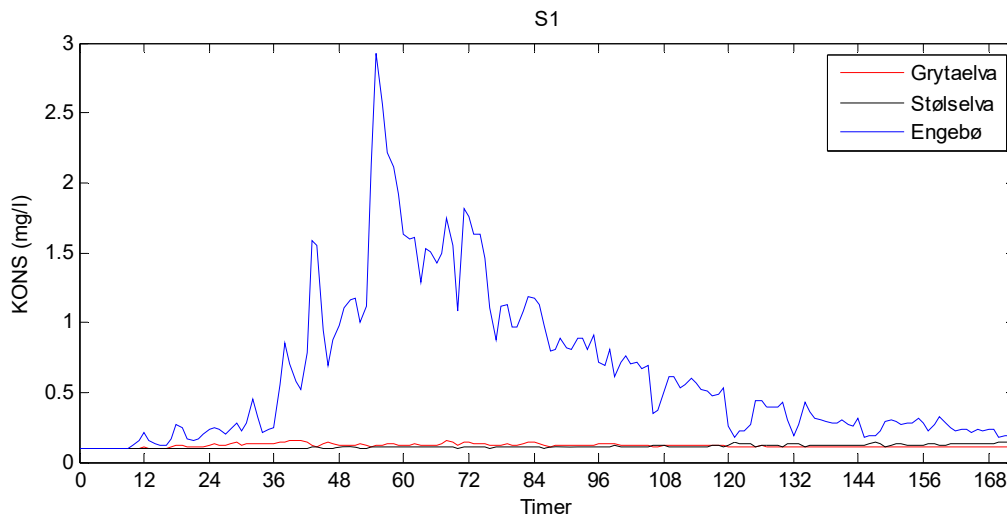
**Figur 21** viser den maksimale konsentrasjonen som funksjon av avstanden fra utslippet langs den svarte linjen i **Figur 19**. Ellevannet fortynnes 4 ganger på de første 200 m fra utslippet.



**Figur 21.** Den maksimale konsentrasjonen utenfor Stølselva som funksjon av avstanden fra utløpet.

## 5.5 Partikkelkonsentrasjon ved oppdrettslokalitet S1

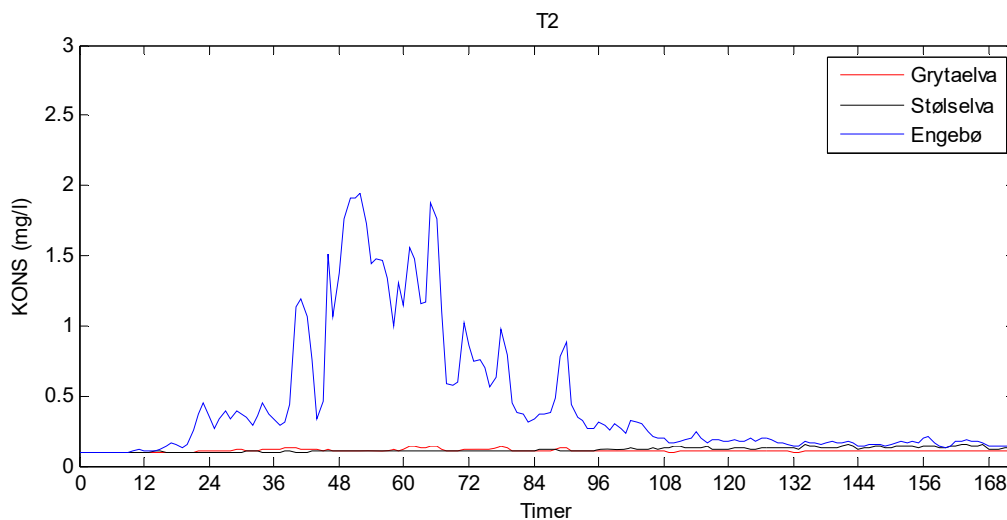
Lokaliteten S1 (se Figur 1) er den mest utsatte for høy partikkelkonsentrasjon (**Figur 22**). Ved et stort utslipp fra Engebøkaia viser beregningene at det sannsynligvis vil forekomme forhøyede partikkelkonsentrasjoner. Ved utslipp fra Grytaelva eller Støselva forekom det ikke forhøyede verdier av partikkelkonsentrasjon. Dette gjaldt for utslipp av vann med startkonsentrasjon 100 mg/l. Er startkonsentrasjonen 1000 mg/l forhøyes verdiene på x-aksen med en faktor 10. Med en høy konsentrasjon i utslippsvannet (1000 mg/l) og utslipp i både Grytaelva og Støselva samtidig kom likevel ikke konsentrasjonen ved S1 over 0,6 mg/l. Avstanden fra oppdrettslokaliteten til disse to utslippspunktene er henholdsvis 2000 m og 3400 m.



**Figur 22.** Konsentrasjon (finfraksjonen av utslippet) som funksjon av tiden ved S1 ved utslipp av vann med konsentrasjon 100 mg/l.

## 5.6 Partikkelkonsentrasjon ved oppdrettslokalitet T2

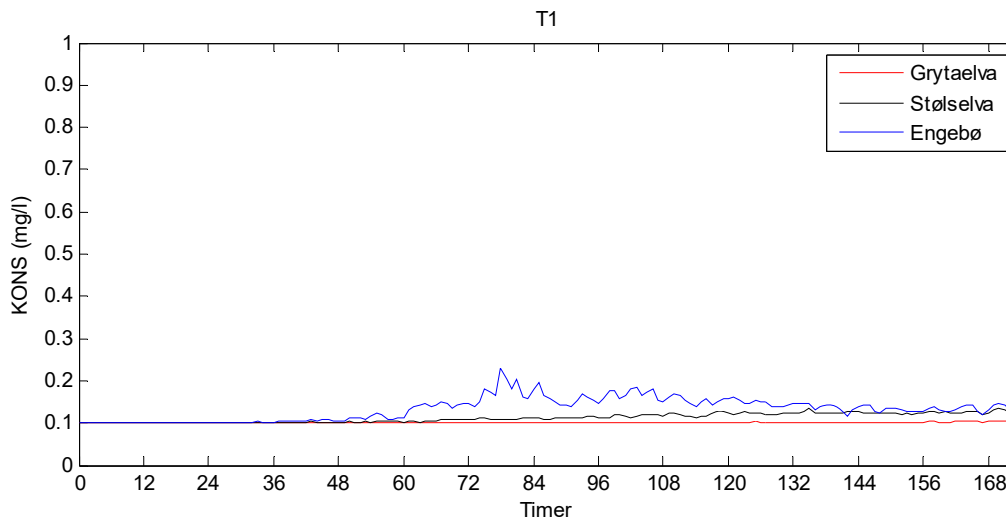
For lokalitet T2 viser beregningene (**Figur 23**) at det sannsynligvis vil forekomme forhøyet partikkelkonsentrasjon ved et stort utslipp fra Engebøkaia, men i noe mindre grad enn ved S1. Avstanden fra T2 til Engebøkaia er 1600 m. Dette gjelder for utslipp av vann med startkonsentrasjon 100 mg/l. Er startkonsentrasjonen 1000 mg/l forhøyes verdiene på x-aksen med en faktor 10. Hvis det er en høy konsentrasjon i utslippsvannet (1000 mg/l) og det er utslipp i både Grytaelva og Støselva samtidig, så kommer likevel ikke konsentrasjonen ved T2 over 0,6 mg/l. Avstanden fra oppdrettslokaliteten til disse to utslippspunktene er 2400 m.



**Figur 23.** Konsentrasjon (finfraksjonen av utslippet) som funksjon av tiden ved T2 ved utslipp av vann med konsentrasjon 100 mg/l.

## 5.7 Partikkelkonsentrasjon ved oppdrettslokalitet T1

Beregningene viser ikke konsentrasjoner over 0,3 mg/l ved T1 ved utslipp av vann med startkonsentrasjon 100 mg/l, verken for Grytaelva, Støselva eller Engebøkaia. Dette gjelder for utslipp av vann med startkonsentrasjon 100 mg/l. Er startkonsentrasjonen 1000 mg/l forhøyes verdiene på x-aksen med en faktor 10. Hvis det er en høy konsentrasjon i utslippsvannet (1000 mg/l) og det er utslipp i både Grytaelva og Støselva samtidig, så kommer likevel ikke konsentrasjonen ved T1 over 0,4 mg/l. Avstanden fra oppdrettslokaliteten til disse to utslippspunktene er henholdsvis 3300 m og 2200 m.



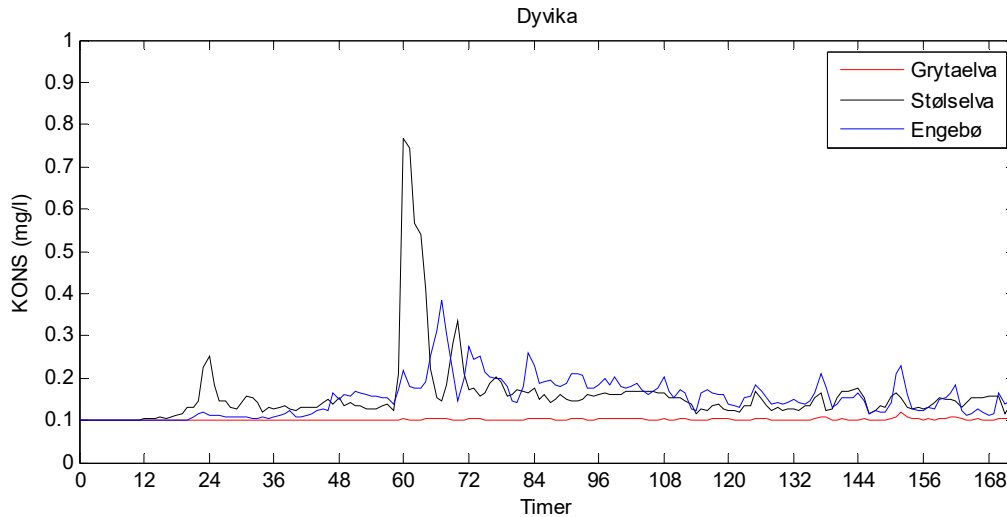
**Figur 24.** Konsentrasjon (finfraksjonen av utslippet) som funksjon av tiden ved T1 ved utslipp av vann med konsentrasjon 100 mg/l.



## 5.8 Partikkelkonsentrasjon ved oppdrettslokalitet L4, Dyvika

Ved utslipp fra Støselva forekom det forhøyede verdier av partikkelkonsentrasjonen i en kort periode (6 timer) ved Dyvika. Dette gjelder for utslipp av vann med startkonsentrasjon 100 mg/l.

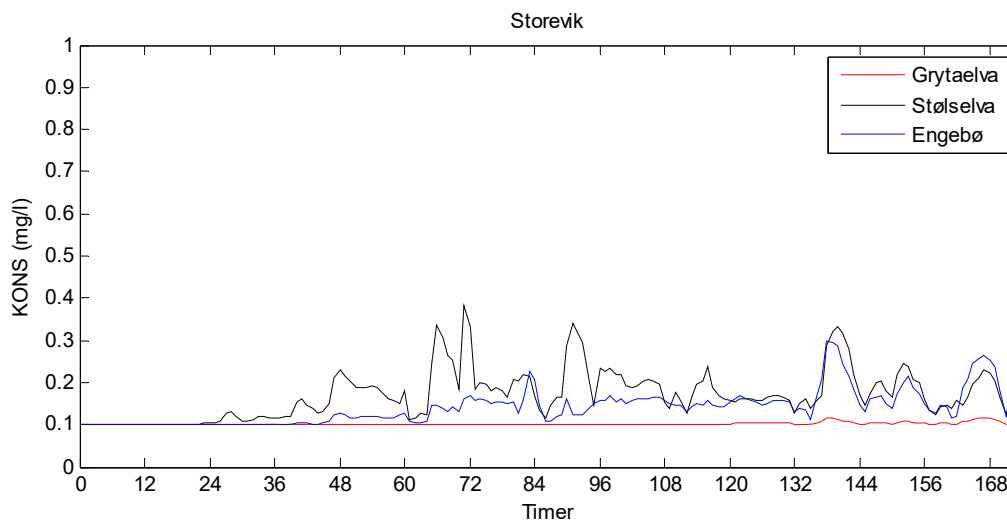
Er startkonsentrasjonen 1000 mg/l forhøyes verdiene på x-aksen med en faktor 10. Med høy konsentrasjon i utslippsvannet (1000 mg/l) og samtidig utslipp i Grytaelva og Støselva, så kom konsentrasjonen opp i 7 mg/l over bakgrunnsnivået ved Dyvika i modellberegningene.



**Figur 25.** Konsentrasjon (finfraksjonen av utslippet) som funksjon av tiden ved Dyvika (L4) ved utslipp av vann med konsentrasjon 100 mg/l.

## 5.9 Partikkelkonsentrasjon ved oppdrettslokalitet L2, Storevik

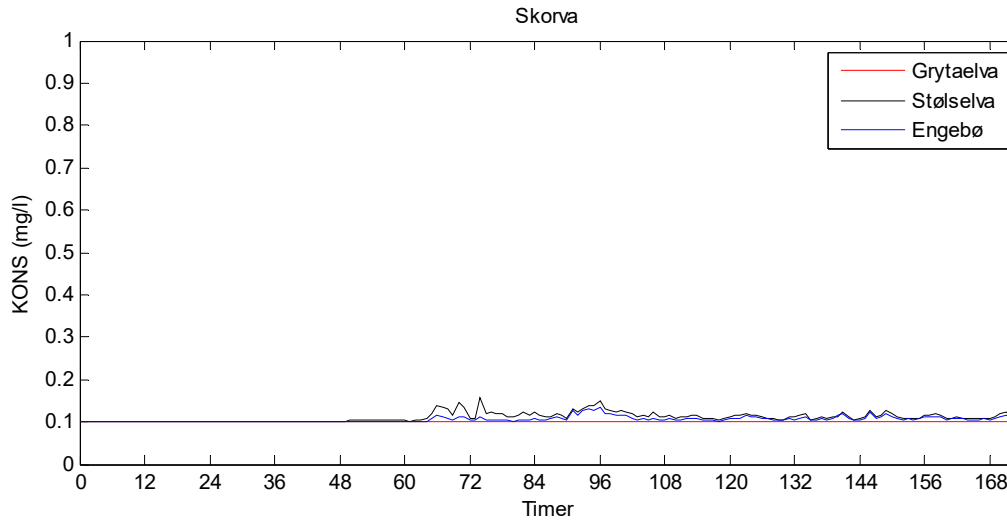
Det forekom ikke konsentrasjoner over 0,4 mg/l ved Storevik ved utslipp av vann med startkonsentrasjon 100 mg/l. Ved høy konsentrasjon i utslippsvannet (1000 mg/l) kunne konsentrasjonen ved Storevik komme opp i 2,0 mg/l i følge modellberegningene ved utslipp fra Engebøkaia. Avstanden fra oppdrettslokaliteten og hit er 8600 m. Ved samtidig utslipp i Grytaelva og Støselva kom konsentrasjonen opp i 2,8 mg/l.



**Figur 26.** Konsentrasjon (finfraksjonen av utslippet) som funksjon av tiden ved Storevik (L2) ved utslipp av vann med konsentrasjon 100 mg/l.

### 5.10 Partikkelkonsentrasjon ved oppdrettslokalitet L3, Skorva

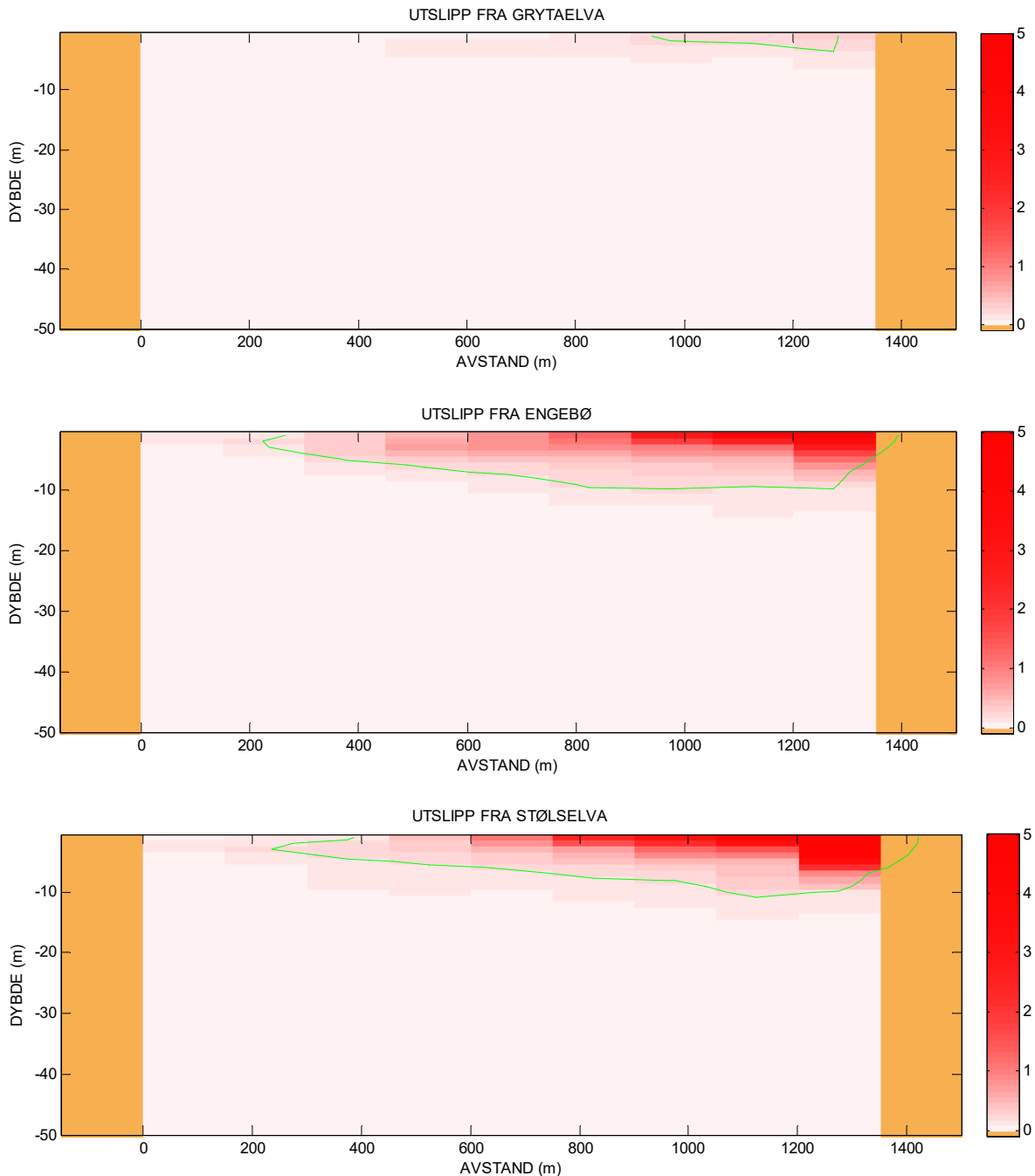
Det forekom ikke konsentrasjoner over 0,2 mg/l ved Skorva ved utlipp av vann med startkonsentrasjon 100 mg/l. Ved høy konsentrasjon i utlippsvannet (1000 mg/l) kunne konsentrasjonen ved Skorva komme opp i 0,4 mg/l over bakgrunnsnivået i følge modellberegningene ved utlipp fra Engebøkaia. Avstanden fra oppdrettslokaliteten og hit er 7700 m. Ved samtidig utlipp i Grytaelva og Stølselva kunne konsentrasjonen komme opp i 0,6 mg/l over bakgrunnsnivået.



**Figur 27.** Konsentrasjon (finfraksjonen av utslippet) som funksjon av tiden ved Skorva (L3) ved utlipp av vann med konsentrasjon 100 mg/l.

## 5.11 Vertikalt snitt på tvers av fjorden

**Figur 28** viser maksimal konsentrasjon av partikler i et vertikalt snitt på tvers av fjorden fra utløpet av Stølselva. Snittet er tegnet inn med svart linje i **Figur 10**. Konsentrasjonen kom ikke over 0,2 mg/l under 10 meters dyp. Dette gjelder for utslipp av vann med startkonsentrasjon 100 mg/l. Ved utslipp av vann med konsentrasjon på 1000 mg/l kom ikke konsentrasjonen av partikler over 1 mg/l under 10 meters dyp.



**Figur 28.** Vertikale snitt på tvers av fjorden som viser beregnet maksimal konsentrasjon (finfraksjonen) av partikler. Nordsiden av fjorden er til høyre i figurene. Konturlinjen for 0,2 mg/l er tegnet inn i grønt. Kun de øverste 50 meterne er vist.

## 6. Sammenfattende vurdering

Målet med dette arbeidet har vært å kartlegge mulige konsekvenser for det marine livet i fjorden ved et utslipp av partikler i overflatelaget fra gruveaktivitet i Engebøfjellet. Dette har blitt gjort ved å simulere utslipp av partikler fra tre posisjoner med havmodellen ROMS (Regional Ocean Modelling System). Hoveddelen av det oppknuste materialet som antas å brukes som avgang har en kornstørrelse mellom 100µm og 250 µm, dvs det er som fin sand i størrelse. Det betyr at sedimentasjon vil ha stor betydning for spredning i vannmassene. Vi vil anta at en viss andel av partiklene har størrelse mindre enn 100 µm og sedimenterer langsommere. Til eksempel vil en partikler med diameter ca. 5 -10 - 20 µm ha teoretisk synkehastighet på ca. 0,006- 0,03 -0,1 m/t i stillestående vann. Det er altså de aller minste partiklene som kan utgjøre en risiko for oppdrettsanleggene i nærheten. Kornene er i all hovedsak ovale og en svært liten del av avgangsmaterialet er nåleformet (Dale 2008).

Ved ordinær gruvedrift skal det ikke være noe utslipp av partikler til overflatelaget i fjorden og tiltaket forventes ikke å representere en konflikt med oppdrettsanleggene som har dybde ned mot 35 meter. Ved et mulig uhell knyttet til gruvevirksomheten er det to elver som kan frakte partikler ut i sjøen. Det er Stølselva som renner ut ved Vevring vest for Engebøfjellet, og Grytaelva som renner ut innenfor Grytaskjeret øst for Engebøfjellet. Det kan også tenkes at det for eksempel skjer et brudd på nedføringsledningen ved Engebøkaia med utslipp til overflatelaget. Hoveddelen av det oppknuste materialet som antas å brukes som avgang har en kornstørrelse mellom 100µm og 250 µm, dvs det er som sand i størrelse (Dale m.fl 2008). Disse partiklene vil synke ut av det aktuelle vannlaget i løpet av minutter –timer. En viss andel av partiklene har størrelse mindre enn 100 µm og sedimenterer langsommere. For eksempel vil en partikler med diameter ca. 5 -10 - 20 µm ha teoretisk synkehastighet på ca. 0,006- 0,03 -0,1 m/t i stillestående vann. Det er altså de aller minste partiklene som kan utgjøre en risiko for oppdrettsanleggene i nærheten. Kornene er i all hovedsak ovale og en svært liten del av avgangsmaterialet er nåleformet.

Vi kjenner ikke mengden av små partikler som kan bli ført ut i fjorden ved et uhell som fører til avrenning til Grytaelva, Stølselva eller som utslipp ved Engebøkaia, men undersøkelser kan tyde på 5-10% av avgangen (Dale m.fl 2008). I beregningene er det derfor antatt at 10 % av avgangen består av partikler som er så små at de driver passivt med vannmassene med neglisjerbar sedimentasjon. Startkonsentrasjon som er brukt i beregningene representerer altså en finfraksjon, mens total-konsentrasjonen i avgangen er 10 ganger så stor.

I beregningene er det brukt startkonsentrasjoner på 10-100-1000 mg/l, der den høyeste konsentrasjonen er nokså usannsynlig. Det er antatt at utslippet varer i inntil 7 dager under svak vind fra NV.

For å kalibrere den 3-dimensjonale spredningsmodellen er det gjort strømmålinger utenfor Stølselvas og Grytaelvas utløp. Utenfor Stølselvas utløp var det en relativt sterk strøm (medianverdien er omtrent 10 cm/s) som hovedsakelig er rettet ut av fjorden. Innenfor Grytaskjeret ved Grytaelvas utløp var også strømmen hovedsakelig rettet utover, men strømstyrken var litt svakere enn ved utenfor Stølselva (medianverdien er omtrent 7 cm/s). Havmodellen gjenspeiler dette bildet godt.

Konsentrasjonen av partikler som følge av utslippene har blitt beregnet som en funksjon av tiden ved alle oppdrettsanlegg i nærheten. Utslippet fra Grytaelva fordelte seg hovedsakelig i bukta innefor Grytaskjeret. Det er da fare for at høye partikkelkonsentrasjoner vil kunne forekomme her. Når partikkelskya kom ut i fjorden utenfor Grytaskjeret ble den tatt av strømmen og fraktet utover på nordsiden av fjorden. Ved tilførsel av vann med konsentrasjon 10 mg/l fant man at skyen definert ved 2 mg/l konturlinjen, bredte seg omtrent 150 m fra utslippspunktet ved et utslipp som varer i 7 dager. Ved tilførsel av vann med 100 mg/l bredte skya (gitt ved 2mg/l-konturlinjen) seg omtrent 1000 m fra

utslippspunktet, og konsentrasjoner på 10 mg/l kunne finnes 300 m fra utslippspunktet. Ved tilførsel av vann med 1000 mg/l bredte skya seg (definert ved 2 mg/l konturlinjen) omtrent 5000 m fra utslippspunktet, og konsentrasjoner på 10 mg/l kunne finnes 1300 m fra utslippspunktet. Det skal tilføyes at et vanlig bakgrunnsnivå i fjordens overflatelag trolig er omkring 0,5 mg/l og at risikoen for skader på fisk ansees som liten ved 2 mg/l.

Ved et tilsvarende utslipp (hendelse) fra Stølselva blir partiklene hovedsakelig fraktet ut av fjorden, hvor de høyeste konsentrasjonene finnes på nordsiden av fjorden. Ved tilførsel av vann med konsentrasjon 10 mg/l bredte skya seg (definert ved 2 mg/l konturlinjen) omtrent 300 m fra utslippspunktet ved et utslipp over 7 dager. Ved tilførsel av vann med 100 mg/l lå denne konturlinjen ca. 5000 m fra utslippspunktet, og konsentrasjoner på 10 mg/l kunne finnes 300 m fra utslippspunktet. Ved tilførsel av vann med 1000 mg/l lå konturlinjen ca 15 km fra utslippspunktet, og konsentrasjoner på 10 mg/l kunne finnes 7800 m fra utslippspunktet.

Ved et tenkt utslipp (hendelse) fra Engebøkaia vil de minste partiklene foruten å spre seg utover på nordsiden av fjorden også spres over hele fjorden øst for Engebø. Ved en startkonsentrasjon 10 mg/l vil skyen definert ved 2 mg/l konturlinjen, bre seg omtrent 450 m fra utslippspunktet. Ved tilførsel av vann med 100 mg/l vil skya kunne bre seg omtrent 4000 m fra utslippspunktet, og konsentrasjoner på 10 mg/l kunne finnes 900 m fra utslippspunktet. Ved tilførsel av vann med 1000 mg/l bredte skya seg omtrent 14 km fra utslippspunktet, og konsentrasjoner på 10 mg/l kunne finnes 7500 m fra utslippspunktet. Ved utslipp av vann med konsentrasjon på 100 mg/l, var det bare ved lokalitetene T2 (Torsk- Russeneset V) og S1 (Skjell-Russeneset) konsentrasjoner på over 1 mg/l forekom. Ved T2 kom ikke konsentrasjonen over 2 mg/l. Ved S1 var konsentrasjonen over 2 mg/l (men under 3 mg/l) i omtrent 6 timer. Ved tilførsel av vann med konsentrasjon 1000 mg/l blir disse tallene 10x høyere (10-30 mg/l).

Utslippsvannet må ha en høy konsentrasjon (opp mot 1000 mg/l av små partikler) og må ha en viss varighet (flere dager) for at forhøyede partikkelkonsentrasjoner vil forekomme ved noen av oppdrettsanleggene i området over tid. Ved et tenkt utslipp (hendelse) fra Grytaelva eller Engebøkaia er det imidlertid fare for at høye akkumulerte verdier av partikkelkonsentrasjon kan forekomme innenfor Grytaskjeret.

### **Usikkerheter ved undersøkelsen**

Kun utslipp i overflatelaget er vurdert i denne delrapporten. Ved utslipp som innlagres i et dyp lenger nede i vannsøylen, for eksempel ved et brudd på nedføringsenheten vil dette kunne spre seg annerledes horisontalt her enn det ville gjort i overflatelaget. Men ved et dypere utslipp vil primærfortynningen av utslippsvannet foregå lenger vekk fra der hvor mesteparten av det pelagiske marine livet oppholder seg. Det er derfor sannsynlig at et utslipp i overflatelaget er et verst tenkelig tilfelle.

Sedimentasjon er ikke inkludert og det er derfor viktig å påpeke at større partikler - som synker ut raskt - ikke er tatt med betraktning fordi det antas at disse synker ut i nærheten av utslippspunktet og ikke blir spredd videre med overflatestrømmen. Når det i modellberegningene for eksempel er brukt en startkonsentrasjon på 100 mg/l så er dette konsentrasjon av finfraksjonen og dette vil da representere en konsentrasjon i avgangen på mer enn 1000 mg/l.

Modellkjøringene er gjort med vind fra nordøst 5 m/s. Dette er middels vindstyrke og retning ved Florø Lufthavn fra 1. april til 31. mai 2008. Andre vindforhold med en viss varighet ville kunne gi et annet spredningsmønster.

Varigheten av et eventuelt uhell med utslipp til overflatelaget er selvsagt ikke kjent. Konsentrasjoner i overflatelaget som følge av et utslipp med lengre varighet enn en uke er ikke tatt med i betraktningen.

## Referanser

Dale, T., Kvassnes, J.S. & Iversen, E.R. (2008)

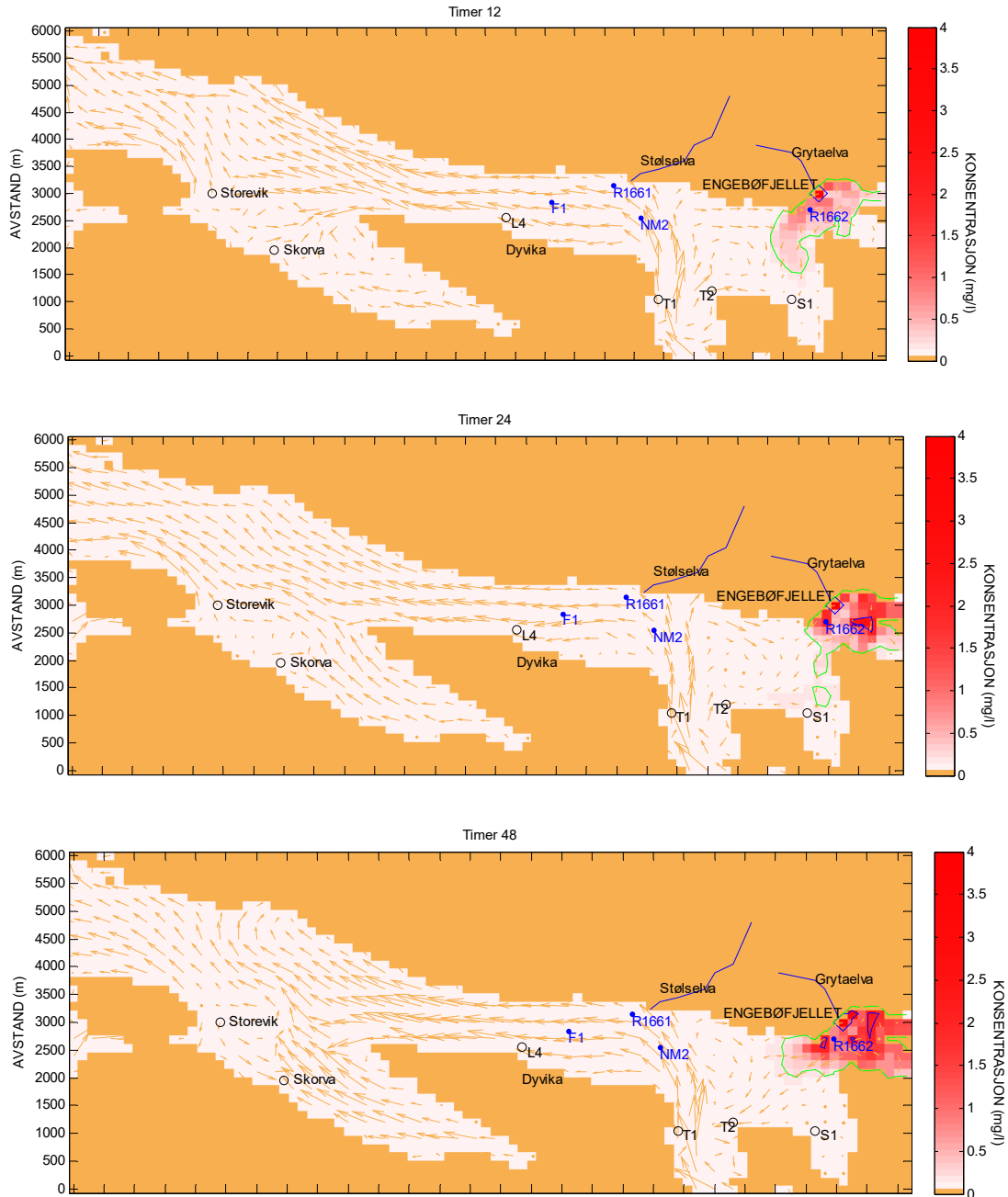
Risikoen for skader på fisk og blåskjell ved gruveaktivitet på Engebøneset – En litteraturstudie om effekter av metaller og suspenderte partikler, NIVA-rapport

Haidvogel, Arango, Budgell, Cornuelle, Curchister, Lorenzo, Fennel, Geyer, Hermann, Lanerolle, Levin, McWilliams, Miller, Moore, Powell, Shchepetkin, Sherwood, Signell & Warner (2007)

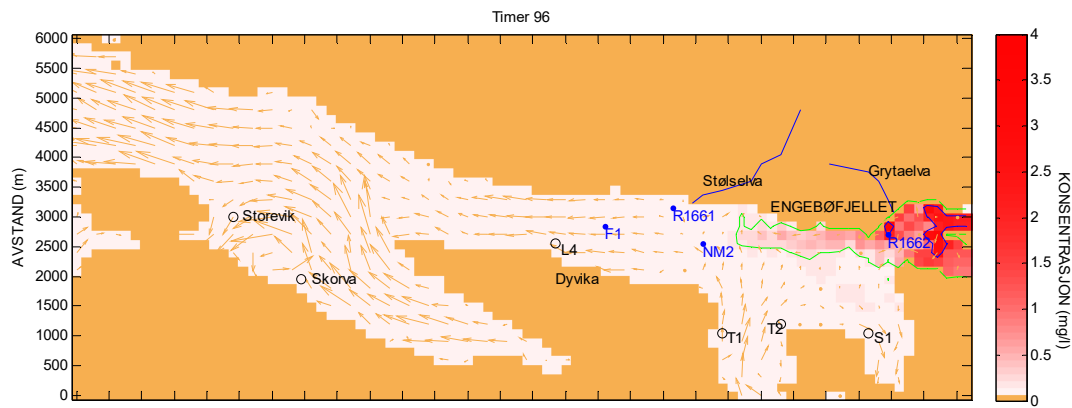
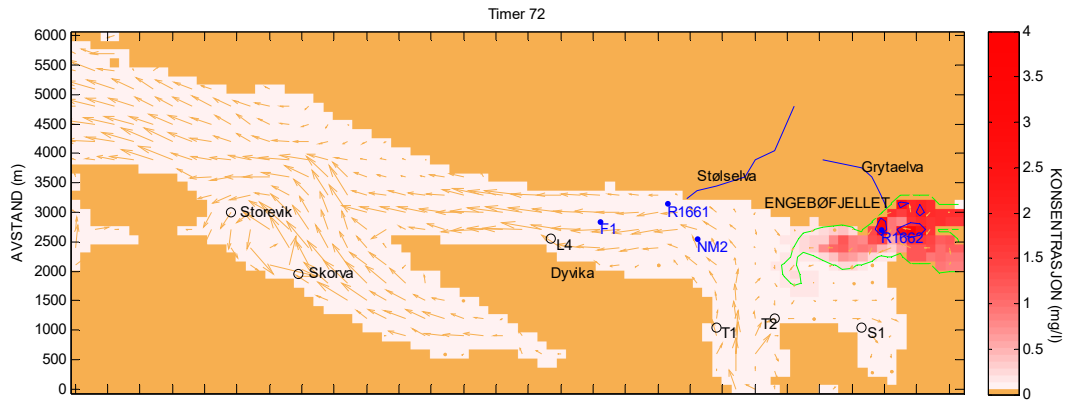
Ocean forecasting in Terrain-following Coordinates: Formulation and Skill Assessment of the Regional Ocean Modelling System, Journal of Computational Physics (2007).

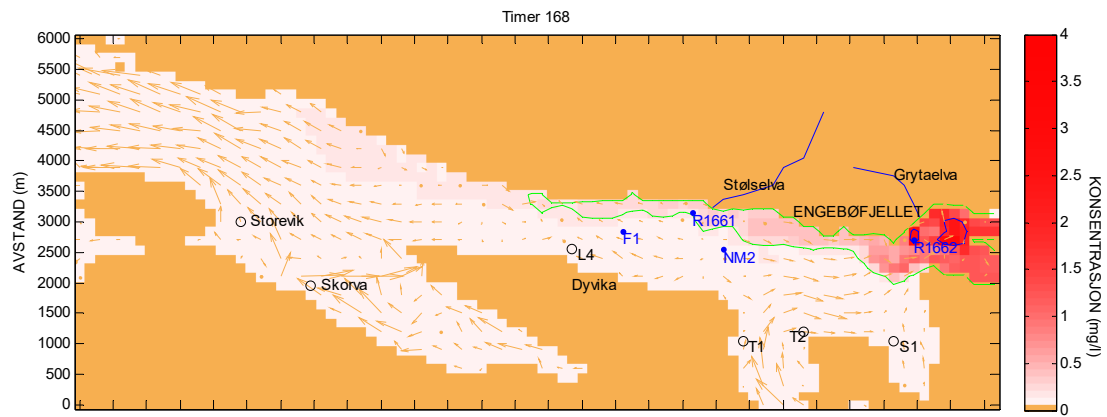
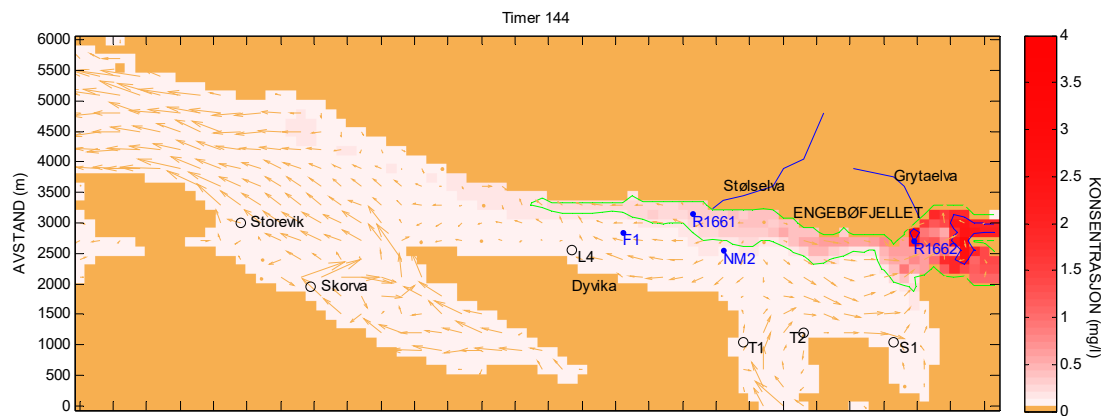
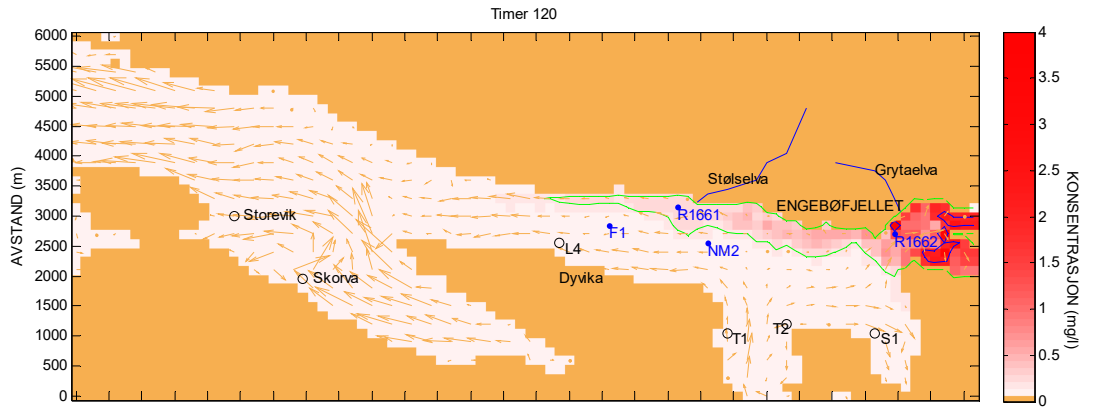
## Vedlegg A. Spredning fra Grytaelva

Figurene under viser overflatekonsentrasjonen etter 12 og 24 og deretter hver 24. time. Konturlinje for 0.2 og 2 mg/l er tegnet inn med henholdsvis grønn og blå linje. Dette gjelder for utslipp av vann med startkonsentrasjon 100 mg/l (finfraksjonen).



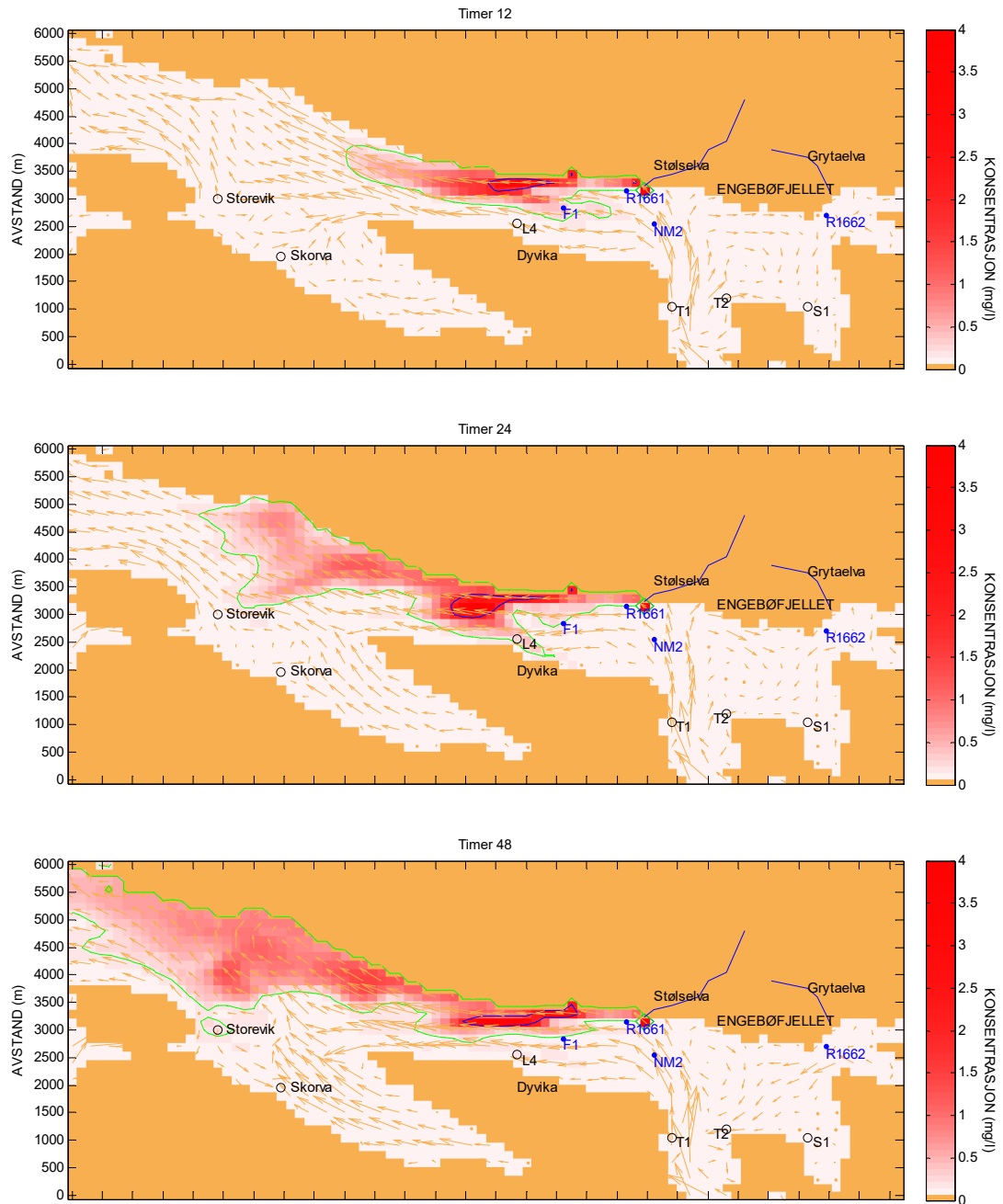


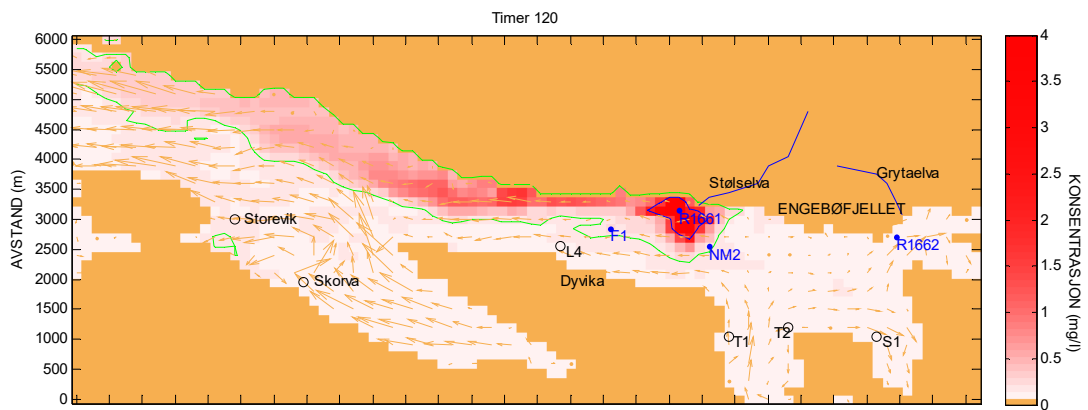
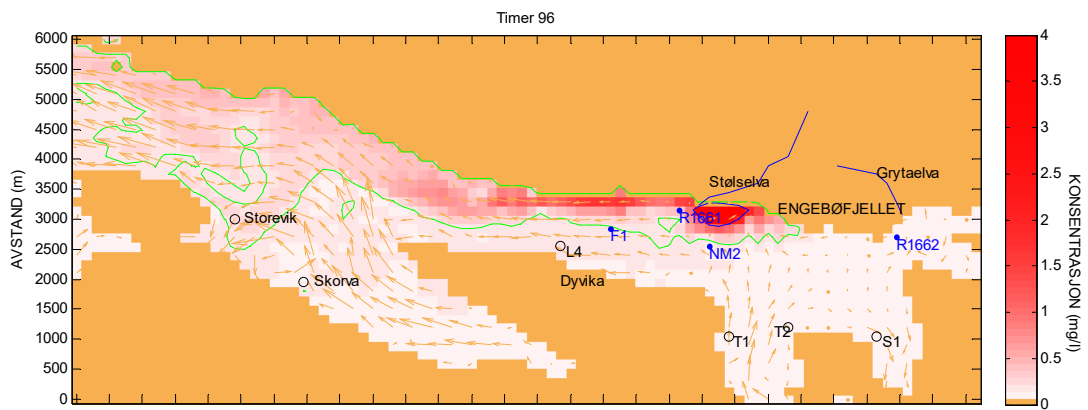
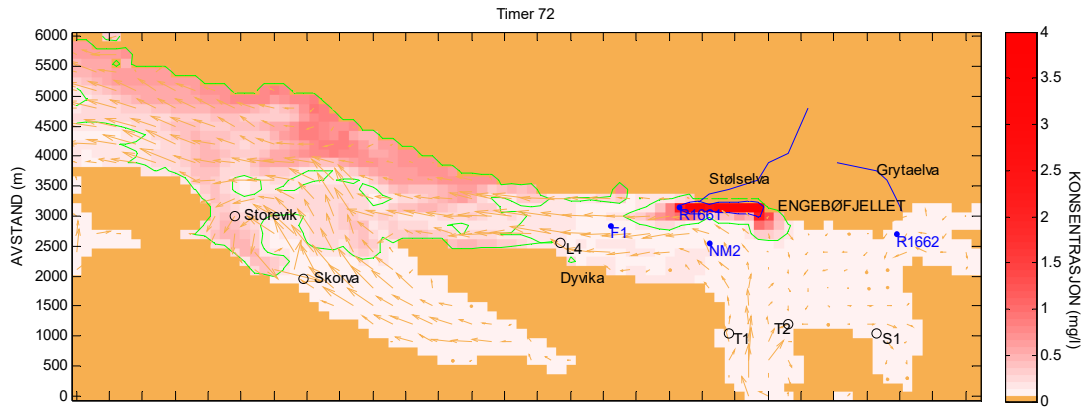


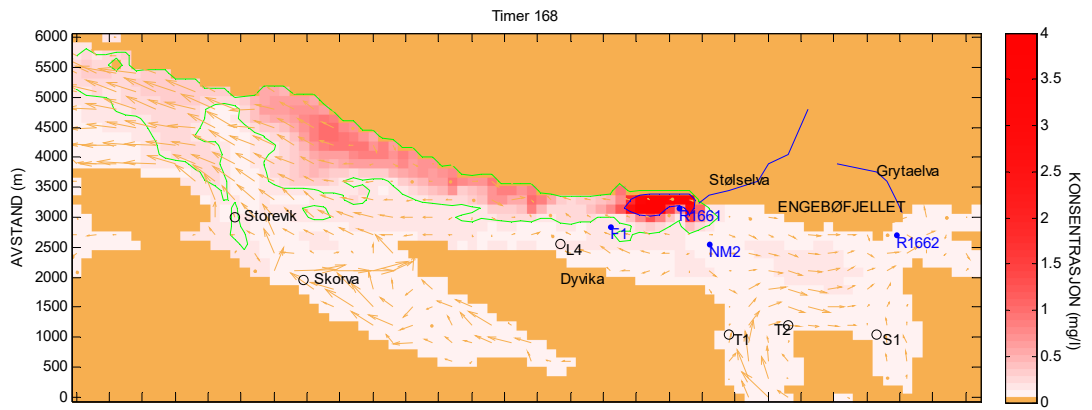
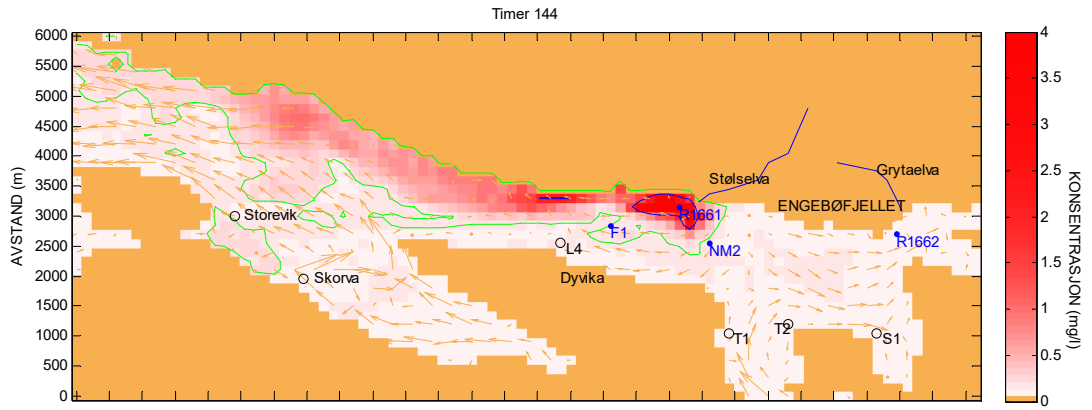


## Vedlegg B. Spredning fra Støselva

Figurene under viser overflatekonsentrasjonen etter 12 og 24 og deretter hver 24. time. Konturlinje for 0.2 og 2 mg/l er tegnet inn med henholdsvis grønn og blå linje. Dette gjelder for utslipp av vann med startkonsentrasjon 100 mg/l (finfraksjonen).







## Vedlegg C. Spredning fra Engebøkaia

Figurene under viser overflatekonsentrasjonen etter 12 og 24 og deretter hver 24. time. Konturlinje for 0.2 og 2 mg/l er tegnet inn med henholdsvis grønn og blå linje. Dette gjelder for utslipp av vann med startkonsentrasjon 100 mg/l (finfraksjonen).

