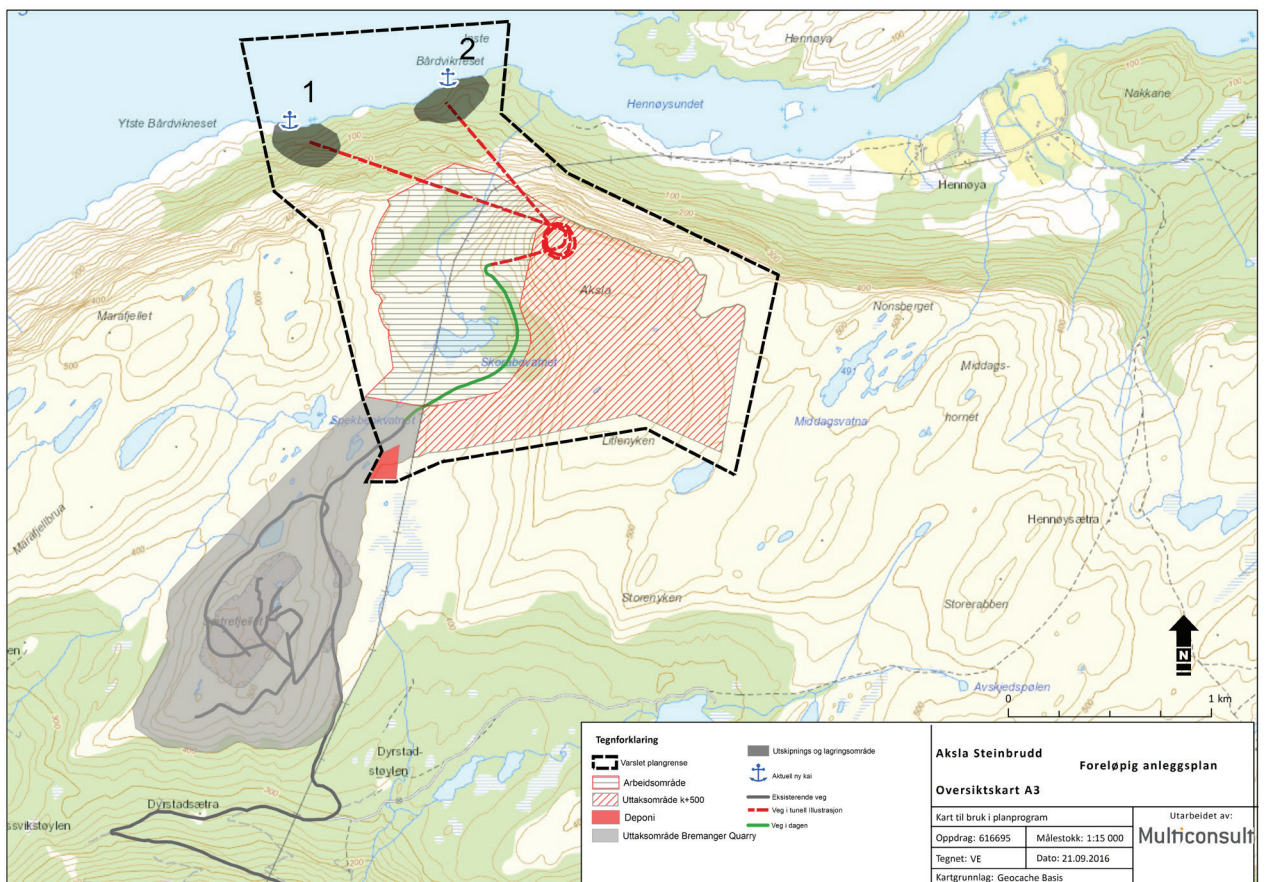


# Vurdering av spredning av partikler fra Aksla steinbrudd



**Hovedkontor**

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

**NIVA Region Sør**

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

**NIVA Region Innlandet**

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

**NIVA Region Vest**

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

Tittel Vurdering av spredning av partikler fra Aksla steinbrudd	Løpenummer 7160-2017	Dato 06.06.2017
Forfatter(e) André Staalstrøm Trond Kristiansen Hartvig C. Christie	Fagområde Hydrologi og oseanografi	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Bremanger	Utgitt av NIVA NIVAs prosjektnummer 17175

Oppdragsgiver(e) Multiconsult AS	Oppdragsreferanse Solveig Renslo
-------------------------------------	-------------------------------------

**Sammendrag**

Spredning av steinstøv fra planlagt utskipningskai ved Bårdvikneset i Frøysjøen er i dette prosjektet modellert med havmodellen ROMS og verktøyet OpenDrift som beregner partikkelbaner. Partikkelkonsentrasjon i vannmassene og sedimenteringshastighet langs bunn er beregnet. OpenDrift resultatene viser at sedimenteringshastigheten kan bli over 2 mm/år rett under utskipningskaiene, og i et belte langs bunn opp mot munningen til Hennøysundet. Dette vil ha en negativ betydning på dyrelivet nedi bunnen og for tang og tare i disse områdene. Partikkelkonsentrasjonen i vannmassene på den nærmeste låssettingsplassen i Hennøysundet eller ved det nærmeste oppdrettsanlegget ved Løypingneset vil ikke bli høye nok til at dette vil bli et problem for låssatt fisk eller fisk i merder. Oppdrettsanlegg som anlegges nær utskipningskaia vil kunne oppleve forhøyet partikkelkonsentrasjon i overflatelaget. Modellberegningene tyder på at konsentrasjonen kan komme opp mot 6 mg/L i en avstand av ca. 500 m og under 1 mg/L i en avstand av 1500 m fra utskipningskaia.

Fire emneord 1. Sogn og Fjordane 2. OpenDrift 3. Partikkelspredning 4. Gruvedrift	Four keywords 1. Sogn og Fjordane County 2. OpenDrift 3. Dispersion of particles 4. Mining
---	--



*André Staalstrøm*  
Prosjektleder



*Kai Sørensen*  
Forskningsleder

# **Vurdering av spredning av partikler fra Aksla steinbrudd**

## Forord

NIVA har blitt bedt om å modellere spredning av partikler fra utskipningskaier for et fremtidig steinbrudd i Bremanger, og utrede hvilke konsekvenser dette vil ha for ressurser i sjøen i området. Oppdragsgiver er Multiconsult, som er leder den overordnede utredningen for Bremanger Quarry AS. André Staalstrøm har vært prosjektleder og har utført modelleringen i samarbeid med Trond Kristiansen. Hartvig Christie har hatt ansvar for arbeidet med å utrede biologiske konsekvenser av partikkel spredningen. Soveig Renslo har vært kontaktperson hos Multiconsult.

Oslo, 2. juni 2017

*André Staalstrøm*

---

# Innholdsfortegnelse

<b>1 Innledning</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Beskrivelse av strømforholdene i området</b> .....	<b>10</b>
<b>3 Spredning av partikler</b> .....	<b>12</b>
3.1 Partikkelspredningsmodellen OpenDrift .....	12
3.2 Beskrivelse av utslipps-scenariet .....	12
3.3 Konsentrasjon i vannmassene .....	13
3.4 Kart over sedimenteringshastighet .....	16
<b>4 Vurdering av konsekvenser</b> .....	<b>18</b>
4.1 Konsekvenser for tang og tare og bunndyr .....	18
4.2 Konsekvenser for fiskeaktivitet og akvakulturanlegg .....	19
<b>Referanser</b> .....	<b>19</b>

## Sammendrag

Spredning av steinstøv fra planlagt utskipningskai ved Bårdvikneset i Frøysjøen er i dette prosjektet modellert med havmodellen ROMS og verktøyet OpenDrift som beregner partikkelbaner. Partikkelkonsentrasjon i vannmassene og sedimenteringshastighet langs bunn er beregnet. Resultatene er skalert mot undersøkelser som tidligere er gjort ved den eksisterende utskipningskaia Dyrstad.

Sjøområdet ut for Bårdvika der det forventes spredning av mineralske partikler ut fra utskipningskaia består i følge sjøkart av en bratt skrånende bunn ned til mer enn 300 m dyp, og med slik topografi det sannsynligvis skrånende fjellbunn som dominerer. Slike bratte kystlinjer med fjellbunn domineres normalt av tang, tare og andre makroalger ned til rundt 20-25 m dyp og med innslag av fastsittende og bevegelige bunndyr som eneste bunnlevende organismer dypere enn algebeltet. Både algene og det meste av dyrelivet er festet til underlaget som består av substrat som fjell eller stein og rekruttering av disse organismene er avhengig av et fast substrat uten sediment-dekke for å feste seg, og med en økende sedimentering fra virksomheten vil slike hardbunnsorganismer bli skadelidende. Tidevannssonen er påvirket av vind-drevne bølger og mye vannbevegelse slik at slam/partikler blir vasket ut og sedimenterer på bunnområdene nedenfor.

Det har det blitt observert og beskrevet dårlig tilstand for tidligere tareområder i indre kyst på Vestlandet, noe som også gjelder Sogn og Fjordane, som skyldes at trådalger over-gror og kveler tarene og de andre opprinnelige algene og fører til en redusert økologisk tilstand. Slike forhold er ofte forbundet med økt tilslamming, men i motsetning til de mineralske partiklene som kommer fra steinbrudd, vil dette slammene ha større innslag av organisk materiale som kan være næring for filtrerende dyr. Denne tilslammingen sammen med slam/partikler fra steinbrudd virksomheten vil øke sedimenteringen på fjellbunnen og dermed bidra til økende risiko for at fastsittende organismer ikke vil finne egnet underlag for å slå seg ned. Dette gjelder tare og andre makroalger, men også dyr som sekkedyr, kalkrørsmark, sjøanemoner og svamp vil få reduserte muligheter til å feste seg til underlaget. Slike filtrerende dyr vil også bli påført økt stress ved belastning av uorganiske partikler. Bevegelige dyr som sjøstjerner, snegl og krepsdyr vil ikke bli direkte berørt, men vil oppleve reduserte skjulesteder og næring. Omfanget av reduserte forhold vil være avhengig av hvor stort område det er sannsynlig at partikkelbelastningen vil føre til et lag av dekkende slam oppå fjellbunnen.

OpenDrift resultatene viser at sedimenteringshastigheten kan bli over 2 mm/år rett under utskipningskaiene, og i et belte langs bunn opp mot munningen til Hennøysundet. Dette vil ha en negativ betydning på dyrelivet nedi bunnen og for tang og tare i disse områdene.

Partikkelkonsentrasjonen i vannmassene på den nærmeste låssettingsplassen i Hennøysundet eller ved det nærmeste oppdrettsanlegget ved Løypingneset vil ikke bli høye nok til at dette vil bli et problem for låssatt fisk eller fisk i merder. Oppdrettsanlegg som anlegges nær utskipningskaia vil kunne oppleve forhøyet partikkelkonsentrasjon i overflatelaget. Modellberegningene tyder på at konsentrasjonen kan komme opp mot 6 mg/L i en avstand av ca. 500 m og under 1 mg/L i en avstand av 1500 m fra utskipningskaia.

## Summary

Title: Evaluation of dispersion of particles from Aksla quarry

Year: 2017

Author: André Staalstrøm, Trond Kristiansen and Hartvig C. Christie

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN 978-82-577- 6895-9

Dispersion of mineral particles from a planned quay at Bårdvikneset in Frøysjøen is modeled in this project with the ROMS ocean model and using the OpenDrift tool that calculates particle tracks. Particle concentration in the water masses and sedimentation rate along the bottom are calculated. The results are scaled against environmental investigations previously made in the sea area outside the existing quay at Dyrstad.

The sea area outside Bårdvika, where it is expected that the dispersion of mineral particles from the loading of vessels consists steep sloping bottom down to more than 300 m deep, and with such topography it is probable that rocky bottom dominates. Such steep bathymetry with rocky bottom are usually dominated by seaweed, kelp and other macro algae down to about 20-25 m deep and with moving benthic animals as the only aquatic organisms deeper than the belt of seaweed and kelp. Both the algae and most of the wildlife are attached to the substrate consisting of rock and recruitment of these organisms depends on a solid substrate without sediment cover to attach and with increasing sedimentation from the activity at the quay, such hard bottom organisms will be harmed. In the tidal zone wind-driven waves and water movement wash out particles and they settle in the bottom areas below.

It has been observed poor ecological state for benthic animals and for seaweed and kelp in the area of the inner coast of Western Norway, which also applies to Sogn og Fjordane. This is due to the fact that thread algae overgrown and suffocate the original algae and lead to a reduced ecological state. Such conditions are often associated with increased sedimentation, but unlike the sedimentation from mineral particles that originate from quarries, this sludge will have larger elements of organic matter that can be nutrition for filtering animals. Particles that disperse from loading of vessels can to some degree increase sedimentation on the rock bottom, thus contributing to the increasing risk that organisms will not find suitable substrates to settle down. This applies to macroalgae, but also different animals that will have reduced opportunities to attach to the bottom. The extent of this effect will depend on the size of the affected area that will be covered with a layer of mineral particles.

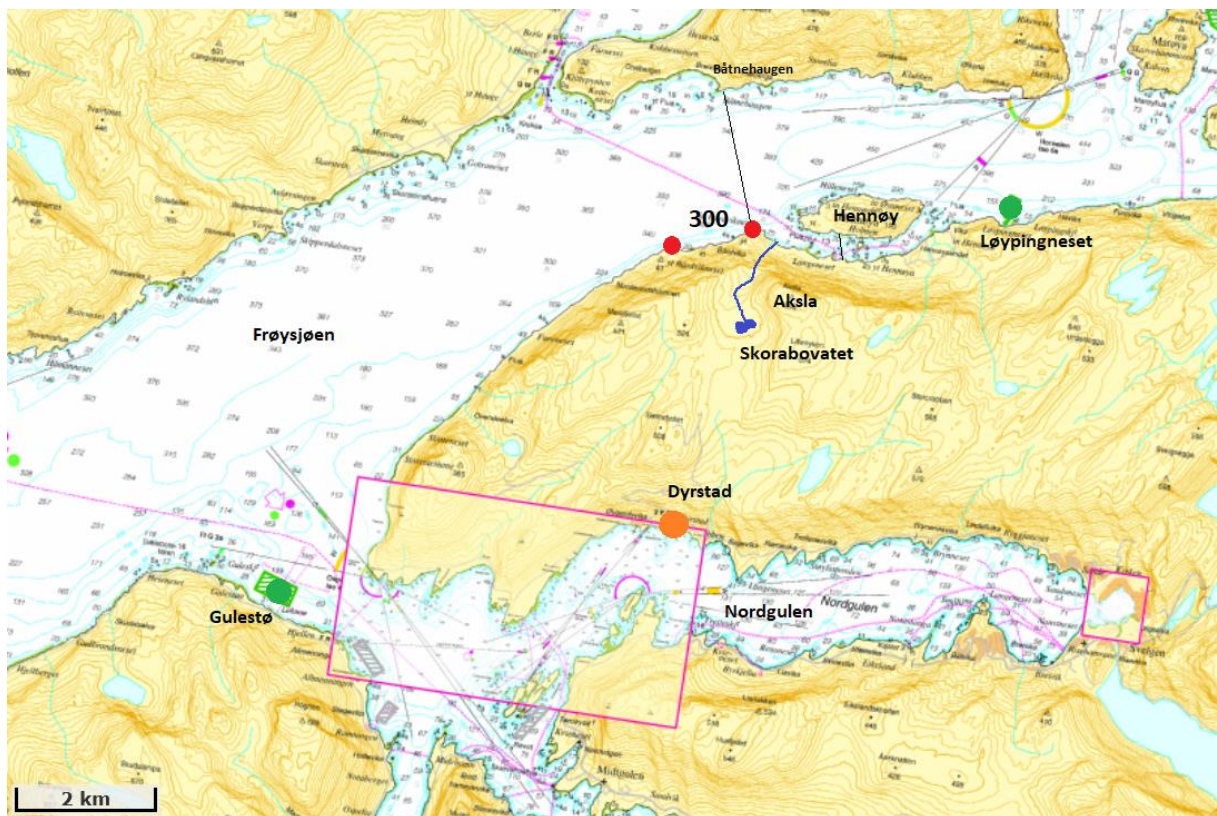
The OpenDrift results show that the sedimentation rate can be over 2 mm/year below the quay, and in a belt along the bottom towards the mouth of Hennøysundet. This will have a negative impact on benthic animals and for seaweed and kelp in these areas.

The particle concentration in the water masses in Hennøysundet or at the nearest aqua culture site at Løypingneset will not be increased to such levels that this can be a problem for fish in cages. If an aquaculture site is located close to the quay the fish in the cages might experience elevated particulate concentration. The model calculations indicate that the concentration may reach 6 mg/L at approximately 500 m and less than 1 mg/L at a distance of 1500 m from the quay.

# 1 Innledning

Det er planlagt et nytt steinbrudd på Dyrestadhalvøya i Bremanger kommune i Sogn- og fjordane, hvor det vil tas ut sandstein fra fjellet Aksla (se Figur 1). I følge planprogram for reguleringsplanen for området vil sandsteinen bli brukt som tilslagsmateriale i blant annet asfalt, offshorevirksomhet og til bygging av jernbaner (Løvteit & Høvdning, 2014). Det er planlagt et årlig uttak av sandstein på 1-2 millioner tonn. Dette kan gradvis økes til 10 millioner tonn avhengig av markedet for produktet. Steinmassene vil fraktes ned til et lagringsområde ved en utskipningskai som vil bestå av en flytende konstruksjon. Massene vil fraktes med transportbånd til ventende skip. Det er to mulige alternativer for utskipningskaier, som er Inste eller Ytste Bårdvikneset (se Figur 2).

Dette steinbruddet kommer i tillegg til et allerede eksisterende steinbrudd i området som har utskipningskai på Dyrstad i Nordgulen, på motsatt side av halvøya. I dette steinbruddet ble det i 2016 tatt ut 3,8 millioner tonn. Det har tidligere blitt foretatt en resipientundersøkelse av området ved utskipningskaia i Dyrstad, og det ble funnet at et område på 14000 m<sup>2</sup> av sjøbunnen var påvirket av steinstøv fra utskipningskaia (Wypianska, 2013).



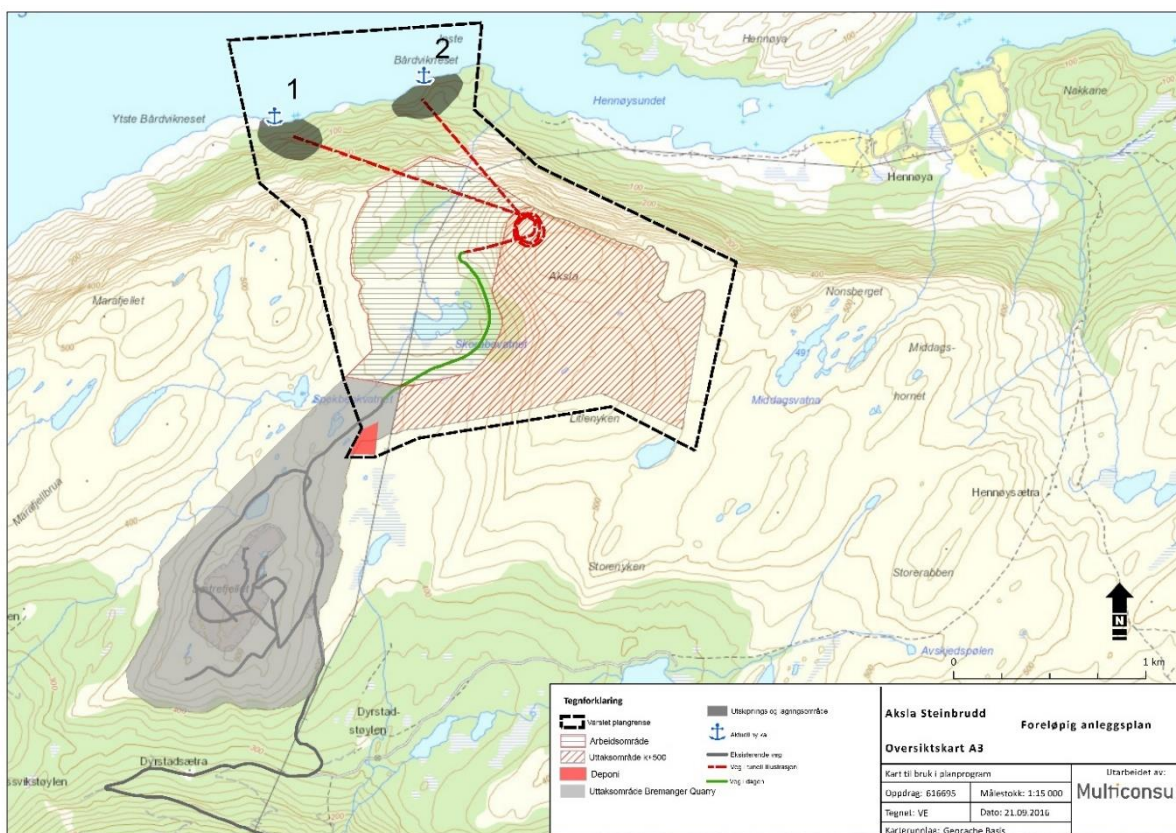
**Figur 1.** Kart over området. Det nye steinbruddet vil ha utskipningskai ved en av de to røde prikkene, som ligger ved hhv. Inste eller Ytste Bårdvikneset, i Frøysjøen. Det eksisterende steinbruddet har utskipningskai ved Dyrstad i Nordgulen, markert med oransj prikk. De to nærmeste oppdrettsanleggene for laks, hhv. Gulestø og Løypingneset, er markert med grønne prikker. Bremangers kommunesenter Svelgen ligger innerst i Nordgulen.



Det vil ikke være noe utslipp til sjø utover steinstøv som kan spres fra utskipingskaia. Det vil etableres sedimenteringsbassenger i steinbruddet. Vann herfra vil drenere videre til Skorabovatnet, som i dag brukes som sedimenteringsbasseng for det eksisterende steinbruddet på Dyrstad. Ved mye nedbør vil partikler transporteres fra de sedimenteringsbassengene til Skorabovatnet. Det er ifølge planprogram for reguleringsplanen for det eksisterende steinbruddet på Sætrefjellet er det dokumentert at Skorabovatnet har tilstrekkelig sedimenteringskapasitet, også for avrenning fra det planlagte nye steinbruddet (Løtveit & Høvding, 2014). Det antas at avrenningen fra dette vannet via Gjengedalsvassdraget ikke vil føre med seg vesentlige mengder partikler. Fra utskipningskaia vil det spres en del støv. Ved utskipningskaia ved Dyrstad er som sagt sjøbunnen nær kaia preget av nedslamming, som viser at det spres en del støv i forbindelse med denne aktiviteten.

I reguleringsplan (Løtveit & Høvding, 2014) påpekes det at spredning av partikler fra utskipningskaia skal modelleres. Det skal vurderes hvordan denne spredningen kan påvirke naturressurser i sjøen. Dette vil mer spesifikt dreie seg om hvordan nedslamming av bunnen med steinstøv vil påvirke det biologiske livet og om eventuelt forhøyede partikkelkonsentrasjoner i vannmassen kan påvirke fisk som står i oppdrettsmerder eller låssetingsplasser i området. I Figur 3 er det vist hvor låssetingsplasser og oppdrettsanlegg i området er plassert. I følge kommuneplanen er området kangs kysten fra Hatledal til Inste Bårdvikneset regulert til akvakultur. Dette er markert med en orasj linje i Figur 3.

Denne rapporten presenteres modelleringen av partikkelspredningen.



**Figur 2.** Foreløpig anleggsplan for Aksla Steinbrudd hentet fra Eriksen & Renslo (2016).

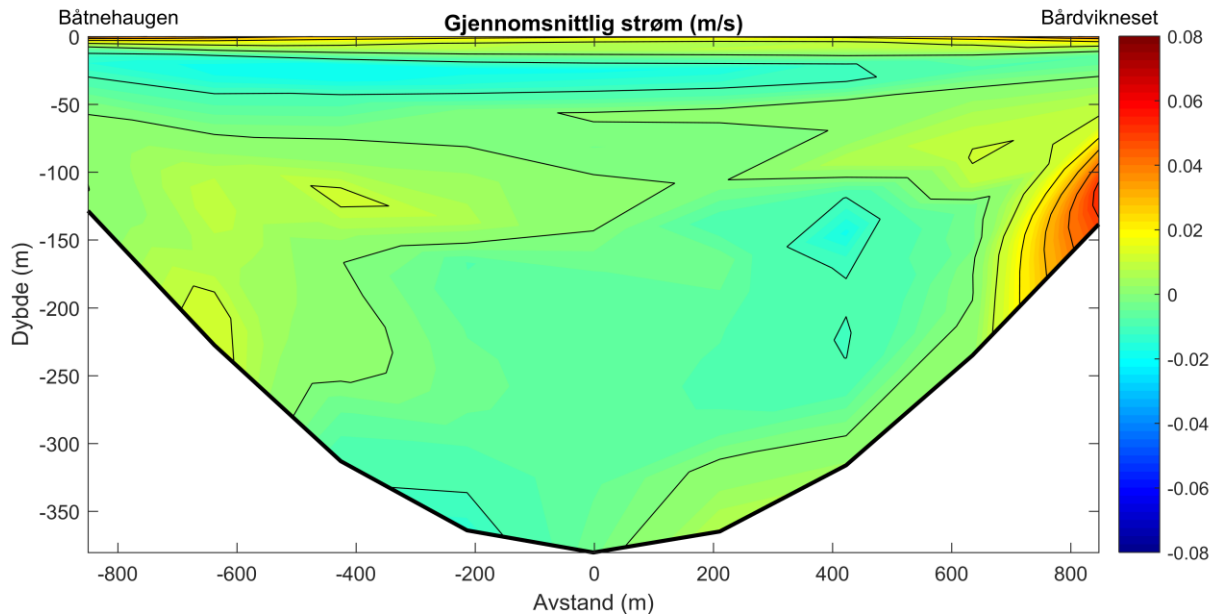


**Figur 3.** Marine ressurser i området. De tre nærmeste oppdrettsanleggene er Løypingneset, Gulestø og Marøy NØ, som alle er lakselokaliteter. Det nærmeste lassetingsområdet er på innsiden av Hennøya. Området fra Hatledal til Inste Bårdvikneset er i kommuneplanen regulert til akvakultur.

## 2 Beskrivelse av strømforholdene i området

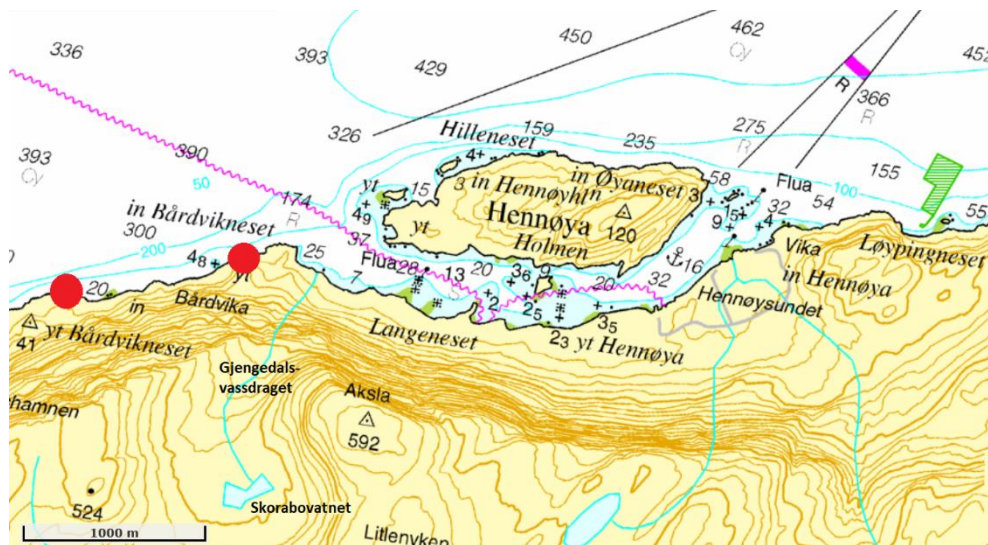
Tidligere har havmodellen ROMS (Song & Haidvogel, 1994, Haidvogel et al, 2008) blitt satt opp for hele Nordfjord og ytre del av fjordsystemet, inkludert Sildagapet og Frøysjøen. Strømbildet ble da modellert basert på noen forskjellige vindscenarier (Daae et al., 2011). Her er det tatt utgangspunkt i et tilfelle hvor det er en stabil vind i Frøysjøen fra sør-vest, som vil være et verst tenkelig tilfelle for mulig påvirkning av det nærmeste oppdrettsanlegget Løypingneset.

På kartet i Figur 1 er det tegnet en svart strek fra Inste Bårdvikneset og på tvers av Frøysjøen til Båtnehaugen på den andre siden av fjorden. I Figur 4 er gjennomsnittlig strøm vist i dette transektet. I noen få meter i overflaten er strømmen påvirket av vinden som blåser innover i fjorden, og det strømmer i gjennomsnitt innover. I dybdeintervallet fra omtrent 10 til 50 m strømmer det i gjennomsnitt utover, og dette er også tilfellet under 150 m sentrale deler av fjorden. Langs bunnen på hver side av fjorden i dybdeintervallet fra omtrent 50 til 150 m strømmer det i gjennomsnitt innover i fjorden. Spesielt i området langs bunn ved de to mulige utskipningskaiene er det en relativt sterk middelstrøm innover. Dette gjør at det kan forventes at partikler fra utskipningskaia vil fraktes et stykke innover før de sedimenterer.

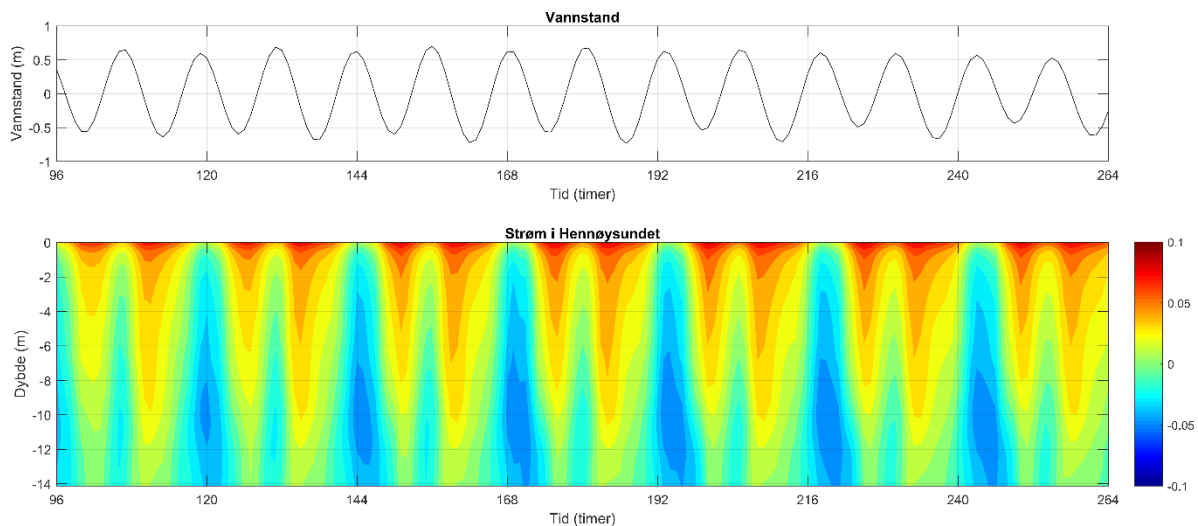


**Figur 4.** Gjennomsnitt av modellert strøm i et transekt fra Inste Bårdvikneset til Båtnehaugen på andre siden.

Siden det er en låssettingsplass i Hennøysundet og siden dette sundet leder til det nærmeste oppdrettsanlegget ved Løypingneset (se Figur 5), er det sett mer på strømforholdene her. I Figur 6 er det vist hvordan strømmen i dette sundet varierer. Siden det blåser innover i fjorden forårsaker dette at det i snitt strømmer østover i sundet i den øverste meteren. Under dette er det en tidevannsstrøm som går frem og tilbake og middelstrømmen er tilnærmet null. En typisk strømshastighet i sundet er 0,05 m/s med en typisk varighet på 3 timer, og det kan dermed antas at en partikkelsky vil fraktes ca. 550 m, eller omtrentlig en tredjedel av sundet lengde, før strømmen snur.



**Figur 5.** Sjøkart over området mellom utskipningskaiene ved Bårdviknesene (Ytste og Inste) og det nærmeste oppdrettsanlegget Løypingneset. Sundet mellom Hennøya og Aksla kalles Hennøysundet og har en terskel på 9 m.



**Figur 6.** Sammenligning av vannstanden og strøm i Hennøysundet basert på modellsimuleringen.

## 3 Spredning av partikler

### 3.1 Partikkelspredningsmodellen OpenDrift

I dette prosjektet har verktøyet OpenDrift blitt benyttet for å modellere partikkelspredning. OpenDrift er et Python program som leser inn strømdata, som i dette tilfellet er modellresultatene vist i kapittel 2. En stor mengde partikler kan spres i modellen, og partiklene kan ha forskjellige egenskaper. I dette tilfellet har partiklene en synkehastighet som er avhengig av hvor store de er. OpenDrift har blant annet blitt benyttet for å se på spredning av torskelarver for å kartlegge gytefelt i Norskehavet (Sundby et al., 2017), og er basert på åpen kildekode (<https://github.com/knutfrode/opendrift>).

### 3.2 Beskrivelse av utslipps-scenariet

I denne modelleringen er det benyttet tre klasser av partikler med forskjellig kornstørrelse og synkehastighet. Synkehastigheten er beregnet fra partikkeldiameteren ved hjelp av Stokes lov.

$$w = \frac{g(\rho_w - \rho_p)}{18\mu} d^2$$

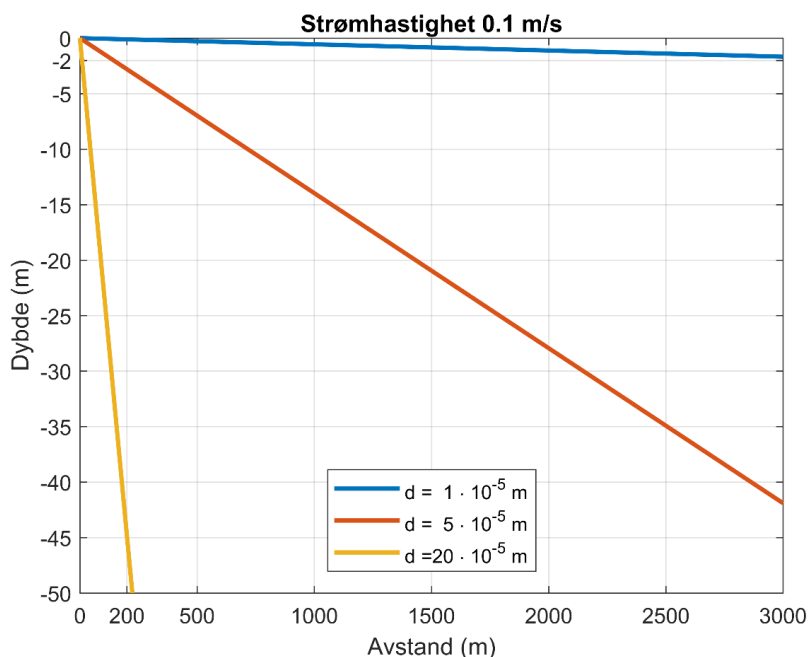
Her er  $w$  synkehastigheten i m/s hvor negative verdier betyr at partiklene synker.  $\rho_w$  og  $\mu$  er henholdsvis tettheten og den dynamiske viskositeten til vannmassen, som har verdiene  $1025,2 \text{ kg/m}^3$  og  $1,634 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$  basert på at vannet i modellen har temperatur  $5,5 \text{ }^\circ\text{C}$  og saltholdighet  $32,5 \text{ psu}$ .  $g$  har verdien  $9,81 \text{ m/s}^2$ .  $\rho_p$  er tettheten til partiklene og det er brukt verdien  $2700 \text{ kg/m}^3$  i OpenDrift. Partikkeldiameteren  $d$  har enheten m i formelen over.

Fordelingen av partiklene på de tre klassene er basert på en kornfordelingskurve fra Wyspuanska (2013), hvor fordelingen med mest finstoff er valgt. Hvor mye partikler som er på hver av de tre klassene basert på denne kurven er sammenlignet med det som er lagt inn i modellen i Tabell 1.

**Tabell 1.** Partikkelklasser i modellen. Fordelingen er basert den kornfordelingskurven som hadde mest finstoff fra Wyspuanska (2013).

Partikkel-klasse	Kornstørrelse ( $\mu\text{m}$ )	Representativ kornstørrelse ( $\mu\text{m}$ )	Andel basert på Wyspianska (2013)	Andel i modellen	Synkehastighet (m/s)
1	1-20	10	31 %	33 %	$-5,6 \cdot 10^{-5}$
2	20-100	50	41 %	33 %	$-1,4 \cdot 10^{-3}$
3	100-1000	200	28 %	33 %	$-2,2 \cdot 10^{-2}$

Disse partiklene følges i vannmassen ved å benytte de modellerte strømdataene som er presentert i Figur 4 og Figur 6. I Figur 7 er det vist hvordan partikkelbanene for hver av partikkelklassene vil se ut i en vannmasse med en uniform horisontal strømhastighet på  $0,1 \text{ m/s}$ . De minste partiklene kan fraktes  $3 \text{ km}$  uten at partiklene synker mer enn  $2 \text{ m}$ . Dette betyr at disse partiklene potensielt kan nå store deler av Frøysjøen, inkludert området ved oppdrettsanlegget Løypingneset (se Figur 1). De største partiklene vil synke ned til  $45 \text{ m}$  i bare  $200 \text{ m}$  fra utslippspunktet.



**Figur 7.** Partikkelbanene til hver av de partikkelklassene som er brukt i OpenDrift i en horisontal jevn strøm med hastighet 0,1 m/s.

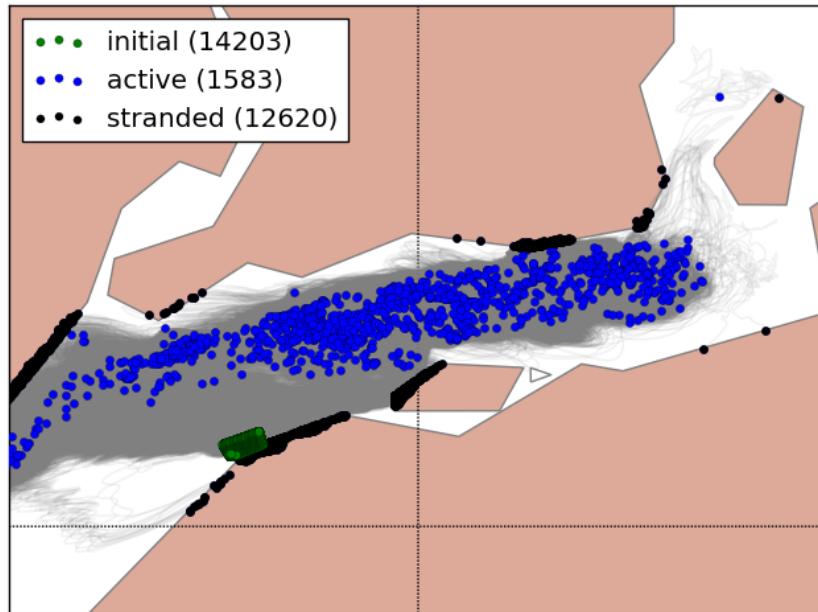
### 3.3 Konsentrasjon i vannmassene

I modelleringen har det blitt brukt to forskjellige utslippsområder, som representerer de to alternativene for utskipningskai. I hver av disse to modellsimuleringene er det sluppet ut 14203 partikler i løpet av 48 timer. Partiklene følges deretter i fjorden i en periode på 30 dager. I Figur 8 og Figur 9 vises situasjonen på slutten av simuleringen for henholdsvis utslipp ved Ytste og Inste Bårdvikneset. De grønne punktene viser utslippsområdet, de svarte punktene viser partikler som har strandet langs kysten og de blå punktene viser partikler som fortsatt er i vannmassen ved slutten av simuleringen. De grå linjene viser de forskjellige partikkelbanene og gir et inntrykk av hvor partiklene har vært i løpet av simuleringperioden.

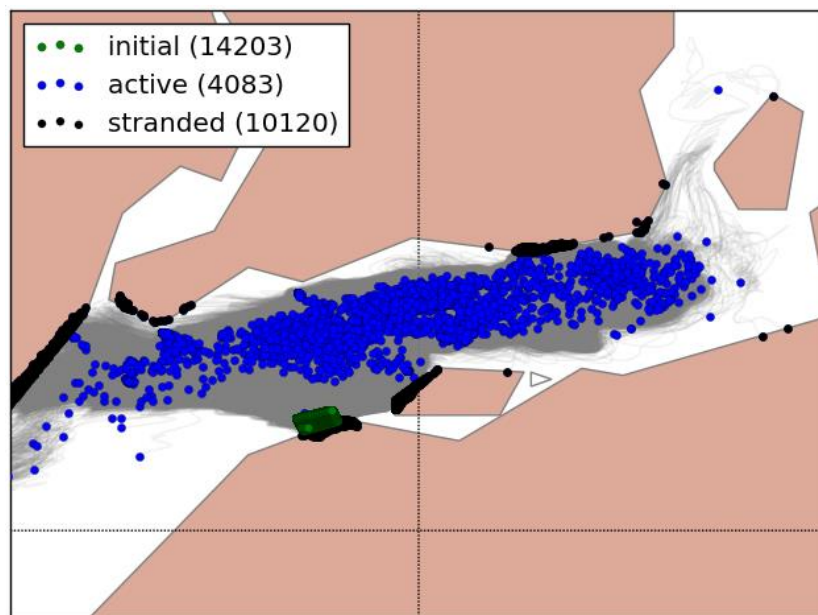
I disse to plottene (Figur 8 og Figur 9) er det ikke angitt hvor dypt de forskjellige partiklene er, men partiklene vil synke som antydnet i Figur 7. Ved slutten av simuleringen er alle partikler som fortsatt er i vannmassene, dypere enn 50 m (de blå punktene).

Ingen partikler kommer inn i Hennøysundet i modellsimuleringen og heller ikke oppdrettslokaliteten Løyvingneset. Det kan likevel ikke utelukkes at partikler faktisk kommer i sundet, siden kystlinjen som er brukt i OpenDrift har grov oppløsning. Det har blitt beregnet hvor mange partikler som når den vestre munningen ved hvert tidspunkt. Det er disse partiklene som potensielt kan trekeks inn i Hennøysundet. For å beregne partikkelkonsentrasjonen er det antatt at det i løpet av 48 timer skipes ut 55000 tonn. Med denne utskipningshastigheten vil det i løpet av et år skipes ut 10 millioner tonn steinmasser. Videre er det antatt at 2 % av disse massene havner på sjøen. Partikkelkonsentrasjonene ved den vestre munningen av Hennøysundet blir i dette tilfellet ikke høyere enn 0,8 mg/L (se Figur 10).

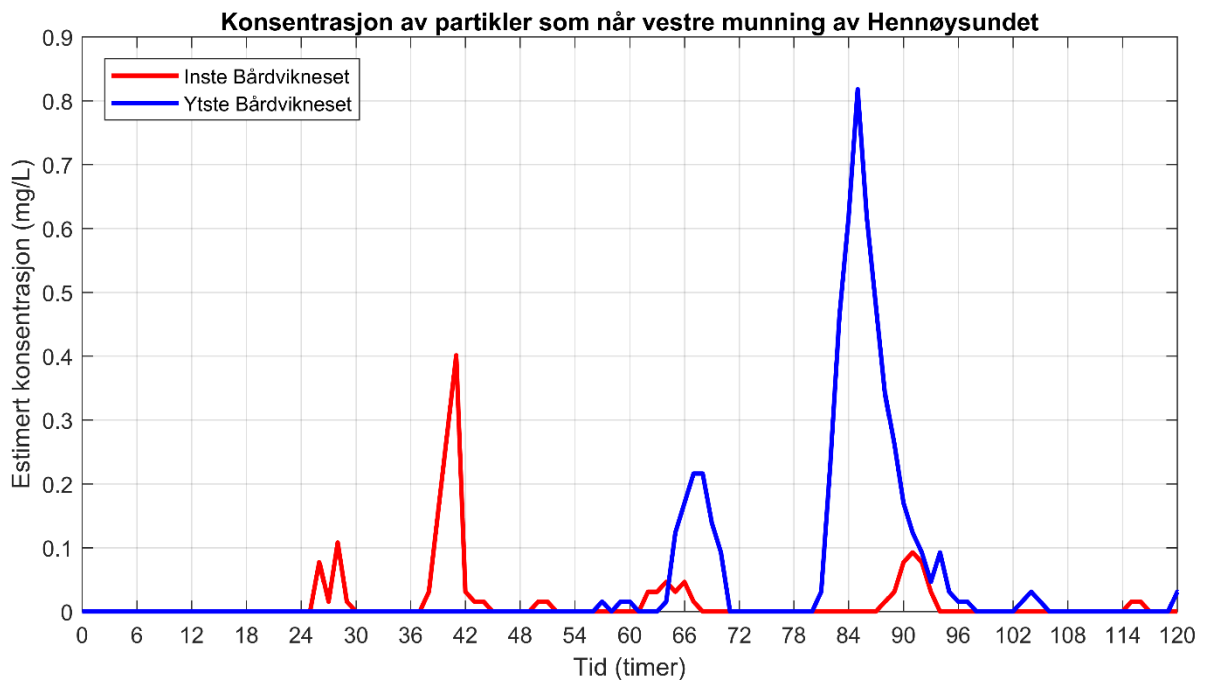
I modellresultatene som er brukt går det en middelstrøm innover i fjorden. Ved andre vindforhold og når det er andre vannmasser i fjordsystemet, kan middelstrømmen være rettet utover. For å se på hvor stor partikkelkonsentrasjonen kan bli nedstrøms for utskipningskai, ble estimert konsentrasjon på samme måte som beskrevet over for et punkt som ligger ca. 500 m fra mulig utskipningskai ved Ytste Bårdvikneset (se Figur 11). Partikkelkonsentrasjonen kan i denne avstanden komme opp mot 6 mg/L.



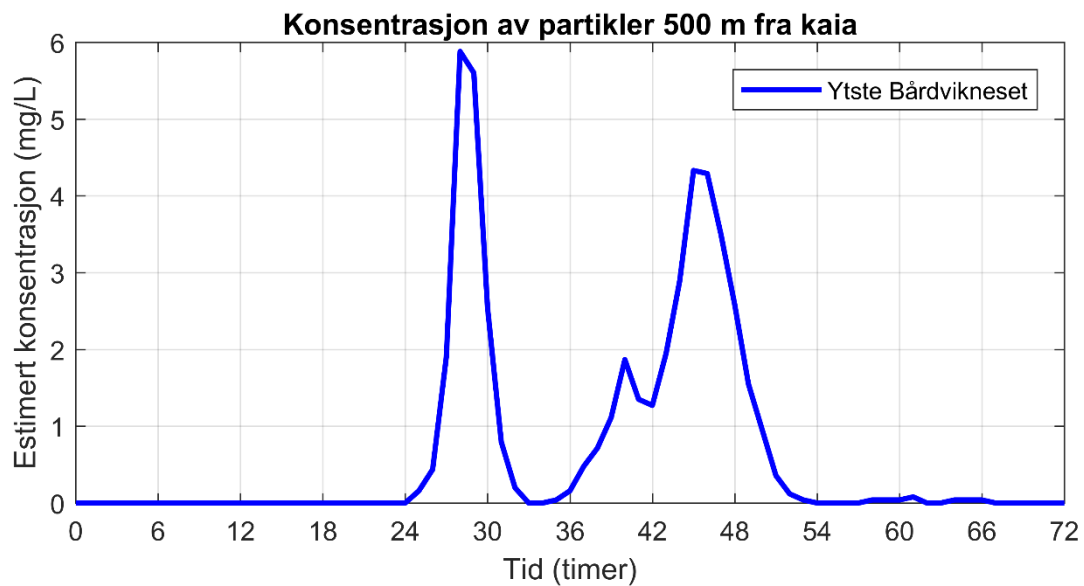
**Figur 8.** Resultater fra OpenDrift når partiklene slippes ut ved Ytste Bårdvikneset. De grønne punktene viser utslippsområdet, de svarte punktene viser partikler som har strandet langs kysten og de blå punktene viser partikler som fortsatt er i vannmassen ved slutten av simuleringen. De grå linjene viser de forskjellige partikkelbanene.



**Figur 9.** Resultater fra OpenDrift når partiklene slippes ut ved Inste Bårdvikneset. De grønne punktene viser utslippsområdet, de svarte punktene viser partikler som har strandet langs kysten og de blå punktene viser partikler som fortsatt er i vannmassen ved slutten av simuleringen. De grå linjene viser de forskjellige partikkelbanene.



**Figur 10.** Estimert partikkelkonsentrasjon i vannmassene over 50 m dyp som når vestre munning av Hennøysundet. Det er antatt at det skipes ut 55000 tonn i løpet av 48 timer og at 2 % av dette havner i sjøen.



**Figur 11.** Estimert partikkelkonsentrasjon i vannmassene over 30 m i et punkt som ligger ca. 500 m nedstrøms fra utskipningskaia. Det er antatt at det skipes ut 55000 tonn i løpet av 48 timer og at 2 % av dette havner i sjøen.



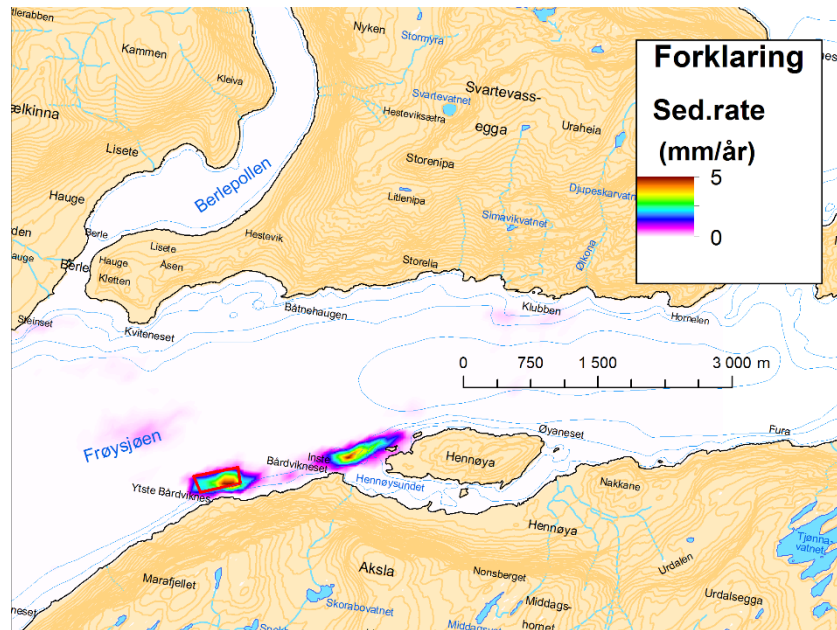
### 3.4 Kart over sedimenteringshastighet

Ved utskipningskaia ved Dyrstad var den største tykkelsen av laget med steinstøv 5-10 cm (Wyspianska, 2013). Dette var omtrent midt på utskipningskaia hvor det var 25-30 m dypt. Her er det antatt at dette laget har oppstått i den perioden det har vært utskipning av stein fra dette kaianlegget. Utskipningen av materiale hadde pågått i 13 år da undersøkelsene ble gjort. Aktiviteten på denne kaia har gradvis økt i denne perioden, i tillegg til at det underveis har blitt gjort tiltak for å redusere spredning av steinstøv. Ut i fra dette anslås det at den høyeste sedimenteringshastigheten rett under kaia er omtrent 0,5 cm/år.

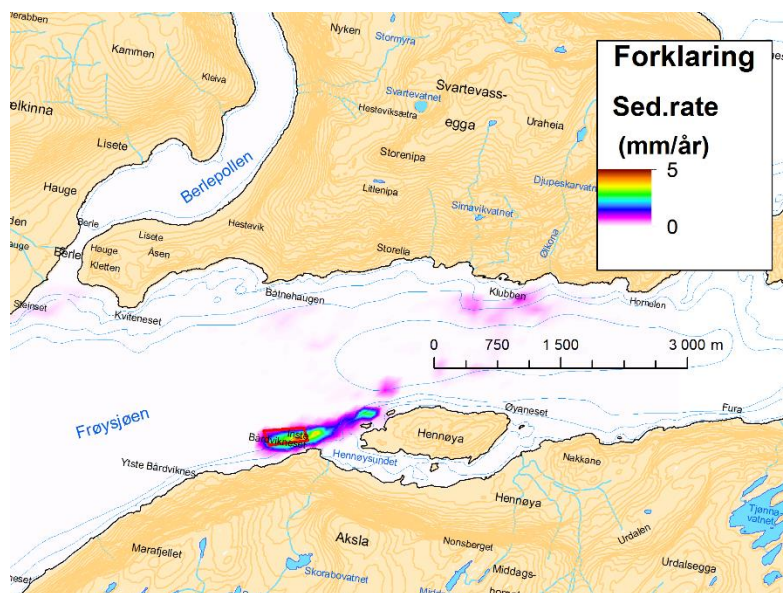
Basert på resultatene fra OpenDrift har det blitt beregnet hvor mange partikler som sedimenterer på bunnen som en funksjon av posisjon. Størst antall partikler sedimenterer nært utslippsområdet, som er det samme som ble funnet ved utskipningskaia ved Dyrstad. For å beregne sedimenteringshastighet har de to utslippsmodelleringene blitt skalert slik at den maksimale sedimenteringshastigheten er lik den som ble funnet ved Dyrstad. Resultatene er vist i Figur 12 og Figur 13.

I begge simuleringene sedimenterer det mye partikler på bunn ved den vestre munningen til Hennøysundet. Dette skyldes at mange partikler fraktes denne veien med strømmen som er vist i Figur 4. I modellen er det tre partikkelklasser, med hver sin synkehastighet. I en relativt jevn strøm vil da de største partiklene sedimentere nær utslippspunktet mens partiklene som i mellomklassen vil treffe bunn i en viss avstand fra utslippspunktet. Det er mest sannsynlig denne effekten som gjør at det i Figur 12 blir svært høy sedimenteringshastighet ca. 1500 m fra utslippspunktet. I virkligheten vil det finnes partikler som har mange forskjellige synkehastigheter, og disse ville da i dette tilfellet sedimentere også nærmere utslippspunktet.

Utifra OpenDrift resultatene så blir sedimenteringshastigheten høy rett under utskipningskaiene, og i et belte langs bunn opp mot munningen til Hennøysundet.



**Figur 12.** Modellert sedimenteringshastighet fra utskipningskai ved Ytste Bårdvikneset. Modellresultatene er skalert ut i fra forholdene ved Dyrstad utskipningskai.



**Figur 13.** Modellert sedimenteringshastighet fra utskipningskai ved Inste Bårdvikneset. Modellresultatene er skalert ut i fra forholdene ved Dyrstad utskipningskai.

## 4 Vurdering av konsekvenser

### 4.1 Konsekvenser for tang og tare og bunndyr

Mulig påvirkning av partikkelspredning som deponeres på bunnen vil avhenge av om det er organiske eller uorganiske (mineralske) partikler, helning og bunntype, og selvfølgelig hvor mye som sedimenteres.

Sjøområdet ut for Bårdvika der det forventes spredning av mineralske partikler ut fra utskipningskaia består i følge sjøkart av en bratt skrånende bunn ned til mer enn 300 m dyp, og med slik topografi det sannsynligvis skrånende fjellbunn som dominerer. Dette område vil som resipient for partikler få en forskjellig påvirkning i forhold til området ved Dyrstad som er beskrevet i rapporten til Multiconsult (Wyspianska, 2013).

Det ligger ikke inne noe informasjon om Bårdvika området i Naturbase (<http://kart.naturbase.no/>) som kan tyde på spesielle natur og miljøinteresser. Slike bratte kystlinjer med fjellbunn domineres normalt av tang, tare og andre makroalger ned til rundt 20-25 m dyp og med innslag av fastsittende og bevegelige bunndyr som eneste bunnlevende organismer dypere enn algebeltet. Både algene og det meste av dyrelivet er festet til underlaget som består av substrat som fjell eller stein og rekruttering av disse organismene er avhengig av et fast substrat uten sediment-dekke for å feste seg, og med en økende sedimentering fra virksomheten vil slike hardbunnsorganismer bli skadelidende.

Det er ikke utført noen kartlegging av bunnforhold og organismer i det aktuelle området, men NIVA har de seneste år gjort undersøkelser og kartlegginger i Sogn og Fjordane, og senest høsten 2016 (Gitmark et al., 2017) på tilsvarende bratte fjordområder som kan være veiledende for en vurdering av organismer og naturtyper som kan bli berørt ved tilslamming. Området vil sannsynligvis være dominert av tang (store brunalger, Fucales) i tidevannssonen og med innslag av ulike trådformede alger. Tidevannssonen er påvirket av vind-drevne bølger og mye vannbevegelse slik at slam/partikler blir vasket ut og sedimenterer på bunnområdene nedenfor. Under tidevannssonen vil normalt sukkertare dominere og med innslag av andre større alger som fingertare (øverst) og en fjordform av stortare nedover. Innslag og dominans av rødalger øker nedover i dypere lag.

Imidlertid har det blitt observert og beskrevet dårlig tilstand for tidligere tareområder i indre kyst på Vestlandet, noe som også gjelder Sogn og Fjordane (Gitmark et al., 2017). Dette skyldes at trådalger overgror og kveler tarene og de andre opprinnelige algene og fører til en redusert økologisk tilstand. Slike forhold er ofte forbundet med økt tilslamming, men i motsetning til de mineralske partiklene som kommer fra steinbrudd, vil dette slammet ha større innslag av organisk materiale som kan være næring for filtrerende dyr. Denne tilslammingen sammen med slam/partikler fra steinbrudd virksomheten vil øke sedimenteringen på fjellbunnen og dermed bidra til økende risiko for at fastsittende organismer ikke vil finne egnet underlag for å slå seg ned. Dette gjelder tare og andre makroalger, men også dyr som sekkedyr, kalkrørsmark, sjøanemoner og svamp vil få reduserte muligheter til å feste seg til underlaget. Slike filtrerende dyr vil også bli påført økt stress ved belastning av uorganiske partikler. Bevegelige dyr som sjøstjerner, snegl og krepsdyr vil ikke bli direkte berørt, men vil oppleve reduserte skjulesteder og næring. Omfanget av reduserte forhold vil være avhengig av hvor stort område det er sannsynlig at partikkelbelastningen vil føre til et lag av dekkende slam oppå fjellbunnen.

Vi har også observert enkelte partier med sandbunn innimellom slike bratte fjellvegger andre steder, men vi har ikke kunnskaper om det finnes bløtbunns partier i den aktuelle resipienten. Dyrelivet nedi slike bløtbunns habitater vil bli negativt påvirket hvis belastningen fra sedimenterte partikler blir stor, men ved en mindre sedimentering på noe få mm pr år vil dyrelivet nedi bunnen kunne tolerere det.

OpenDrift resultatene viser at sedimenteringshastigheten kan bli over 2 mm/år rett under utskipningskaiene, og i et belte langs bunn opp mot munningen til Hennøysundet. Dette vil ha en negativ betydning på dyrelivet nedi bunnen og for tang og tare i disse områdene.

## 4.2 Konsekvenser for fiskeaktivitet og akvakulturanlegg

Det er en låssettingsplass på innsiden av Hennøya. Siden låssatt fisk ikke kan slippe unna er det nødvendig å se hvor høye partikkelkonsentrasjoner som kan oppstå i dette området og over hvor lang varighet. Det vil jevnlig være spredning av steinstøv fra lossekaia, men partikkelkonsentrasjonen i vannmassene ved denne låssettingsplassen vil ikke bli spesielt høy. Konsentrasjonen her vil ikke bli høyere enn det som forekommer ved munningen av Hennøysundet (se Figur 10), hvor partikkelkonsentrasjonen ikke blir høyere enn 0,8 mg/L over bakgrunnsverdien. Partikkelkonsentrasjoner av denne størrelsen vil ikke være noe problem, selv om fisken ikke kan rømme unna.

Det er et oppdrettsanlegget Løypingneset som ligger omtrent 3 km unna Inste Bårdviknestet er det usannsynlig at det vil kunne oppstå forhøyede partikkelkonsentrasjoner i overflatelaget som kan kunne påvirke fisken i merdene. Området fra Hatledal til Inste Bårdvikneset er i kommuneplanen regulert til akvakultur. Oppdrettsanlegg som anlegges nær utskipningskaia vil kunne oppleve forhøyet partikkelkonsentrasjon i overflatelaget. Modellberegningene tyder på at konsentrasjonen kan komme opp mot 6 mg/L i en avstand av ca. 500 m og under 1 mg/L i en avstand av 1500 m fra utskipningskaia. Disse beregningene er basert på at en total mengde på 55000 tonn steinmateriale skipes ut over en periode på 48 timer og at 2 % av dette havner i sjøen.

## Referanser

Daae, K. L., Staalstrøm, A., Urke, H. A., Viljugrein, H., Jansen, P. A. & Kandal, I. (2011) Aquastrøm Nordfjord. Kartlegging og beskrivelse av strømforhold og risiko for smittespredning. NIVA rapport 6194-2011. 64 sider.

Eriksen, V. & Renslo, S. (2016) Forslag til planprogram. Reguleringsplan for steinbrot på Aksla. Rapport fra Multiconsult med nr. 616695, datert 13.10.2016. 27 sider.

Gitmark, J., Christie, H., Fagerli, C. W., Kile, M. R. (2016) Høstundersøkelser av makroalgesamfunn ved utvalgte lokaliteter, Rogaland og Sogn og Fjordane.  
<http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M640/M640.pdf>

Haidvogel, D. B., Arango, H., Budgell, W. P., Cornuelle, B. D., Curchister, E., Lorenzo, E. D., Fennel, K., Geyer, W. R., Hermann, A. J., Lanerolle, L., Levin, J., McWilliams, J. C., Miller, A. J., Moore, A. M., Powell, T. M., Shchepetkin, A. F., Sherwood, C. R., Signell, R. P. & Warner, J. C. (2008) *Ocean forecasting in Terrain-following Coordinates: Formulation and Skill Assessment of the Regional Ocean Modelling System*. Journal of Computational Physics. 227 (7), 3595-3624.

Løvteit, H. & Høvdig, Ø. (2014) Planprogram. Reguleringsplan for steinbrot på Aksla. Rapport fra Multiconsult med nr. 613109, datert 17.09.2014. 67 sider.

Song, Y. T. & Haidvogel, D. B. (1994) A semi-implicit ocean circulation model using a generalized topography-following coordinate system. Journal of Computational Physics, 115 (1), 228-244.

Sundby, S., Kristiansen, T., Nash, R. & Johannessen, T. (2017) Kartlegging av gytefelt i Nordsjøen – Rapport fra KION-prosjektet. Fisken og Havet, nr. 2-2017, 195 sider.

Wyspianska, A. (2013) Steinbrudd på Dyrstad. Resipientundersøkelse høst 2013. Rapport fra Multiconsult med nr. 611742-RIGm-RAP-003. 42 sider.

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 samfunnsniv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo  
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00  
[www.niva.no](http://www.niva.no) • [post@niva.no](mailto:post@niva.no)