

Modellering av partikkelspredning i fjorder utført ved Havforskningsinstituttet

Notat, 2. juni 2014.

Lars Asplin,

Havforskningsinstituttet

Bakgrunn

Havforskningsinstituttet har de senere 10-20 årene hatt en økende oppmerksomhet rettet mot miljøvirkninger av havbruk og økologisk bæreevne i kyst- og fjordområdene i Norge. Slike problemstillinger krever god kunnskap og informasjon om det fysiske miljøet, som strømforhold og vannutveksling, temperatur og saltholdighet. Siden ca. år 2000 har derfor instituttet utviklet kompetanse og kapasitet omkring fysisk oseanografi i fjorder og særlig gjelder dette bruken av numeriske modeller for beregning av strøm og spredning. Vi driver også feltinnsamling av data så langt det lar seg gjøre innenfor de økonomiske rammene vi har.

Lakselusproblematikken har vært førende for utviklingen av numeriske fjord- og spredningsmodeller. Allerede for 10-12 år siden gjennomførte instituttet de første modellsimuleringene med et koblet modellsystem, dvs. et system der de viktigste drivkreftene og randverdiene modelleres separat i en egen atmosfæremodell (vind og stråling) og en hav/kystmodell (tidevann og vannmasseendringer langs kysten). Asplin m.fl. (2004) beskriver et slikt oppsett for Sognefjorden.

I dag har utviklingen gått raskt framover med tilgang på enda raskere super-datamaskiner som trengs for å kjøre strømmodellene med høyere detaljgrad. Havforskningsinstituttet tok i 2011 initiativet til å etablere kystmodellen NorKyst800 som på et 800 m romlig beregningsgitter regner ut strøm og hydrografi for hele Norskekysten (Albretsen m.fl., 2011). Utviklingen av NorKyst800 er gjort i et samarbeid med Meteorologisk institutt og Niva, og Meteorologisk institutt bruker nå denne modellen i en operasjonell rutine der de beregner 36 timers prognoser daglig. Med resultater fra NorKyst800 som randverdi, og muligheten for å hente atmosfæriske drivkrefter for et hvert tidspunkt fra ca. 1950 til og med dagen i dag, har vi et system for å kunne modellere strøm og hydrografi på et hvilket som helst sted langs Norskekysten med romlig oppløsning ned til ~50 m.

Spredningsmodellene baserer seg på strømmodellresultater, og rent teknisk er slike modeller forholdsvis enkle. Den første utviklingen av en partikkelspredningsmodell ble gjort av Ådlandsvik & Sundby (1994) for å beregne spredning av torskeegg i Barentshavet. Videre har denne modellen blitt utvidet til å representere flere typer partikler, med ulik vertikaladferd og levetid. Spredningsmodellen er i økende grad brukt i forbindelse med lakselus i fjorder (Asplin m.fl., 2011; Asplin, m.fl., 2014; Johnsen m.fl., 2014), og vi tar sikte på å kjøre operasjonelle spredningssimuleringer fra våren 2015.

Spredningsmodellen og NorKyst800 danner grunnlaget for Strømkatalogen som Havforskningsinstituttet lanserer i løpet av 2014. Strømkatalogen vil være en karttjeneste der brukeren kan hente ut informasjon om strømstatistikk i en posisjon på Norskekysten. Brukeren kan også få gjennomført en spredningssimulering av partikler med avgrenset levetid fra en valgt posisjon og dermed et bilde av posisjonens influensområde overfor omgivelsene.

Havforskningsinstituttet har til nå ikke utviklet spredningsmodellen for bruk med gruvepartikler, annet enn at vi har gjennomført spredning av partikler med neglisjerbar synkehastighet for å illustrere et spredningspotensiale. En gruvepartikkelspredning krever at partiklene gis synkehastighet basert på et definert størrelsesspekter og at eventuell resuspensjon inkluderes. Kjemisk omdanning er dessuten en mulig effekt som må inkluderes.

Hvilke drivkrefter er viktige for å skape vannbevegelse

Det aller viktigste kriteriet for å lage gode strømmodellresultater er å ha gode drivkrefter og grensebetingelser. Strømmodeller gir nesten alltid fra seg resultater som tilsynelatende ser greie ut, og det er ofte ikke tilgjengelig observasjoner for å validere resultatene.

Fjordene er svært lagdelte, og utveksling vertikalt foregår i betydelig mindre grad enn horisontalt. Drivkreftene som skaper horisontal strøm er distinkte og resulterer i karakteristiske komponenter. Totalstrømmen er derimot summen av alle disse komponentene som altså varierer forskjellig i tid og rom. Totalstrømmen kan til tider være vanskelig å tyde.

De viktigste drivkreftene for strøm er ferskvannsavrenning, vind, tidevann og horisontale trykkforskjeller pga. endringer av vannmassenes tyngde (f.eks. innenfor og utenfor en fjord). Ferskvannsavrenningen skaper et brakkvannslag og en strøm i de øvre ~5m av fjorden. Styrken på denne strømmen er typisk 0,1-0,2 m/s og kan ha flere dagers varighet. Vinden skaper også i første rekke strøm i det øvre laget av fjorden, kanskje ned til ~20 m avhengig av styrke og varighet. Ofte varer vindepisoder mindre enn ett døgn i fjorder, og det gjør at vinddrevet strøm har en episodisk karakter. Hastigheten vil være høyest helt i overflaten, og kan overstige 1 m/s. Nedover i dypet avtar hastigheten raskt. Tidevannet beveger seg som en lang kystfanget bølge fra Vestlandet og nordover, og påvirker fjordene ved at vannstanden heves og senkes regelmessig i fjordmunningen. En overflatebølge brer seg regelmessig inn fjorden fra kysten til fjordenden, og i smale og trange sund kan hastigheten bli høy (flere m/s). I dype og brede fjorder er derimot tidevannsstrømmen mer beskjedne med hastigheter rundt 0,1 m/s. Siden tidevannet har dominerende periode rundt 12,5 time vil ikke denne være så effektiv til vanntransport. Derimot er tidevannet en drivkraft som skaper strøm dypt nede i fjordene, noe som vil være viktig, også som blandingsmekanisme. Forskjeller i vannmassenes tyngde oppstår episodevis f.eks. enten ved vinddrevet nedstrømning eller oppstrømning av vann som drives mot/fra land, ved at det foregår en blanding av vannmasser (av f.eks. tidevannet) eller at indre bølger forplanter seg langs kysten. Når en tyngdeforskjell oppstår i et horisontalnivå nede i vannmassene utlignes denne umiddelbart ved at det skapes en strøm inn eller ut fjorden. Slike strømmer kan

være beskjedne i hastighet, typisk under $\sim 0,1$ m/s, men den kan ha en varighet på flere dager slik at denne ensrettete strømmen er en forholdsvis effektiv transportmekanisme.

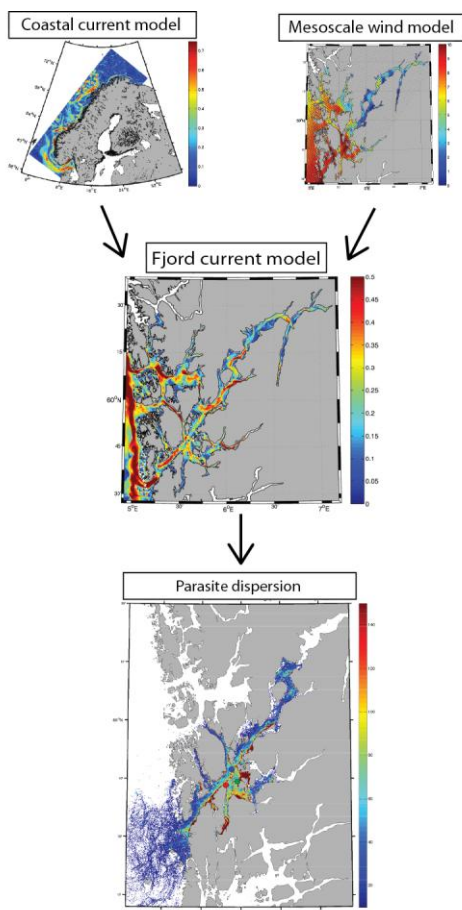
Metodikk og modelleringsmiljø

Havforskningsinstituttet har drevet med numerisk havmodellering siden slutten av 1980-tallet. Utviklingen av denne aktiviteten har pågått i et relativt nært samarbeid med Meteorologisk institutt. Vi har valgt å bruke numeriske modeller med vid internasjonal utbredelse, da slike har store brukergrupper og en fortløpende kvalitetssikring og utvikling. I dag benytter vi først og fremst havmodellen ROMS (Regional Ocean Modelling System; www.myroms.org) som er en såkalt "community model" fra USA. ROMS løser de såkalte primitive hydrodynamiske ligningene i tre dimensjoner, noe som gir en forholdsvis komplett beskrivelse av fysikken. Beregningsgitteret består av et ortogonalt kurvilineært horisontalgitter og terreng- og overflatefølgende s-koordinater vertikalt. Typisk horisontal gitteroppløsning er fra 50 m for modelloppsett tilpasset de smaleste fjordene til 4 km for havmodellene. Vertikalt bruker vi 30-60 s-nivåer, med høy oppløsning i de øvre ~ 10 m (0,25 m - 1 m). Resultatene fra ROMS er bl.a. gjennomsnittsverdier i gitterboksene for tre-dimensjonal hastighet, saltholdighet, temperatur samt vannstand. For partikkelspredning lagrer vi resultater hver time.

Siden drivkrefter og grenseverdier er avgjørende for strømmmodellresultatene benytter vi separate modeller for å skaffe dette. Vi kjører atmosfæremodellen WRF (www.wrf-model.org) for å beregne vindstress og stråling, og kystmodellen NorKyst800 skaffer verdier av strøm, hydrografi og vannstand ved fjordmodellenes åpne grenseflate mot havet.

Partikkelspredningsmodellen LADIM som er beskrevet ovenfor, og brukes til en lang rekke formål ved Havforskningsinstituttet. Vi bruker og utvikler dessuten mer sammensatte økosystemmodeller, NORWECOM.e2e, hvor partikkelspredningsmodellen inngår som en modul for å beskrive zooplanktonnivået.

Det koblede modellsystemet vi bruker i fjordene er skissert i Figur 1, med separate modeller for drivkrefter og beregning av strøm i fjordområdet før vi kjører partikkelspredningsmodellen.



Figur 1. Det sammensatte modellsystemet for partikkelspredning i fjorder, illustrert ved spredning av lakseluscopepoditter i Hardangerfjorden. Strømmodellen for fjorden har en romlig oppløsning horisontalt på 200 m.

Havforskningsinstituttet har et stort antall forskere som er involvert i modelleringsarbeid, for tiden ca. 12 personer med professorkompetanse eller doktorgrad. Metodikken gjennomgår fortløpende evalueringer gjennom publisering av resultater i journaler med fagfelleevaluering, f.eks. disse relevante arbeidene fra de siste årene: Asplin m.fl., 2014; Filgueira m.fl, 2010; Heikkilä m.fl., 2010; Hinrichsen, 2011; Johnsen m.fl., 2014; Kristiansen m.fl., 2009; Melsom m.fl, 2009; Myksvoll m.fl., 2011, 2012, 2013a,b,c; Skogen m.fl., 2009; Vikebø m.fl., 2011, 2012, 2013.

Referanser

- Albretsen, J., Sperrevik, A.K., Staalstrøm, A., Sandvik, A.D., Vikebø F. and Asplin, L., **2011**. NorKyst-800 report no. 1: User manual and technical descriptions. Fisken og Havet nr. 2/2011, 51 pages.
- Asplin L., K. Boxaspen & A. D. Sandvik, **2004**. Modelled distribution of sea lice in a Norwegian fjord, ICES C.M. 2004/P:11, 12 pages.
- Asplin, L., Boxaspen, K.K. & Sandvik, A.D. **2011**. Modeling the distribution and abundance of planktonic larval stages of *Lepeophtheirus salmonis* in Norway. In S.R.M. Jones and R.J. Beamish (eds.) Salmon Lice: An integrated

- approach to understanding parasite abundance and distribution. Wiley-Blackwell, Hoboken, New Jersey, pp. 31-50.
- Asplin, L., Johnsen, I.A., Sandvik, A.D., Albretsen, J., Sundfjord, V., Aure, J. & K.K. Boxaspen. **2014**. Dispersion of salmon lice in the Hardangerfjord. *Marine Biology Research*, 10:3, 216-225, DOI:10.1080/17451000.2013.810755.
- Filgueira R., J. Grant, Ø. Strand, L. Asplin and J. Aure, **2010**, A simulation model of carrying capacity for mussel culture in a Norwegian fjord: Role of induced upwelling *Aquaculture*, 308, 20-27.
- Heikkilä U., A.D. Sandvik and A. Sorteberg, **2010**, Dynamical downscaling of ERA-40 in complex terrain using the WRF regional climate model. *Clim. Dyn.*, doi:10.1007/s00382-010-0928-6,
- Hinrichsen H.H., M. Dickey-Collas, M. Huret, M.A. Peck and F.B. Vikebø, **2011**, Evaluating the suitability of coupled biophysical models for fishery management *ICES J. Mar. Sci.*, doi:10.1093/icesjms/fsr056.
- Johnsen, I.A., Fiksen, Ø., Sandvik, A.D. & Asplin, L. **2014**, Vertical salmon lice behavior as a response to environmental conditions and its influence on the regional dispersion in a fjord system. *Aquaculture Environment Interactions*.
- Kristiansen T., C. Jørgensen, R.G. Lough, F. Vikebø and Ø. Fiksen, **2009**, Modeling rule-based behavior: habitat selection and the growth-survival trade-off in larval cod Behavioral *Ecology*, 20, 490-500.
- Melsom A., V.S. Lien and W.P. Budgell, **2009**, Using the Regional Ocean Modeling System (ROMS) to improve the ocean circulation from a GCM 20th century simulation *Ocean Dyn.*, 59, 969-981.
- Myksvoll M.S., S. Sundby, B. Ådlandsvik and F.B. Vikebø, **2011**, Retention of Coastal Cod Eggs in a Fjord Caused by Interactions between Egg Buoyancy and Circulation Pattern *Marine and Coastal Fisheries*, 3, 279-294.
- Myksvoll M.S., A.D. Sandvik, J. Skarðhamar and S. Sundby, **2012**, Importance of high resolution wind forcing on eddy activity and dispersion in a Norwegian fjord *Estuarine Coastal Shelf Sci.*, 113, 293-304.
- Myksvoll M.S., K.-M. Jung, J. Albretsen and S. Sundby, **2013a**, Modelling dispersal of eggs and quantifying connectivity among Norwegian coastal cod subpopulations *ICES J. Mar. Sci.*, doi:10.1093/icesjms/fst022,
- Myksvoll M.S., A.D. Sandvik, L. Asplin and S. Sundby, **2013b**, Effects of river regulations on fjord dynamics and retention of coastal cod eggs *ICES J. Mar. Sci.*, doi:10.1093/icesjms/fst113,
- Myksvoll M.S., K.E. Erikstad, R.T. Barrett, H. Sandvik and F. Vikebø, **2013c**, Climate-Driven Ichthyoplankton Drift Model Predicts Growth of Top Predator Young *PLoS ONE*, 8, e79225.
- Skogen M.D., M. Eknes, L.C. Asplin and A.D. Sandvik, **2009**, Modelling the environmental effects of fish farming in a Norwegian fjord *Aquaculture*, 298, 70-75.
- Vikebø F.B., B. Ådlandsvik, J. Albretsen, S. Sundby, E.K. Stenevik, G. Huse, E. Svendsen, T. Kristiansen and E. Eriksen, **2011**, Real-Time Ichthyoplankton Drift in Northeast Arctic Cod and Norwegian Spring-Spawning Herring *PLoS ONE*, 6, e27367.
- Vikebø F.B., A. Korosov, E.K. Stenevik, Å. Husebø and A. Slotte, **2012**, Spatio-temporal overlap of hatching in Norwegian spring-spawning herring and the spring phytoplankton bloom at available spawning substrata *ICES J. Mar. Sci.*, 69, 1298-1302.

Vikebø F.B., P. Rønningen, V.S. Lien, S. Meier, M. Reed, B. Ådlandsvik and
T. Kristiansen, **2013**, Spatio-temporal overlap of oil spills and early life stages
of fish *ICES J. Mar. Sci.*, doi:10.1093/icesjms/fst131.
Ådlandsvik B, Sundby S. **1994**. Modelling the transport of cod larvae from the
Lofoten area. *ICES mar. Sci. Symp.* 198, 379-392.

Appendix 1.

Utteksling av dypvann i Repparfjorden - spredning av partikler i 50 m dyp

Notat Havforskningsinstituttet, sommeren 2014.

Lars Asplin, Jofrid Skardhamar, Anne Sandvik, Ingrid A Johnsen, Mari Myksvoll, Jon Albretsen og Bjørn Ådlandsvik

Bakgrunn

I forbindelse med at Havforskningsinstituttet i 2013 gjennomførte en strømsimulering for å vurdere lakselusspredning i Altafjorden, har vi som en bieffekt vurdert dypvannsutskiftning i Repparfjorden. Siden Repparfjorden er planlagt som deponiområde for gruveavfall, finner vi det riktig å formidle våre resultater med relevans for denne problematikken.

Metodikk

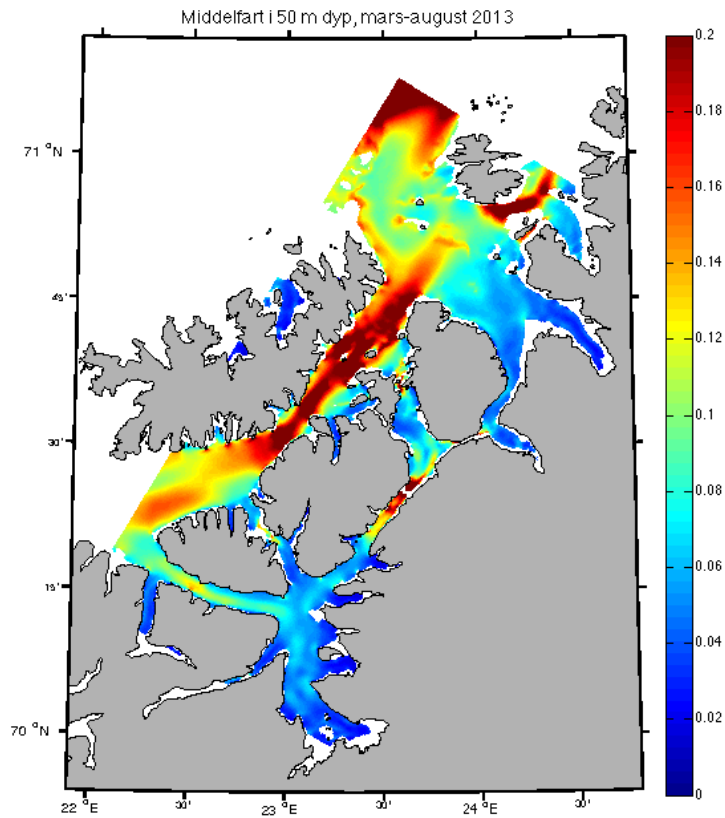
Vi har beregnet strøm for perioden mars-august 2013 og har anvendt et koblet modellsystem der en strømodell med relativt høy romlig oppløsning (160m ganger 160m) danner det innerste nivået. Randverdier til denne modellen hentes fra strømodellen NorKyst800 og atmosfæriske drivkrefter er beregnet med vindmodellen WRF. Detaljer og referanser er gitt i Havforskningsinstituttets risikovurdering for norsk fiskeoppdrett 2013 (Taranger m. fl. Fisken & Havet, særnummer 2-2014).

Strømfelt time for time danner grunnlag for partikkelspredningsmodelleringen, og vi har sluppet passive partikler sentralt i deponeringsområdet i Repparfjorden i 50 m dyp. Partiklene driver fast i 50 m uten vertikalbevegelse for å illustrerer strømfeltet i dette dypet og kan bare sammenlignes med gruveavfall av minste fraksjon med neglisjerbar synkehastighet.

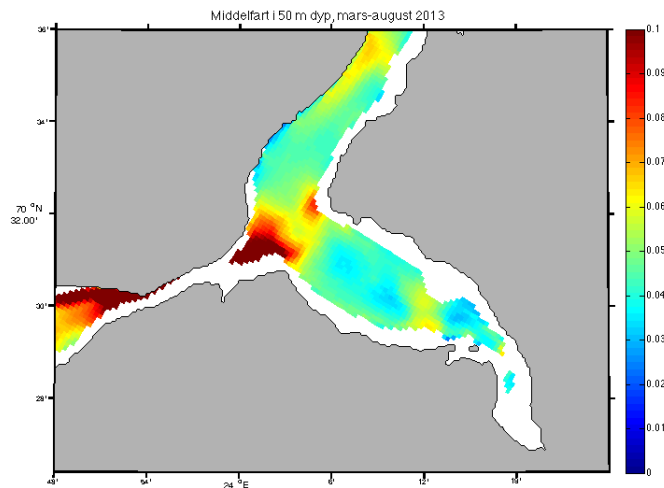
Resultater

Strømmen i 50 m dyp vil være redusert sammenlignet med de øvre vannlagene der strømmen er direkte påvirket av drivkrefter som vind og ferskvannsavrenning. Den høyeste midlere strømfarten i 50 m dyp finner vi i ytre fjord- og kystområder og der topografien skaper innsnevring (Figur 1). De høyeste verdiene vil være over 0,2 m/s, og denne høye strømfarten skyldes i all hovedsak tidevannskraften. I Repparfjorden er middelstrømmen lavere enn utover mot kysten, med verdier omkring 0,05 m/s og med sterkest strøm langs land (Figur 2). Maksimal strømfart i simuleringperioden mars-august 2013 viser også høyeste verdier langs land rundt 0,2 m/s (Figur 3).

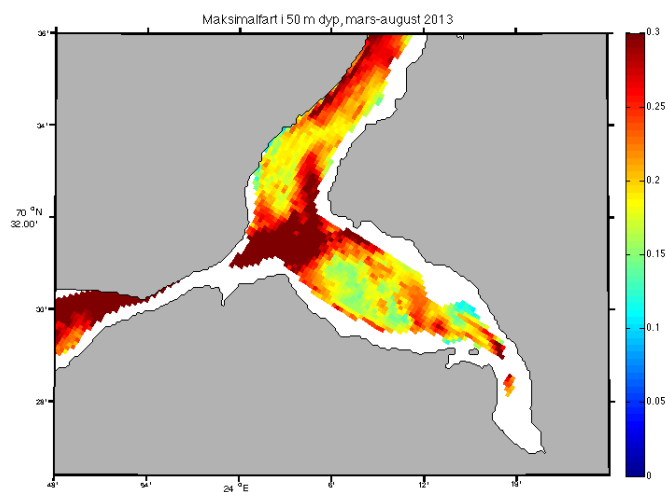
Med utslipp av 10 partikler i timen fra 3. mars 2013 finner vi at etter 2-3 uker tømmes fjorden for ca 80 % av de tilførte partiklene, og at det regelmessig forekommer episodisk eksport av partikler ut av fjorden (Figur 4). I snitt er mindre enn halvparten av de tilførte partiklene tilbakeholdt i fjorden. Etter 120 dagers simulering finner vi partikler spredt i en betydelig avstand fra utslippspunktet (Figur 5).



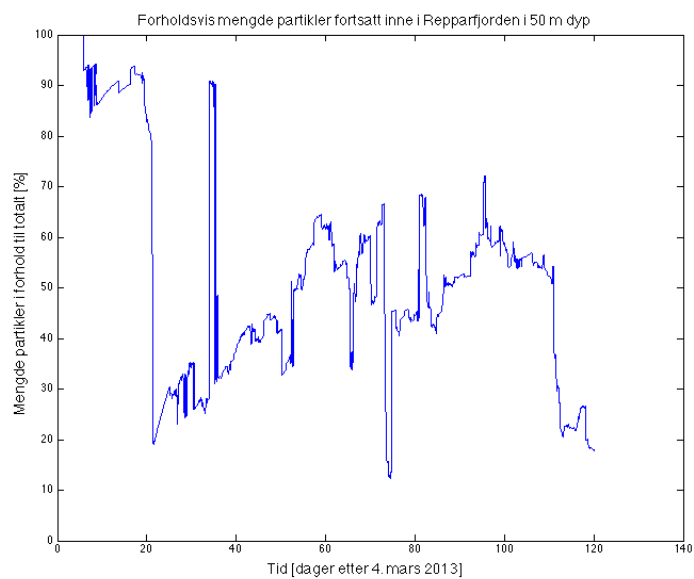
Figur 1. Midlere strømfart (m/s) i 50 m dyp i perioden mars-august 2013 fra de numeriske strømmmodellresultatene.



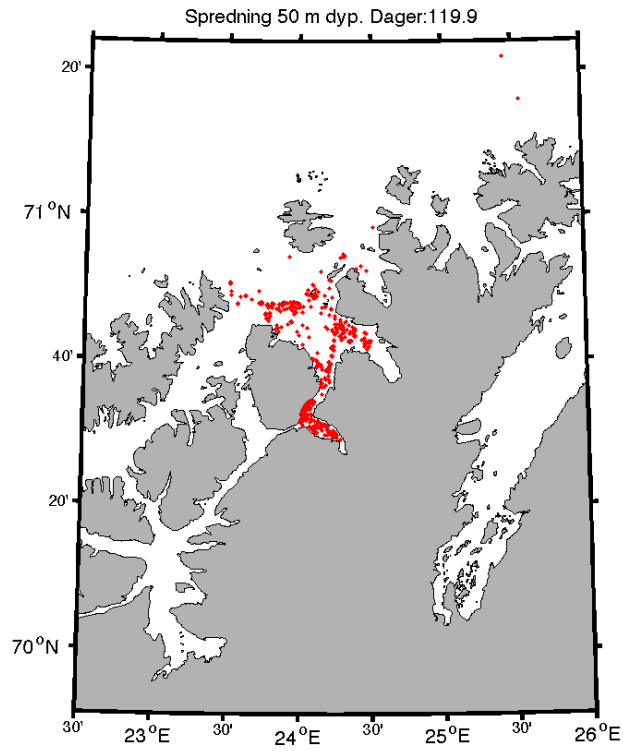
Figur 2. Utsnitt fra Repparfjorden av midlere strømfart (m/s) i 50 m dyp i perioden mars-august 2013 fra de numeriske strømmmodellresultatene.



Figur 3. Utsnitt fra Repparfjorden av maksimal strømfart (m/s) i 50 m dyp i perioden mars-august 2013 fra de numeriske strømmmodellresultatene.



Figur 4. Relativt antall partikler inne i Repparfjorden i 50 m dyp.



Figur 5. Fordeling av partikler drivende i 50 m dyp etter 120 døgn med konstant utslipp av 10 partikler/time sentralt i fjorddeponiområdet i Repparfjorden.

Appendix 2

Potensiell spredning av passive partikler i Førdefjord-området

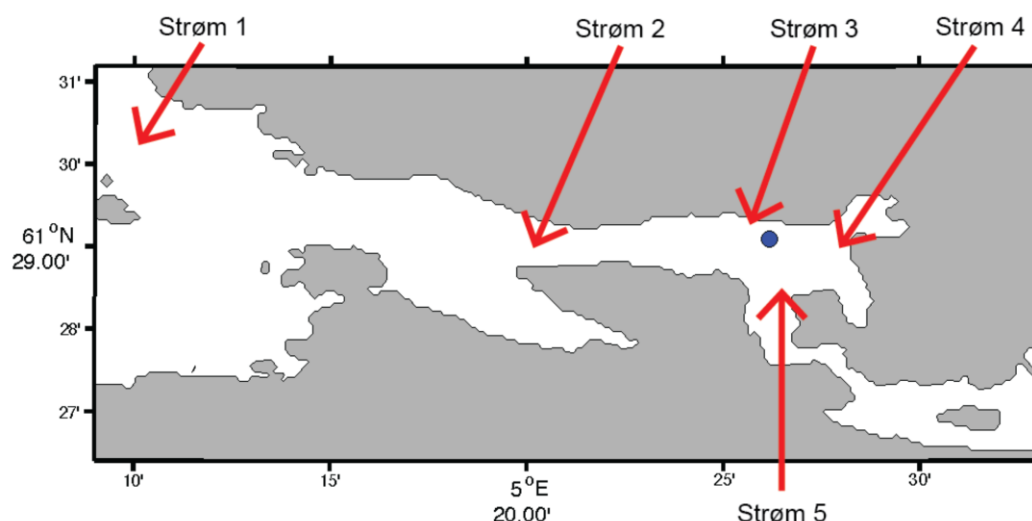
Lars Asplin, Havforskningsinstituttet, sommeren 2014.

Bakgrunn

Havforskningsinstituttet skal legge til rette for at gode politiske beslutninger og forvaltningsmessige grep skal kunne tas. En av grunnene til at vi har lagt stor vekt på å uttale oss om ulike sjødeponisaker er at konsekvensutredningene som er gjennomført har benyttet en utilstrekkelig metodikk for informasjonsinnhenting av strøm med modeller og dermed underestimert i betydelig grad spredningspotensialet for gruveavfallet. Risikoen ved sjødeponering er etter vår mening dermed større enn det som er lagt til grunn i konsekvensutredningene.

Spredning i Førdefjorden

For området omkring Førdefjorden har vi gjennomført en strømsimulering for perioden 21.mai-30. juni 2006. Beregningene er utført med en fjordmodell med romlig oppløsning på 200 m samt et sett med ulike modeller for grenseverdier mot havet og atmosfæriske drivkrefter. Modellens bunntopografi er noe glattet, slik at de dypeste tersklene er grunnere enn i virkeligheten. Modellresultatene stemmer godt overens med de verdiene for strømfart Det Norske Veritas har samlet inn i 2013-2014 (Figur 1; Tabell 1). Vår simulering ble gjennomført i et annet prosjekt, og er derfor noe kort (40 dager). Vi er i ferd med å implementere en ny modell for Sogn og Fjordane med bedre representasjon av bunndypene og mulighet for simulering av lengre perioder.



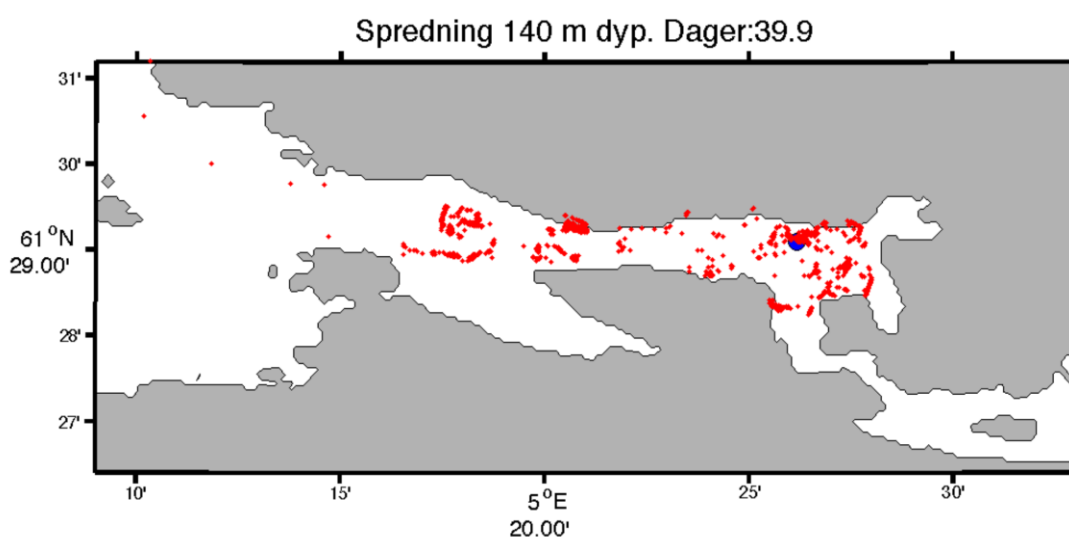
Figur 1. Posisjoner for strømmålinger i Førdefjorden 2013-2014 (DNV).

Tabell 1. Sammenligning mellom modellert midlere strømfart (21.5-30.6 2006) og observert strømfart (aug-nov/nov-feb, 2013-2104, Det Norske Veritas). Enhetene er m/s. Standardavvik i parentes. Røde tall = målte verdier. Sorte tall = modellerte verdier.

	Strøm1	Strøm 2	Strøm 3	Strøm 4	Strøm 5
10m	0.10 (0.07)	0.10 (0.07)	0.05 (0.03)	0.05 (0.03)	0.09 (0.06)
		0.08 (0.06)		0.05 (0.03)	0.08 (0.06)
50m	0.05 (0.04)	0.05 (0.03)	0.03 (0.02)	0.02 (0.01)	0.05 (0.03)
	0.06 (0.04)	0.07 (0.04)		0.04 (0.02)	0.06 (0.04)
100m	0.03 (0.02)	0.04 (0.02)	0.02 (0.01)	0.02(0.01)	0.02 (0.01)
	0.05 (0.03)	0.09 (0.08)		0.09 (0.07)	
200m	0.03 (0.02)	0.03 (0.02)	0.03 (0.01)	0.02 (0.01)	0.03 (0.02)
	0.07 (0.04)	0.05 (0.02)		0.04 (0.02)	0.03 (0.02)
300m			0.08 (0.02)		
			0.05 (0.02)		

Vi har gjennomført spredning av passive partikler som driver i faste dyp for perioden 21. mai til 30. juni 2006. Finpartikler fra gruveavfall består av både de som er så små at de svever og større partikler med en viss synkehastighet. Det at partikler synker i stille vann betyr slett ikke at de synker til bunns med en gang, og de kan fraktes langt av sted.

Vi simulerer bare for partikler som ikke synker. Drift i fast dyp vil derimot illustrere spredningen av den aller minste delen av gruveavfallet med neglisjerbar synkehastighet. Det illustrerer også strømforholdene like over terskeldypet (som i modellen er grunnere enn i virkeligheten). Strømmene i fjorder er i stor grad horisontale, og det er mye tyngre for vannmassene å bevege seg vertikalt. Likevel forekommer vertikal transport, enten pga. langvarig blanding eller pga. episodevis vertikal strøm. Generelt vil høyere horisontale strømmer gi større muligheter for vertikal forflytning.



Figur 2. Fordeling av partikler drivende i 140 m etter ca. 40 dager. Partiklene er sluppet ut med en rate på 3 i timen i posisjonen merket med blå runding.

Etter en drøy måned med kontinuerlig utslipp av partikler i 140 m dyp, noe som kanskje vil være et representativt utslippspunkt etter endel år med dumping, vil det være en jevn lekkasje av partikler ut av deponiområdet (Figur 2). Netto forflytning foregår ikke først og fremst med tidevannsstrømmene, men med trykkdrevne strømmer der forholdet mellom vannmassenes lagdeling inne i fjorden og ute på kysten spiller en rolle. Selv om strømfarten tilsynelatende er lav (~ 0.05 m/s) vil dette være nok til at transporten ut fjorden foregår i en kontinuerlig prosess.

I 300 m dyp vil partiklene som driver horisontalt ikke unslippe bassenget utenfor Vevring, men derimot spinne rundt i en rotasjon mot klokka mens de stadig stanger mot bassengveggen. Partiklene vil henge seg fast på veggen om strømkomponenten har den retningen, men i perioder når strømmen endrer retning vil de løsrive seg og fortsette den sirkulære bevegelsen. Slike strømmer nede i deponiområdet innbyr til resuspensjon og oppvirvling av gruvepartikler, og er forhold vi generelt anser som svært lite gunstige i et deponiområde. Det betyr at det vil være mer sannsynlig med en vertikal transport av gruvepartikler oppover i vannsøylen enn om vannmassene nede i dypbassenget lå helt i ro.

Havforskningsinstituttet mener disse resultatene av potensiell spredning av partikler igjen understreker at det foreslåtte deponiområdet er altfor dynamisk til at det vil kunne holde på tilstrekkelige mengder av det avfallet som plasseres der. Det er usikkerhet om måten dumping av a gruveavfallet skal foregå på, og det virker usannsynlig at ikke avfallet vil bli deponert relativt høyt opp i vannsøylen i løpet av ganske kort tid, og dermed eksponert for denne jevne transporten ut fjorden. Mulighetene for uhell/lekkasjer i et deponeringsrør er absolutt sannsynlig, noe som vil kunne medføre betydelig utslipp høyere opp i vannsøylen. Mest problematisk er at den ordinære produksjonen etter noen ti-talls år med kontinuerlig dumping vil føre til at dumping da vil foregå over terskeldypet.