

Forvaltningsstøtte Fiskeridirektoratet:  
**Strømhastigheter ved lokalitet Skorpo i Hardangerfjorden 10. august 2014,  
samt generelt om strøm.**

Lars Asplin, Anne D. Sandvik og Jon Albretsen,  
*Havforskningsinstituttet,*  
desember 2014.

### **Innledning**

Fiskeridirektoratet ber om en vurdering av strømhastigheter ved fiskeoppdrettsanlegget Skorpo N i forbindelse med ekstremværet "Lena" den 10. august 2014. Dette notatet er en vurdering av denne situasjonen samt en generell beskrivelse av hvor komplisert strømmen i de øvre vannlag kan være. Denne informasjonen kan være nyttig i forhold til hvilke strømdata som trengs for å evaluere belastninger på oppdrettsanlegg i framtiden.

### **Generelt om strøm i fjorder - strømkomponenter**

Strømmen i fjorder vil typisk variere på mange skalaer i rom og tid, og en kan dele opp strømmen i ulike komponenter. Totalstrømmen på et gitt sted og et gitt dyp vil da være summen av alle ulike komponenter samt i noen grad ikke-lineære koblinger mellom disse. Strømkomponentene oppstår av ulike drivkrefter og påvirkninger, og grunnen til at strømmen et gitt sted varierer er fordi de ulike drivkreftene og påvirkningene varierer.

De viktigste drivkreftene for strøm er ferskvannsavrenning, vind, tidevann samt indre horisontalt trykk (pga. ulik tyngde av vannmasser mellom områder i fjorden eller mellom fjorden og kysten, Figur 1).

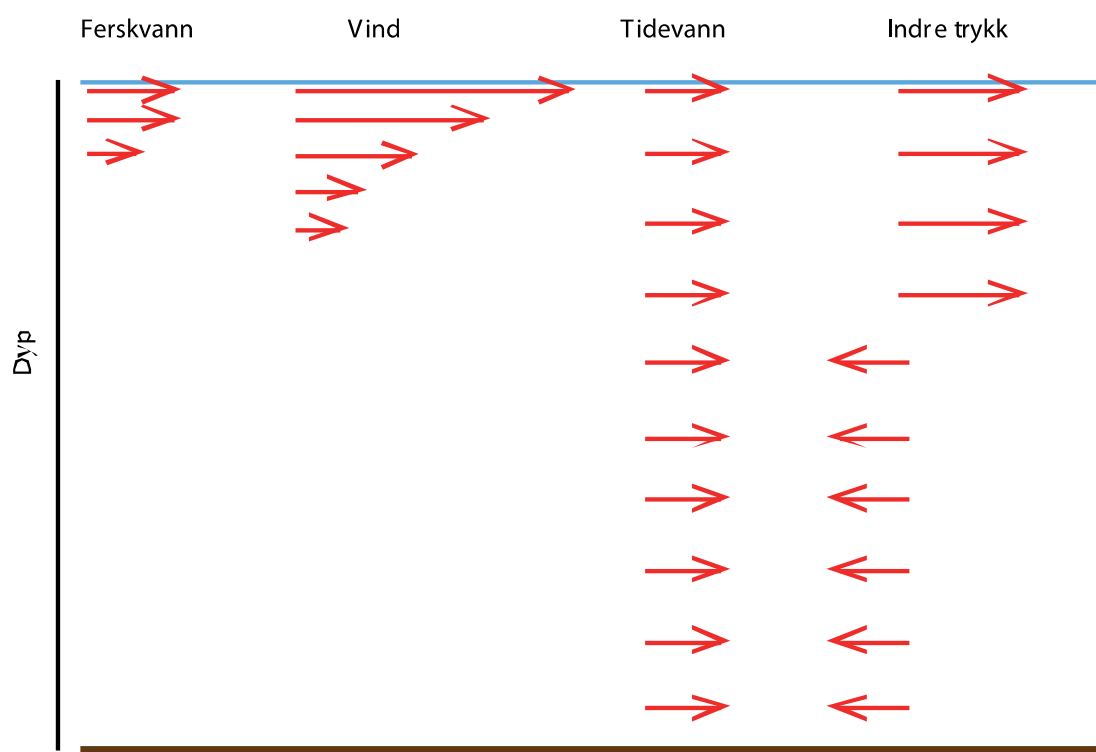
Ferskvannsavrenning skaper et relativt tynt brakkvannslag i overflaten, gjerne bare 1-5 m tykt. Strømhastighetene i brakkvannslaget vil typisk være 0,1-0,2 m/s, og varigheten av denne strømkomponenten kan være mange dager.

Den direkte vinddrevne strømmen er også konsentrert til overflatelaget, og vertikal utstrekning er maksimalt 10-20 m avhengig av varighet og styrke på vinden samt lagdelingen av vannmassene i overflaten. Hastigheten av den vinddrevne strømmen kan være svært høy helt i overflaten ( $> 1$  m/s), men denne avtar raskt fra overflaten og nedover i dypet i et logaritmisk profil. Lagdeling, overflatebølger og turbulent blanding vil kunne endre dette profilet. Varigheten av en strømepisode pga. vind er gjerne bare noen timer inne i fjordene.

Tidevannet er en kraft som påvirker hele vannsøylen, og oppstår av at en lang bølge i vannstanden forplanter seg nordover langs Norskekysten. I fjordmunningene brer vannstandsendingen seg innover som en såkalt barotrop bølge med høy hastighet (forplantningshastighet gjerne 50-100 m/s avhengig av totaldypet) og en nær stående svingning etableres i fjordens lengde. Topografiske forhold vil påvirke tidevannsstrømmen i stor grad. I delene av fjorden der det er dypt og relativt bredt vil strømmen fra tidevannet være beskjeden, ofte under 0,1 m/s. I smale sund og over grunnere terskler på bunnen

kan derimot tidevannet akselereres, og hastighetene kan bli høye (over 1 m/s). Varigheten av tidevannsstrømmen i en retning er vanligvis bare 6 t før strømmen snur og strømmer motsatt retning i nye 6 timer (halvdaglig tidevann fra månens påvirkning på vannstanden). Månefasene skaper forskjeller i tidevannet med høyeste verdier i tidsrommet rundt fullmåne.

Strøm skapt av indre horisontale trykkforskjeller skjer for eksempel ved at vinddreven oppstrømning eller nedstrømning av vannmassene mot/fra land fører til en vertikal bevegelse og dermed endringer i lagdelingen. Også progressive indre bølger som forplanter seg langs kysten kan skape en slik endret lagdeling. Så fort det oppstår en horisontal trykkforskjell vil den bli søkt utlignet og en lang indre bølge skapes. Denne indre bølgen forplanter seg inn fjorden, og dersom fjorden er tilstrekkelig bred (større enn 1-2 km) vil bølgen følge landmassene til høyre for forplantningsretningen med en vertikal utbredelse på ca. 10-50m avhengig av lagdelingen. Strømretningen vil kunne være både inn fjorden og ut fjorden (avhengig av hvilken fase den indre bølgen har) og varigheten vil kunne være mange dager. Strømhastigheten i slike episoder er ca. 0.1-0.4 m/s.



**Figur 1.** Prinsippkisse for de viktigste strømkomponentene i en fjord.

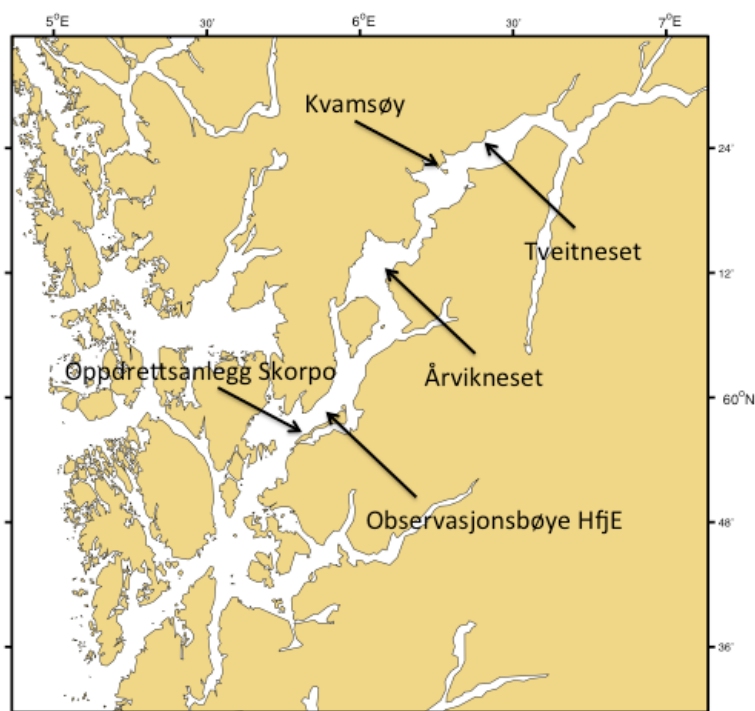
Den totale strømmen inneholder, i tillegg til bidragene fra de viktigste komponentene, ulike bidrag fra ikke-lineære interaksjoner mellom komponentene, effekten av blanding og sjiktning av vannmassene, interaksjon med overflatebølger samt turbulens på mindre skala.

## Observasjoner av sterk strøm i Hardangerfjorden

Den sterkeste strømmen oppstår gjerne i forbindelse med vindepisoder. I de tilfellene andre strømkomponenter virker i samme retning som den vinddrevne komponenten vil totalstrømmen bli sterkere enn om andre komponenter virker motsatt vei.

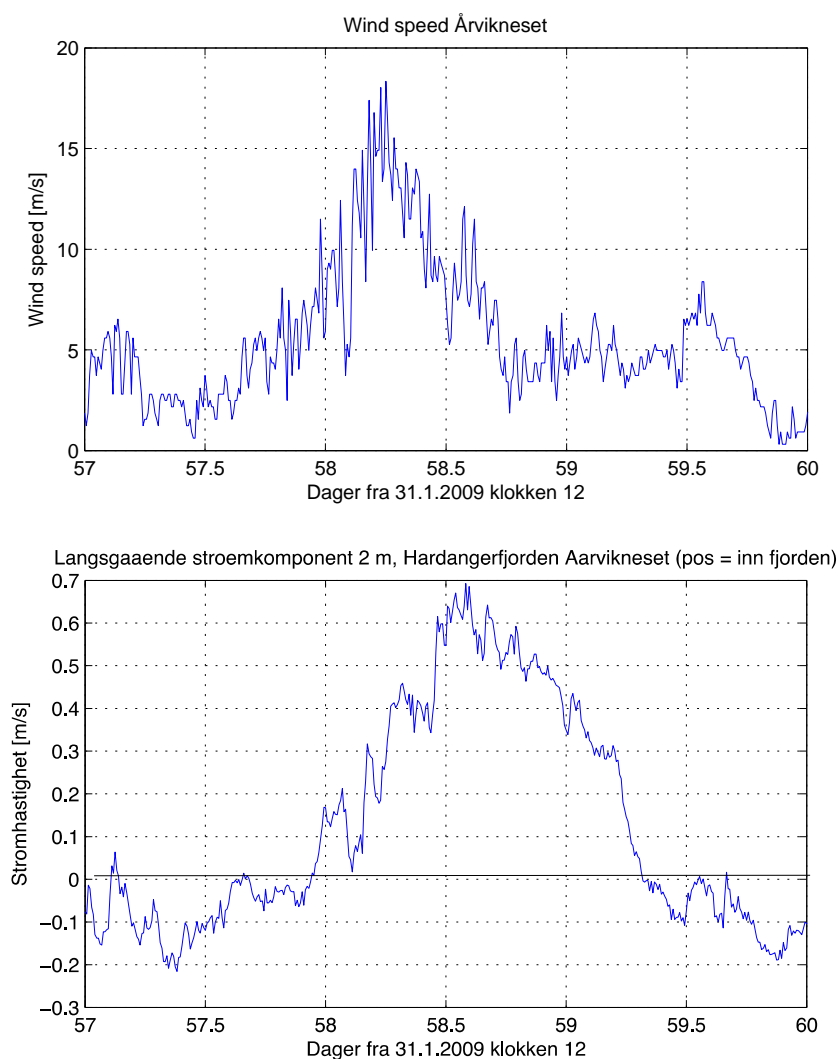
Det finnes i utgangspunktet relativt lite observasjoner av strøm langs Norskekysten og i fjorder. Havforskningsinstituttet har benyttet Hardangerfjorden de siste ca. 10 årene som en modellfjord både fordi det er betydelig oppdrettsaktivitet her og at en mer intensiv innsamling av informasjon herfra vil utvikle vår metodikk og ha overføringsverdi til resten av landet. Derfor finnes det forholdsvis mye observasjoner fra Hardangerfjorden enn fra mange andre fjordområder.

I Hardangerfjorden er det observert hydrografi, strøm og vind for en rekke posisjoner og til ulike tider. Det er også gjennomført modellsimuleringer av både strøm, hydrografi og vind for området. I tillegg til Havforskningsinstituttets observasjoner gjøres det målinger av atmosfæriske forhold av Meteorologisk institutt samt ulike observasjoner fra oppdrettsaktører og fra andre forskningsinstitusjoner. Generelt er disse dataene vanskelig tilgjengelige med unntak av værobservasjonene fra Meteorologisk institutt (tilgjengelig gjennom f.eks. <http://eklima.met.no>).



**Figur 2.** Kart over de ulike posisjonene det presenteres data fra.

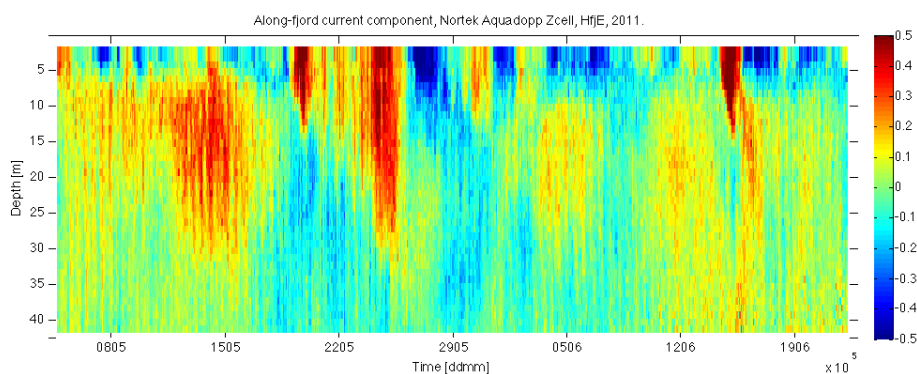
En typisk vindepisode er observert ved den observasjonsbøyen Havforskningsinstituttet hadde utplassert ved Årvikneset vinteren 2009 (Figur 3). Her er vindfart målt ca. 3 m over havoverflaten mens strømmen er målt i 2 m dyp. Vindepisoden varer i ca. ett døgn og strømeepisoden omtrent det samme. Strømtoppen kommer noen timer etter den kraftigste vinden, og høyeste hastighet i 2 m dyp er tett opp mot 0,7 m/s (10-minutters middelerdi) mens høyeste vindhastighet er drøyt 15 m/s.



**Figur 3.** Observert vind og strøm fra våren 2009 ved observasjonsbøyen Årvikneset. Vindhastighet er målt ca. 3m over havoverflaten, mens strøm er fra ca. 2 m dyp.

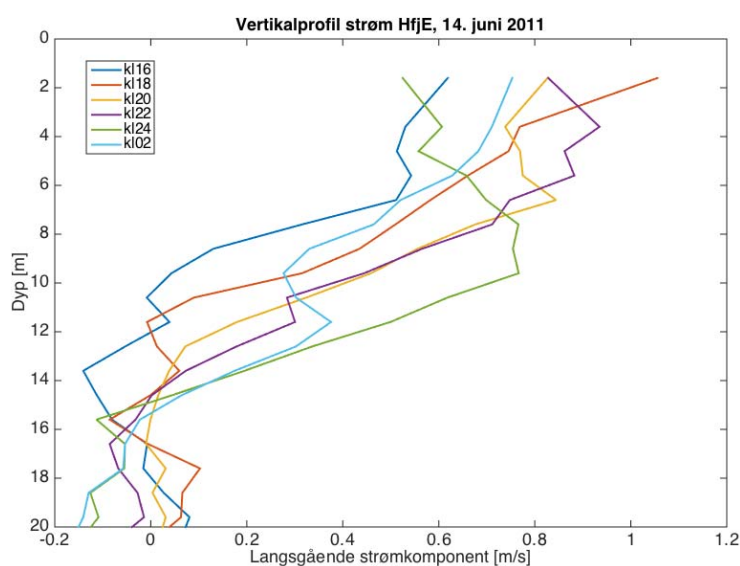
Observasjoner fra posisjonen til en annen observasjonsbøye utenfor Rosendal (HfjE, Figur 2) av et vertikalprofil av strøm i mai-juni 2011 viser stor variabilitet både i rom og i tid (Figur 4). Rød farge er innoverrettet strøm mens blå er strøm utover fjorden. De intense røde feltene av kort varighet i de øvre ca. 10 m stammer fra vindepisoder, mens andre identifiserbare komponenter er en indre trykkdrevet strøm (bølge) omkring 15. mai samt blå felt i overflaten som sannsynligvis er innslag av ferskvannsdrevet strøm ut fjorden. Strømmen fra

tidevannet er også synlig som tette vertikale striper selv om hastigheten i denne posisjonen (ved dyp og bred fjord) er beskjeden (amplitude på  $\sim 0.1$  m/s).



**Figur 4.** Observert strøm fra mai-juni 2011 ved observasjonsbøyen HfjE utenfor Rosendal.

Ser vi nærmere på episoden den 14. juni 2011 (Figur 4) finner vi at denne er relativt typisk og dominert av den vinddrevne strømkomponenten (Figur 5). Vertikalprofilene hver annen time mellom 14. juni kl. 16 og 15. juni kl. 02 viser at strømmen avtar hurtig nedover i dypet, og at ved ca. 15 m dyp er strømhastigheten lav. Den maksimale strømhastigheten er målt i 1,5 m dyp (som er det grunneste dypet for målingen) der den passerer 1 m/s. Strømhastigheten helt i overflaten er sannsynligvis endel høyere enn dette, men blir nok sterkt påvirket av overflatebølger og turbulens/blanding og dermed noe svakere enn hva et teoretisk logaritmisk profil ville gitt. Strømhastigheten avtar først i overflaten etterhvert som vinden avtar (må vi formode siden vi ikke har målinger av vind), mens nedover i dypet opprettholdes og i noen grad øker strømhastigheten. Ved midnatt, 6 timer etter maksimal strøm i overflaten, finner vi maksimal strømhastighet mellom 8 og 10 m dyp på ca 0,75 m/s.



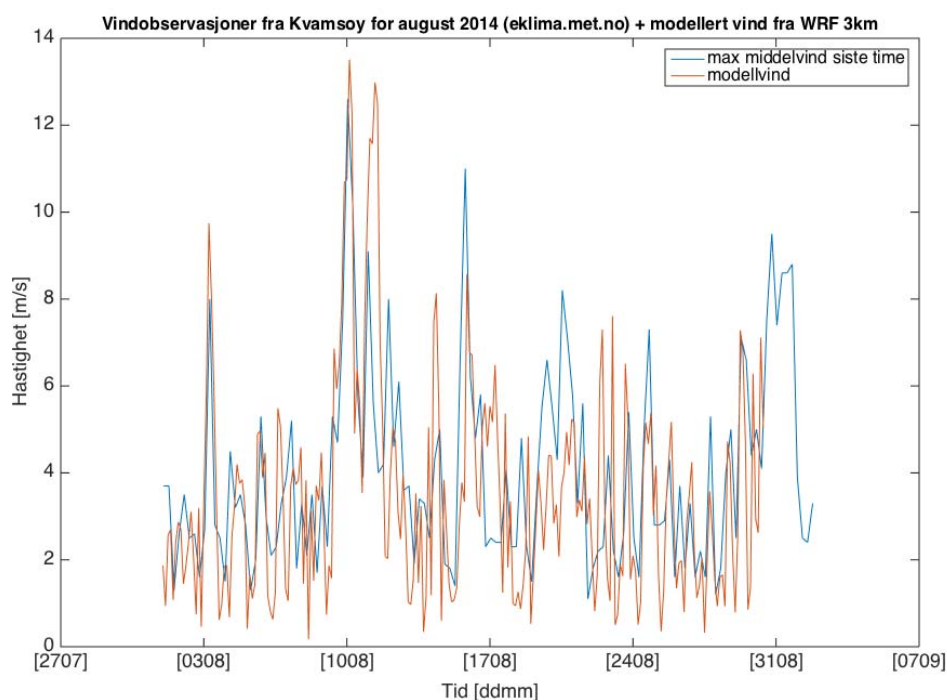
**Figur 5.** Observert strømprofil ved observasjonsbøyen HfjE utenfor Rosendal for utvalgte tidspunkt den 14. juni 2011.

## Kraftig strøm den 10. august 2014

I forbindelse med ekstremværet "Lena" var det kraftig vind og strøm i Hardangerfjorden den 10. august. Direkte informasjon om strømforholdene fra oppdrettsanlegget Skorpo N har vi bare i form av resultater fra strømmodell med 200 m horisontal oppløsning. I tillegg har vi observasjoner av strøm fra oppdrettsanlegget Tveitneset lenger inne i fjorden (nær Ålvik, Figur 2) samt vindobservasjoner fra Kvamsøy.

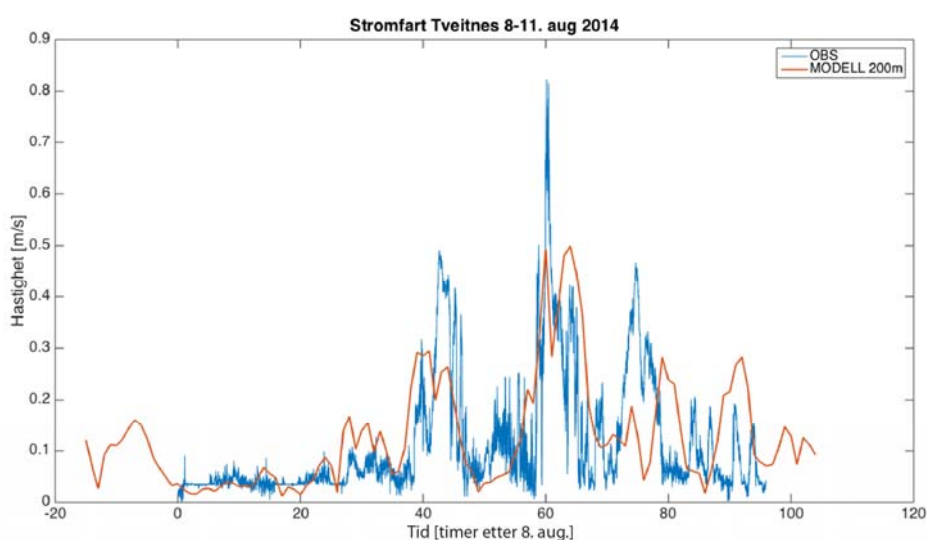
Resultatene fra strømmodellen vil være sentrale for å forstå situasjonen ved Skorpo dette døgnet. Havforskningsinstituttets modellapparat for å beregne strøm i fjorder består av et sammensatt modellsystem der vi først simulerer åpne grenseverdier på kysten med strømmodellen NorKyst800 som har 800 m romlig oppløsning og atmosfæriske drivkrefter med vindmodellen WRF med 3 km romlig oppløsning. Dette gir drivkrefter og grenseverdier av god kvalitet for å simulere strøm og hydrografi med strømmodellen med 200 m romlig oppløsning som dekker hele Hardangerfjorden samt et større område på kysten fra Haugesund til Bergen.

Vinden vil være en viktig drivkraft for strømmodellen, og for å illustrere at resultatene fra vindmodellen er i overenstemmelse med observasjoner har vi sammenlignet observert og modellert vindhastighet fra Kvamsøy (Figur 6). Vindmodellen gjenskaper de observerte verdiene på en tilfredsstillende måte, og de få avvikene kan skyldes både at den modellerte vinden representerer et areal på 3km ganger 3 km og at tidspunktet for vindverdien kan avvike inntil en time i forhold til den observerte vinden.



**Figur 6.** Sammenligning mellom observasjoner av vind ved Kvamsøy (blå linje) og modellresultater fra atmosfæremodellen WRF med 3 km romlig oppløsning (rød linje) for august 2014.

Med nøyaktig vind forventer vi at strømmodellen klarer å gjenskape strømmen i Hardangerfjorden på en realistisk måte. Den eneste tilgjengelige strømbobservasjonen er fra Tveitneset nær Ålvik, der strømfart er observert i 5 m dyp hvert 10. minutt. Her finner vi en nokså god overensstemmelse mellom strømmodellresultatene og observasjonene, men maksimal strøm er underestimert i modellen (Figur 7). Vi forventer at den modellerte maksimalstrømmen skal være noe lavere enn en observasjon fra et punkt siden modellresultatene representerer en middelværdi for en gitterrute på 200 m ganger 200 m og dermed ikke fanger opp småskala bevegelser. Oppløsningen av modellresultatene i tid er dessuten bare en verdi pr. time noe som betyr at høye verdier innenfor en time kanskje ikke vil fanges opp. Den høyeste maksimalverdien på over 0,8 m/s i observasjonene ser nettopp ut til å ha en varighet på under en time (Figur 7).

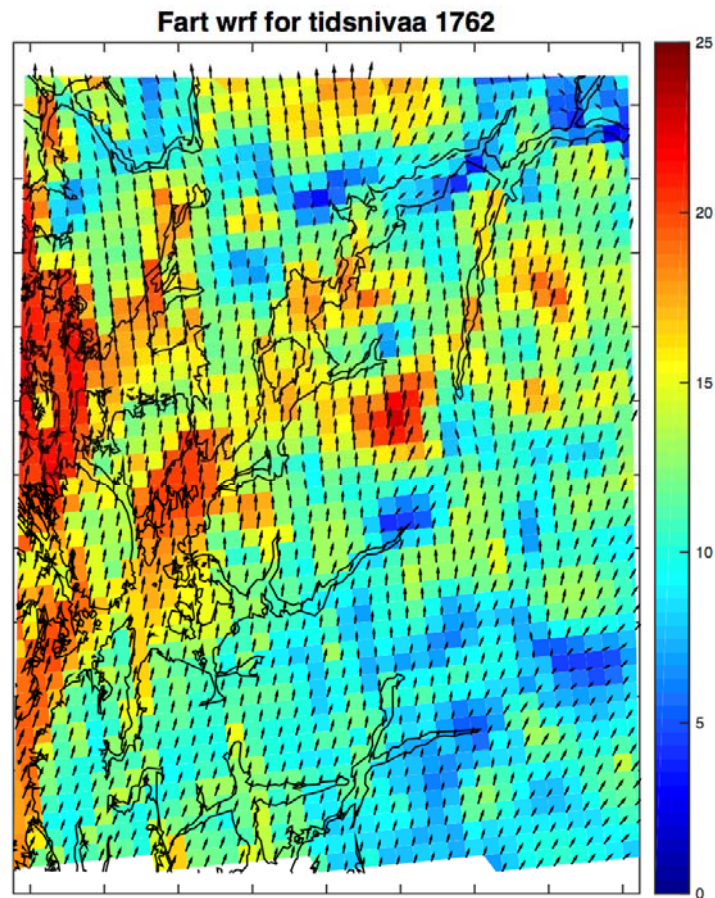


**Figur 7.** Sammenligning mellom observasjoner av strøm ved Tveitneset (blå linje) og modellresultater fra strømmodellen med 200 m romlig oppløsning (rød linje) for 8-11. august 2014.

Modellresultatene både for vind og strøm ser altså ut til å stemme rimelig godt overens med tilgjengelige observasjoner. Det er derfor grunn til å anta at resultatene fra modellene har relativt god overensstemmelse med forholdene ellers i Hardangerfjorden.

Et generelt resultat fra både vind og strømmodellene er at vind- og strømfeltene varierer mye ikke bare i tid, men også i rom. Vindforholdene omkring midnatt 10. august da uværet "Lena" traff Hardangerfjorden viser at vindstyrken varierer mellom mer enn 20 m/s i deler av fjorden, fortrinnsvis i den ytre delen, mens andre steder i fjorden er det områder med mindre vind og nærmest vindstille innerst i fjorden (Figur 8).



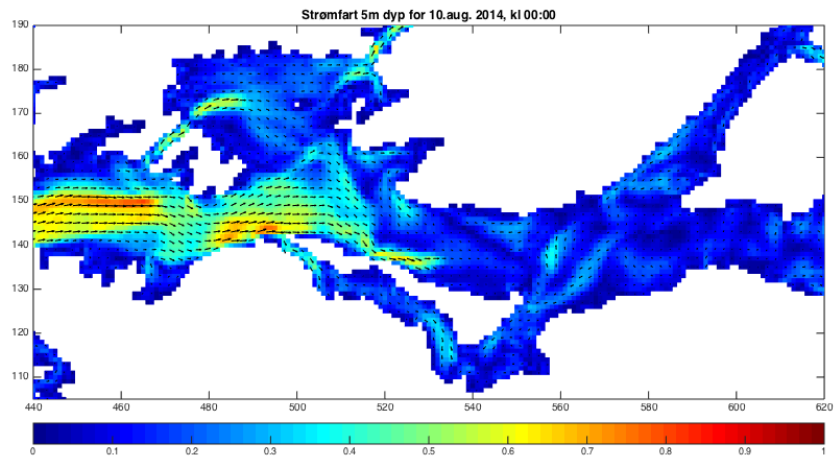
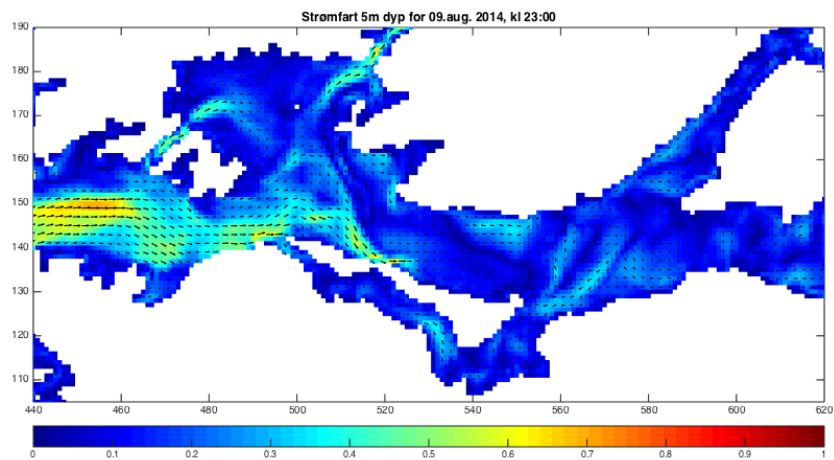
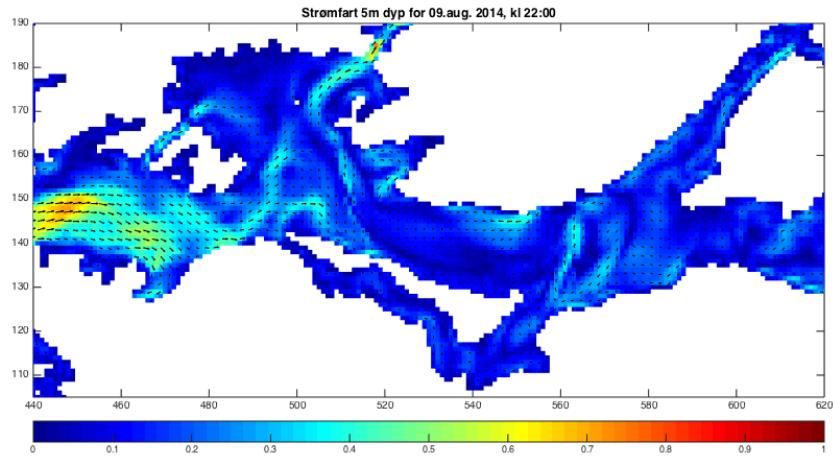


**Figur 8.** Modellert vind for midnatt 10. august 2014 fra atmosfæremodellen WRF med 3 km romlig oppløsning.

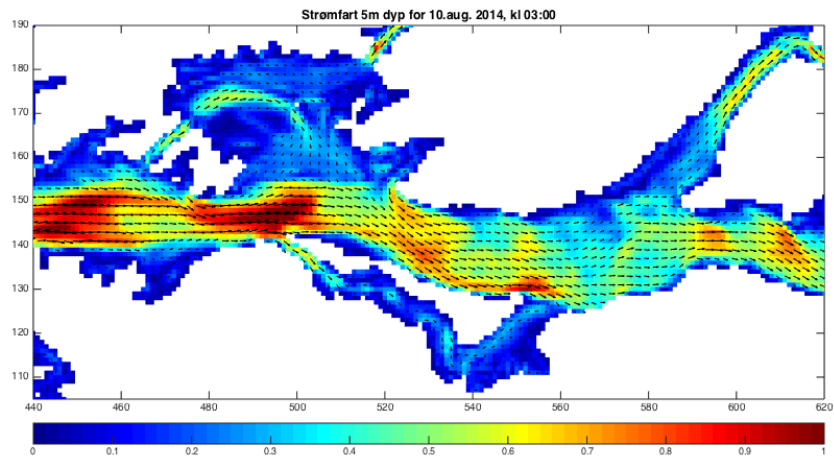
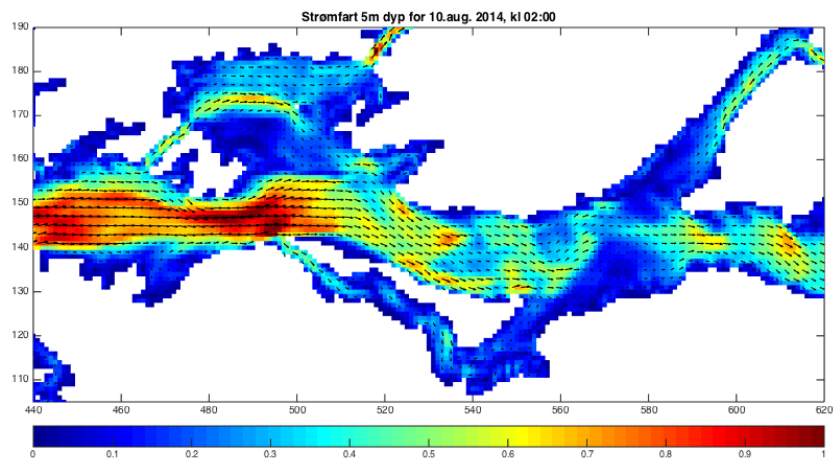
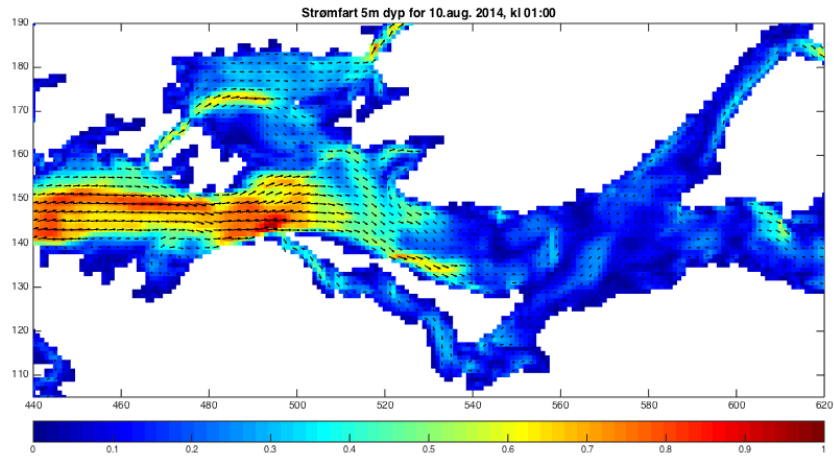
Slike variasjoner i vinden vil skape variasjon i strømmen med lokal konvergens og divergens i med det resultatet at totalstrømmen kan bli "rotete" og det oppstår "skvalping" som er vanskelig å tolke.

Variasjonene i drivkreftene for strøm er store, og det gjelder ikke bare for vinden men også de andre drivkreftene. Slik variasjon skaper selvfølgelig variasjon i strømmen, noe som i stor grad fanges opp av strømmodellen. En tidsutvikling av strømmen i 5 m dyp for et område som inkluderer lokaliteten Skorpo N viser hvordan forholdene utviklet seg om kvelden og natten til den 10. august 2014 (Figur 9).

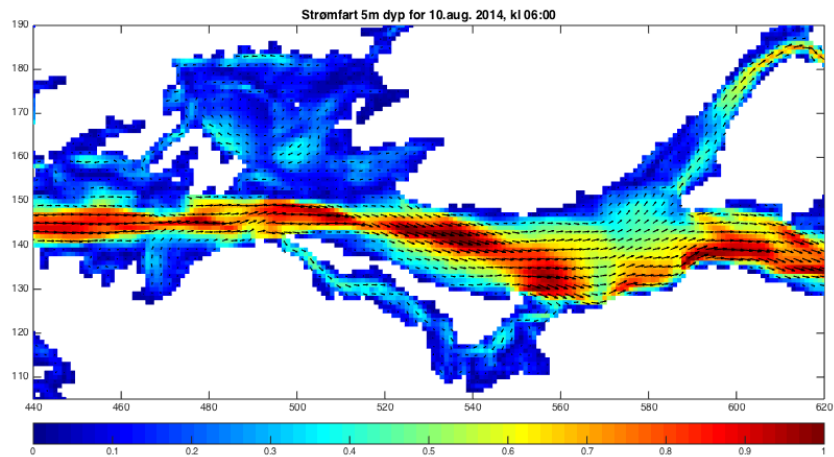
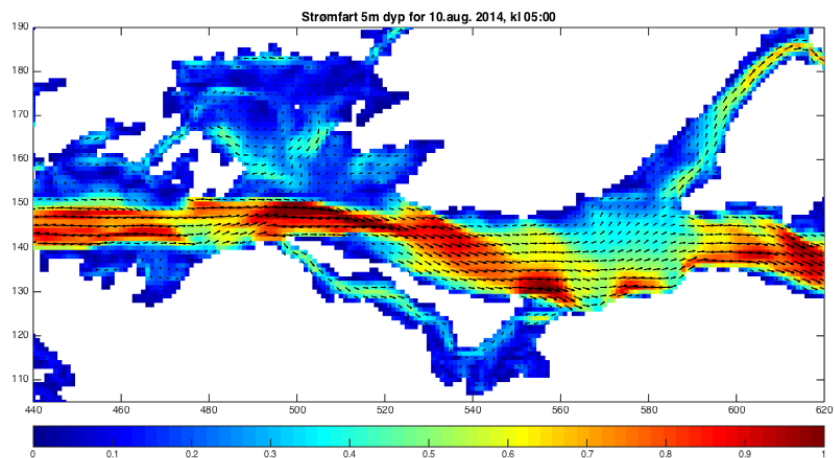
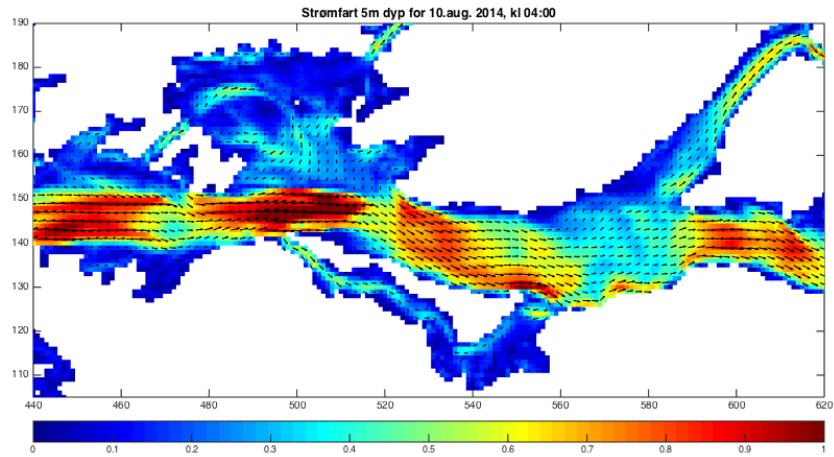




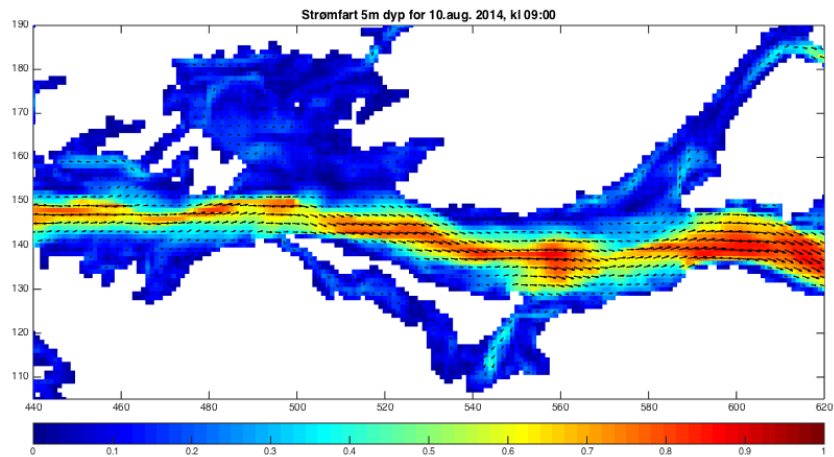
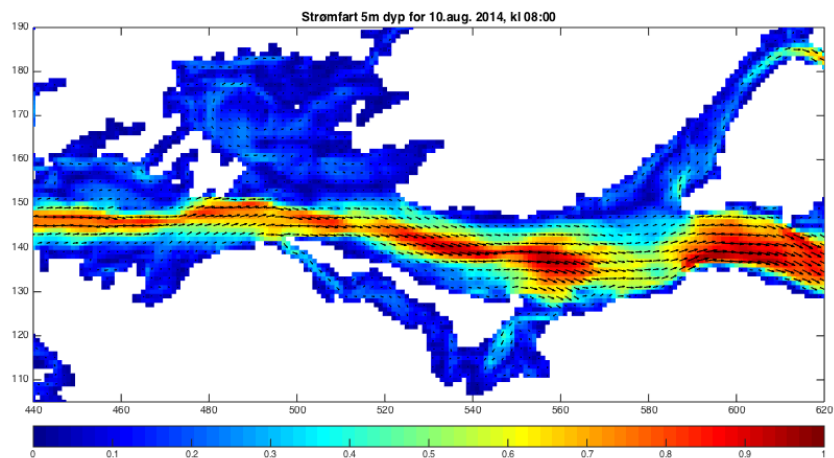
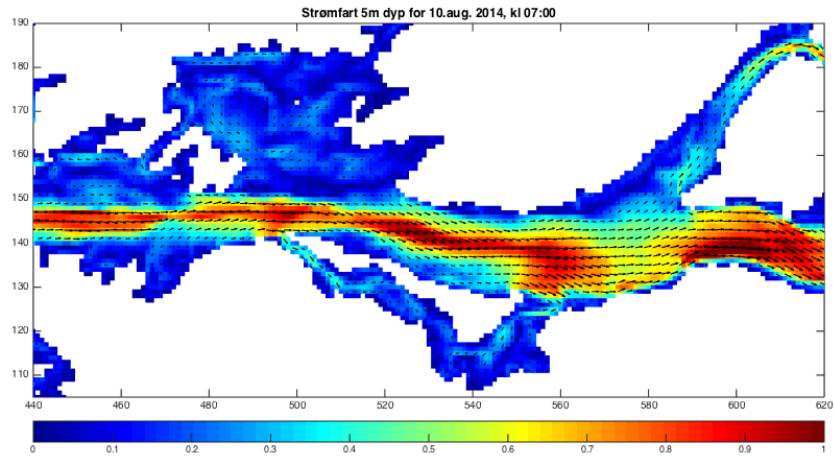
**Figur 9.** Modellert strøm (fart og retning) i Kvinnheradsfjorden fra 5 m dyp time for time mellom 9. august kl. 22 og 10. august kl. 11. Merk at kartet er rotert med klokka i forhold til nord.



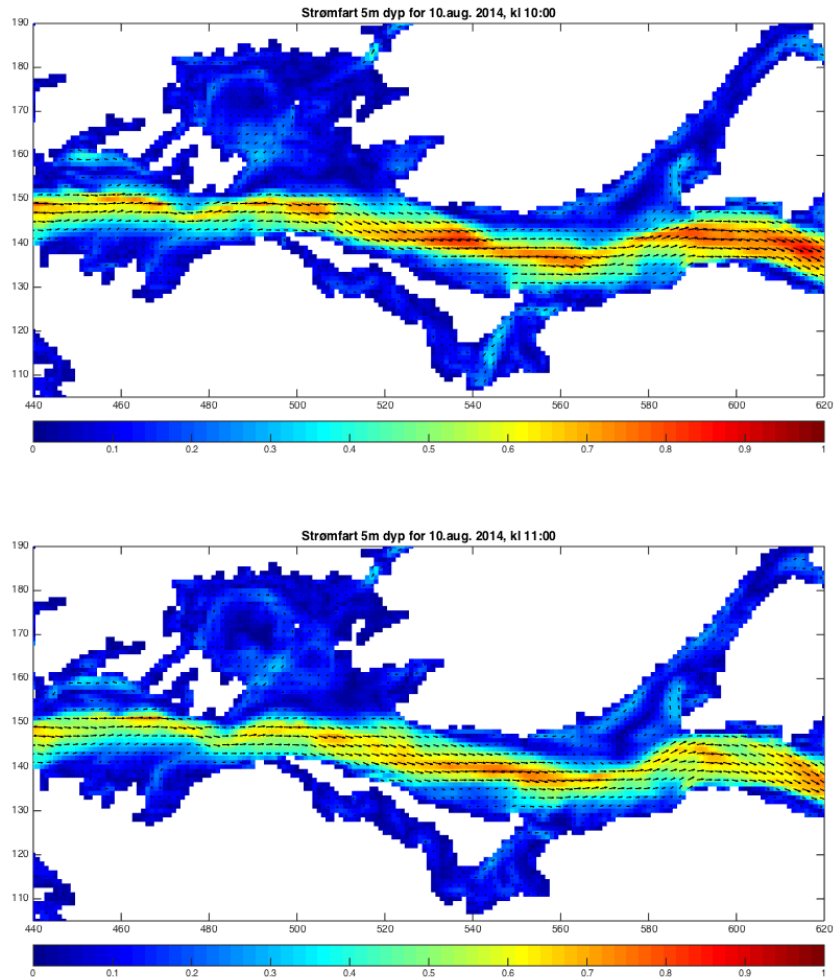
**Figur 9 forts.** Modellert strømfart (fart og retning) i Kvinnheradsfjorden fra 5 m dyp time for time mellom 9. august kl. 22 og 10. august kl. 11. Merk at kartet er rotert med klokka i forhold til nord.



**Figur 9 forts.** Modellert strøm (fart og retning) i Kvinnheradsfjorden fra 5 m dyp time for time mellom 9. august kl. 22 og 10. august kl. 11. Merk at kartet er rotert med klokka i forhold til nord.



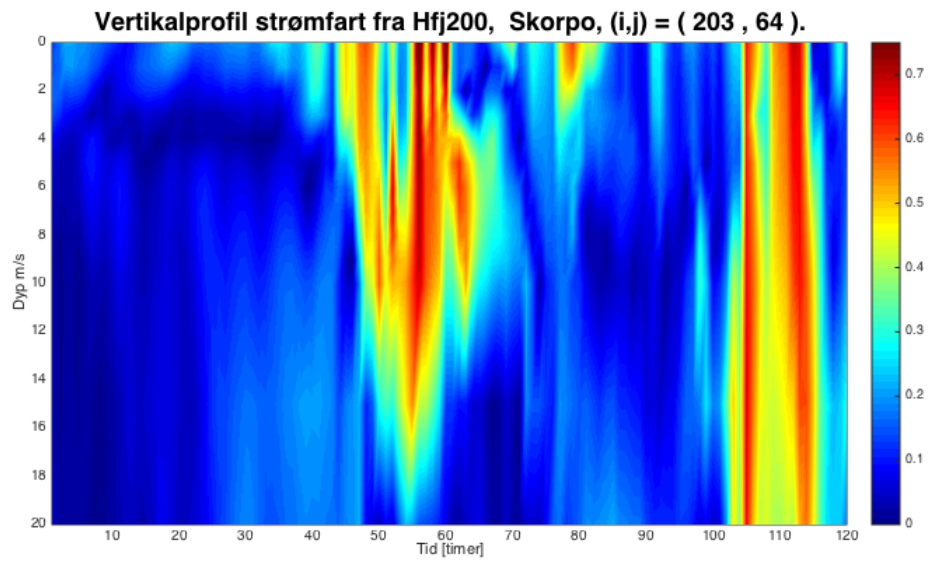
**Figur 9 forts.** Modellert strømfart (fart og retning) i Kvinnheradsfjorden fra 5 m dyp time for time mellom 9. august kl. 22 og 10. august kl. 11. Merk at kartet er rotert med klokka i forhold til nord.



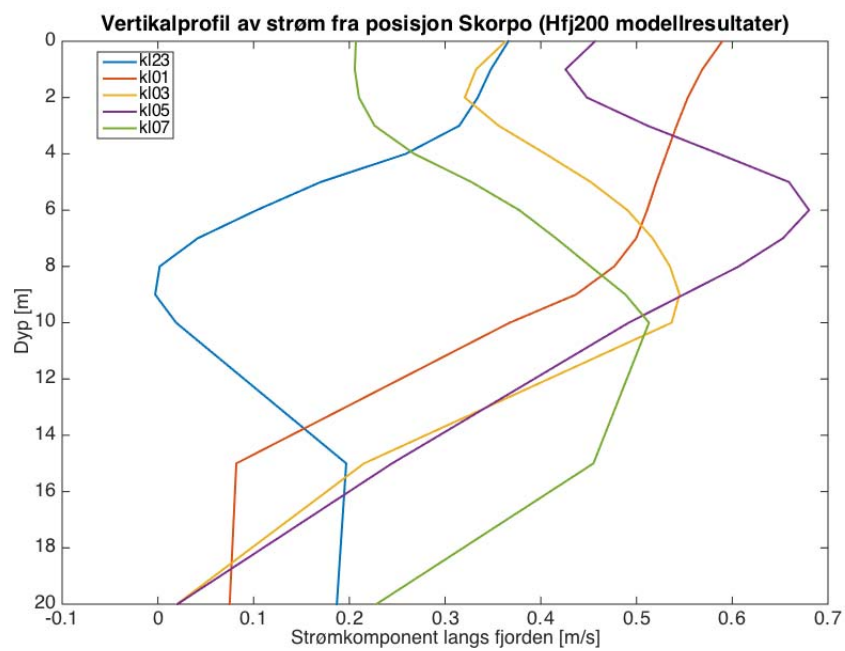
**Figur 9 forts.** Modellert strøm (fart og retning) i Kvinnheradsfjorden fra 5 m dyp time for time mellom 9. august kl. 22 og 10. august kl. 11. Merk at kartet er rotert med klokka i forhold til nord.

Maksimal strøm foregår i en forholdsvis tynn kjerne midt i fjorden med hastighet over ca. 1 m/s. Lokaliteten Skorpo N ser ut til å ligge i le av land men såpass nær området med høy strømhastighet at det er usikkert i hvilken grad denne er påvirket.

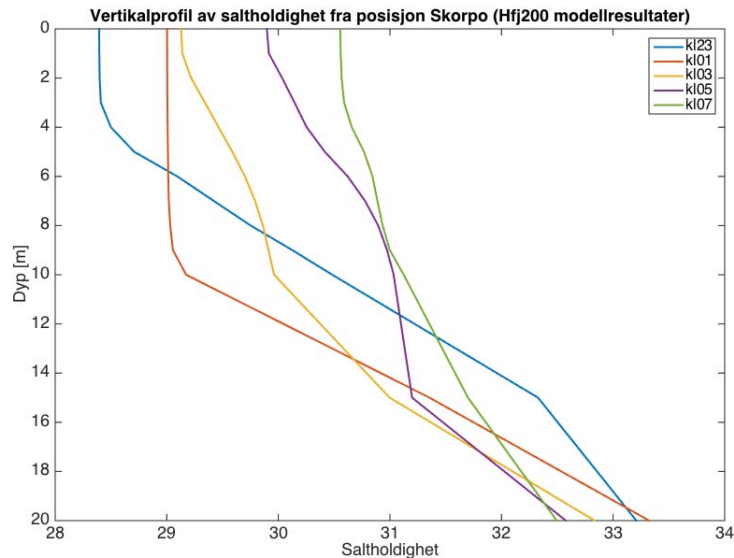
Om vi henter ut en tidsserie av strømmen fra lokaliteten Skorpo N i modellen og ser på et vertikalprofil, finner vi et typisk mønster med høyest hastighet i overflaten og med en gradvis påvirkning også dypere ned i vannmassene til ca. 15 m dyp (Figur 10).



**Figur 10.** Vertikalprofil av modellert strøm ved lokalitet Skorpo N fra midnatt den 8. august 2014 og 120 timer fram.



**Figur 11.** Vertikalprofil av modellert strøm (langsgående strømkomponent) ved lokalitet Skorpo N annenhver time mellom 9. august kl. 23 og 10. august kl 07.



**Figur 12.** Vertikalprofil av modellert saltholdighet ved lokalitet Skorpo N annenhver time mellom 9. august kl. 23 og 10. august kl 07.

Mer detaljert utvikling av strøm og sjiktning ved lokaliteten Skorpo N viser at maksimal strøm i overflaten skjer ca. klokken 01 mens den maksimale strømmen oppstår ca. kl 05 rundt 6 m dyp med en hastighet på omtrent 0,7 m/s (Figur 11). I forbindelse med vindepisoden foregår det en gradvis blanding av vannmassene i de øvre 10-15 m (Figur 12), noe som vil påvirke strømprofilen i det samme området.

### Konklusjon

Spørsmålet fra Fiskeridirektoratet er om strømhastigheten i 5 m dyp kan ha overskredet 50-års strøm ved lokaliteten, beregnet til 0,82 m/s, i forbindelse med ekstremværet "Lena" den 10. august 2014.

Modellresultatene av strøm viser at verdien i 5 m ikke overstiger 0,7 m/s. Likevel har vi vist at modellert strøm kan underestimere maksimal strøm i korte perioder (< 1t, Figur 7) i en grad som gjør at vi ikke kan utelukke at strømmen kan ha passert 50-årsverdi. Også det faktum at lokaliteten ligger noe i le av land for strøm fra sør (inn fjorden) og at det ikke er langt fra lokaliteten ut til kjernen av strøm som modellen beregner til å overstige 1 m/s i 5 m dyp, gjør at vi heller ikke kan utelukke at usikkerheter i modellresultatene gjør at den høye strømmen ligger litt for langt ut i fjorden og at lokaliteten i virkeligheten er sterkere påvirket enn modellresultatene viser.

Vi har vist at strømmen varierer mye både i rom og i tid. Belastningen på et oppdrettsanlegg (i tillegg til overflatebølger og vind) vil være variable, og de totale kreftene som virker vil være kompliserte.



## Relevante publikasjoner

Albretsen J, Sperrevik AK, Staalstrøm A, Sandvik AD, Vikebø F, Asplin L. 2011. NorKyst-800 report no. 1: User manual and technical descriptions. Fisken og Havet, Institute of Marine Reserch 2/2011. 51 pages.

Asplin L, Salvanes AGV, Kristoffersen JB. 1999. Non-local wind- driven fjord-coast advection and its potential effect on plankton and fish recruitment. *Fisheries Oceanography* 8:255-63.

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.

Ciannelli L, Knutsen H, Olsen EM, Espeland SH, Asplin L, Jelmert A, et al. 2010. Maintenance of small-scale genetic stucture in a marine population in relation to water circulation and egg characteristics. *Ecology* 91:2918-30.

Johnsen, I.A., Fiksen, Ø., Sandvik, A.D., Asplin, L., 2014. Vertical salmon lice behaviour as a response to environmental conditions and its influence on regional dispersion in a fjord system, *Aquaculture Environment Interactions*, 5, 127-141. DOI: 10.3354/aei00098.

Klinck JK, O'Brien JJ, Svendsen H. 1981. A simple model of fjord and coastal circulation interaction. *Journal of Physical Oceanography* 11:1612-26.

Stigebrandt A. 2012. Hydrodynamics and circulation of fjords. In: Bengtsson L, Herschy RW, Fairbridge RW, editors. *Encyclopedia of Lakes and Reservoirs*. Berlin: Springer, p 327-44.

F. R. Cottier, F. nilsen, R. Skogseth V. Tverberg, J. Skardhamar & H. Svendsen 2010. Arctic fjords: a review of the oceanographic environment and dominant physical processes. From: Howe, J. A., Austin, W. E. N., Forwick, M. & Paetzel, M. (eds) *Fjord Systems and Archives*. Geological Society, London, Special Publications, 344, 35–50. DOI: 10.1144/SP344.4

M. E. Inall and P. A. Gillibrand, 2010. The physics of mid-latitude fjords: a review. Geological Society, London, Special Publications 2010; v. 344; p. 17-33 doi:10.1144/SP344.3

David M. Farmer and Howard J. Freeland, 1983. *The Physical Oceanography of Fjords*, Progress in Oceanography, Vol. 12, pp. 147-220.