

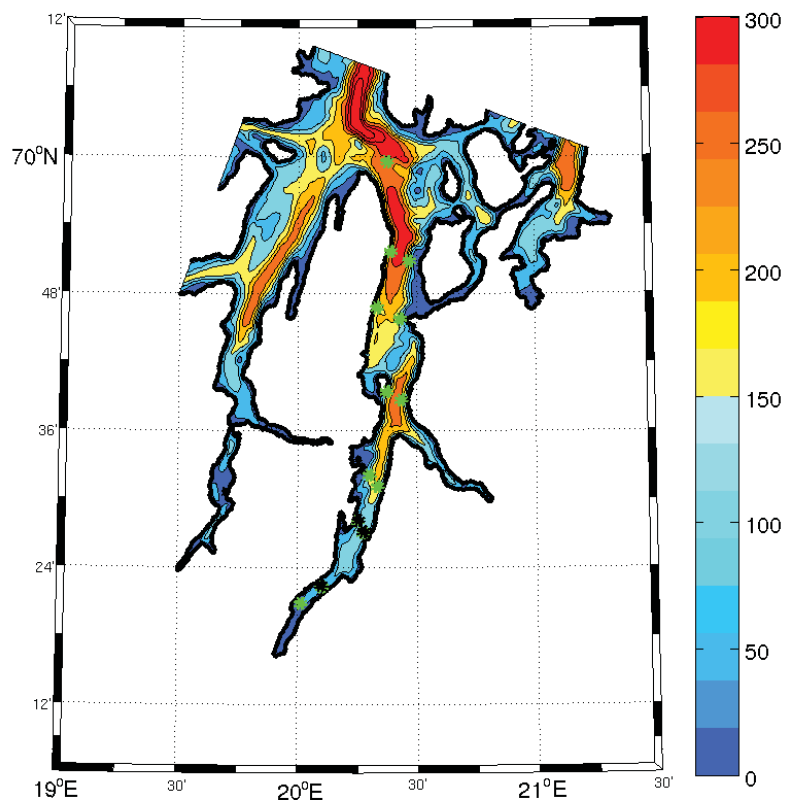
Metode for lokalisering og verdisetting av gyteplasser i fjorder med dype terskler, åpne havbukter og sund

Sigurd Heiberg Espeland, Jon Albretsen, Geir Dahle, Lars Asplin,
Torstein Olsen, Esben Moland Olsen, Jan Henrik Simonsen og Torjan Bodvin



Metode for lokalisering og verdsetting av gyteplasser i fjorder med dype terskler, åpne havbukter og sund

Sigurd Heiberg Espeland, Jon Albretsen, Geir Dahle, Lars Asplin, Torstein Olsen, Esben Moland Olsen, Jan Henrik Simonsen og Torjan Bodvin



PROSJEKTRAPPORT



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
INSTITUTE OF MARINE RESEARCH

Nordnesgaten 50, Postboks 1870 Nordnes, 5817 BERGEN
Tlf. 55 23 85 00, Faks 55 23 85 31, www.imr.no

Tromsø
9294 TROMSØ

Flødevigen
4817 HIS

Austevoll
5392 STOREBØ

Matre
5984 MATREDAL

Rapport:

Fisken og Havet

Nr. - År

1-2010

Tittel (norsk/engelsk):

Metode for lokalisering og verdisetting av gyteplasser i fjorder med dype terskler, åpne havbukter og sund

Engelsk tittel

Methods for localizing and evaluation of spawning areas in fjords with deep sills, straights and exposed areas.

Forfatter(e):

Sigurd Heiberg Espeland, Jon Albretsen, Geir Dahle, Lars Asplin, Torstein Olsen, Esben Moland Olsen, Jan Henrik Simonsen og Torjan Bodvin

Distribusjon:

Åpen

Prosjektnr.:

12206-08

Oppdragsgiver(e):

FHF, LU

Oppdragsgivers referanse:**Dato:**

31.12.2009

Program:

Økosystem kystzone

Faggruppe:

422 Bunnhabitat

432 Oseanografi

435 Populasjonsgenetikk

434 Plankton

Antall sider totalt:

37

Sammendrag (norsk):

Kartlegging av gytefelt for kysttorsk blir stadig viktigere. Tidligere kartlegginger er gjort med bakgrunn i ansamlinger av gytende fisk. I denne studien tar vi også hensyn til fordeling av nygytte egg i vannmassene og simulerer hvordan disse vil drive med strøm. På denne måten finner vi de områdene som er viktige for gyting og de pelagiske livsstadier for fisken. Dette studie danner et metode grunnlag for fremtidig gytefelt kartlegging og viser viktigheten av å inkludere strøm og drift av egg.

Summary (English):

Marine mapping of spawning areas for coastal cod have become increasingly important. Previous mapping have considered aggregations of mature cod. In this study we also evaluate distribution of cod eggs and their passive pelagic movement after spawning. This presents future methodology for mapping important areas in the spawning process. This study clearly shows the importance of incorporating egg distribution and water current.

Emneord (norsk):

1. Gytefelt
2. Kysttorsk
3. Kartlegging

Subject heading (English):

1. Spawning area
2. coastal cod
3. marine habitat mapping


Prosjektleder
Torjan Bodvin


Programleder
Einar Dahl

Sammendrag

Prosjektet hadde som formål å utvikle en metode for påvisning og verdisetting av gyteområder for kysttorsk i fjorder med dype terskler, havbukter og sund. Storfjorden/Lyngfjorden i Troms ble benyttet som modellområde.

For påvisning av egg ble det gjennomført eggtrekk på 75 stasjoner. For å finne hvilke dybdeintervall eggene primært befant seg i, ble trekkene splittet med ett trekk fra 50 til 20 m og ett trekk fra 20 m til overflaten. Alle torsk-egg ble også stadiestemt slik at en kunne fastsette alder i forhold til gytetidspunkt. Totalt ble det påvist 1868 torsk-egg.

For å skille ut eventuelle egg gytt av oppdrettsfisk, ble det gjennomført en genetisk analyse av eggene. Totalt ble 1000 egg screenet for DNA, men det var kun 74 egg en klarte å påvise genotype. Det ble i tillegg gjennomført genetisk analyse av 100 fisk fanget i Storfjorden samt etablert en genetisk basislinje for oppdrettsfisken i det aktuelle anlegget.

Det ble gjennomført strømmålinger og STD-målinger i fjorden i samme periode som eggtrekkene. Videre ble det laget et topografisk bunnkart, samlet inn data til avrenning og etablert en strømmodell med en oppløselighet på 200 m. Drivbanene til et stort ensemble eggpartikler ble simulert ved å "slippe" partikler i strømmodellen på de stasjoner der det ble påvist egg i samme forhold som forholdet mellom antall egg i eggtrekkene.

Resultatene viste en konsentrasjon av egg i de indre områder av fjordsystemet. Gytefelt ble avgrenset som de områdene der en betydelig andel av eggene holdt seg fra gyting til klekking. Det var god overensstemmelse mellom avgrensede gytefelt og de områdene som var påvist gjennom intervju i denne delen av fjorden. Gyteområder basert på intervju i de ytre deler av fjorden, kan bla være områder hvor fisken fortettes på vei til gyteområdet.

Metoden viste seg velegnet til å lokalisere og verdiklassifisere gyteområder. Bruken av genetikk viste at det også var mulig å skille egg fra oppdrettsfisk og egg fra villfisk. Metoden bør imidlertid forbedres ved at små, nygytte egg inkuberes noen dager slik at en øker andelen egg som kan genotypes. Dette er et arbeid som vil bli gjennomført i løpet av vinteren 2009/2010.

Det å kombinere oseanografi og biologi for å lokalisere gyteområder har vist seg meget vellykket og helt nødvendig. Imidlertid må det etableres strømmodeller med 200 m oppløsning for de aktuelle lokalitetene, da en ren, faglig vurdering ikke gir tilstrekkelig informasjon til å gjennomføre de nødvendige avgrensninger. For å gjøre det, er en avhengig av en strømmodell med 800 m oppløsning som dekker hele norskekysten. Å etablere en slik modell er en prioritert oppgave for Havforskningsinstituttet i samarbeid med Meteorologisk Institutt i 2010.

Ved å styrke metoden for kartlegging av gytefelt i fjorder med grunne terskler med kunnskap om genetikk og oseanografi, så fås et metodisk grunnlag for stedfesting, avgrensning og verdisetting av gytefelt for kysttorsk, også i fjorder med dype terskler, åpne havbukter og sund.

Innhold

1	Introduksjon.....	7
2	Materiale og metode.....	9
2.1	Feltundersøkelser	9
2.2	Genetikk	10
2.3	Oseanografi	10
2.3.1	ROMS – hydrodynamisk modell.....	10
2.3.2	LADIM – partikkeldriftmodell.....	13
2.3.3	Hydrografi- og strømmålinger.....	13
3	Resultater	14
3.1	Eggdata.....	14
3.2	Genetikk	16
3.3	Oseanografi	18
4	Diskusjon	26
5	Konklusjon	28
5.1	Avgrensning og verdisetting av gytefelt i Storfjorden	28
5.2	Evaluering av metoder benyttet i kartlegging i Storfjorden.	31
6	Referanser	32
	Appendix I: Partikkeldrift	34
	Appendiks II: ”Best practice” innen modellering	35

1 Introduksjon

I "Nasjonalt program for kartlegging av marine naturtyper" har nøkkelområdet "gytefelt for fisk" vært behandlet som en egen naturtype. Gytefeltene skal skjønsmessig plasseres i en av tre kategorier. Kategori A er nasjonalt viktige og omfatter gytefelt for store bestander av kommersielt viktig fisk, for eksempel Lofoten. Kategori B er regionalt viktige og skal være geografisk mindre, men godt dokumenterte gytefelter. Kategori C er gytefelt av lokal betydning.

Kartlegging av gytefelt for fisk krever ulik innfallsvinkel avhengig av hvilken art og bestand det er snakk om. Så langt har derfor kartlegging vært begrenset til gyteområder for torsk, og da primært bestander av torsk som gyter i fjorder og bassenger. Metodene for kartleggingen har stort sett vært basert på det arbeidet som er gjort på lokale bestander av torsk på Sørlandskysten og deres gytefelt (Danielssen og Gjørseter 1994, Dannevig og Dahl 1906, Espeland et al. 2006, Espeland et al. 2007, Espeland et al. 2008, Jorde et al. 2007, Knutsen et al. 2000, Knutsen et al. 2003, Knutsen et al. 2007, Løversen 1946).

Viktige antagelser for kartlegging av gytefelt har vært;

- Det finnes lokale bestander av kysttorsk (Knutsen et al. 2003). Det bidrar til genetisk variasjon av torsk langs kysten, en variasjon som trolig er viktig for lokal tilpasning og overlevning av lokale kysttorskbestander, og som bidrar til et større genetisk mangfold (Olsen et al. 2004).
- En sannsynlig forutsetning for at de lokale bestandene opprettholder sin genetiske egenart er at de kan gyte på egne områder og at egg ikke spres tilfeldig (Hastings & Botsford 2006).
- De lokale bestandene har derfor lokale gyteplasser.
- På slike lokale gyteplasser holdes egg og larver tilbake og spres ikke ut i kyststrømmen, mens de er i sin planktoniske fase, fritt i vannet, uten betydelig egenbevegelse. Det at de holdes tilbake, retensjonen, skyldes strømforhold. Viktig gyteområder er indre bassenger av terskelfjorder (Knutsen et al. 2007, Cianelli et al. in press).
- Gyteplasser som er viktige for de lokale bestandene i en region skal klassifiseres som kategori B. Gyteplasser som er viktig bare for bestanden i et lite område får kategori C. Skillet mellom B og C- kategori er ikke lett og krever erfaring og ekspertvurderinger.

Disse antagelsene har ført til at kunnskapsgrunnlaget som er lagt til grunn for lokalisering og verdisetting av gytefelter i det nasjonale kartleggingsprogrammet, så langt har vært: Eggtettheter målt ved bruk av håvtrekk fra 0-50 m med en standardisert håv (500 μ m, diameter 56 cm), topografisk utforming av området, intervjuer med lokale kjentfolk og, der det er tilgjengelig, kunnskap fra andre kilder (prøvefiske etter gytefisk, etc.). Intervjuer med lokale kjentfolk er viktig informasjon, men informasjonen kan variere i utforming og kvalitet og må dermed vurderes i forhold til biologiske data. Resultater fra intervju representerer trolig i gytefeltsammenheng primært informasjon om atferd og bevegelse hos gytemoden fisk. Siden torsken er en porsjonsgyter, kan perioden fisken er rennende strekke seg over lengre tid enn gyteperioden (perioden da mesteparten av eggene slippes). Feltobservasjoner av egg i en fjord kan si noe om hvor mye egg som produseres, hvor i fjorden de produseres (der en finner

nygytte egg) og innenfor hvilke områder egg og larver driver før de bunnslår seg. Bassenger og terskler er blitt tatt som en indikasjon på strømforhold i antagelsen om at egg holdes tilbake av retensjon i bassenger. Disse strukturene avtegner dermed leveområdet for eggene og larvene i deres pelagiske periode. Et område registrert som gytefelt vil med andre ord omfatte både lekplass for gytende fisk, og de områder hvor egg og larver holder seg frem til de ikke lenger er planktoniske. Det er pekt på at gyteplasser med nær tilknytning til gode oppvekstområder er særlig viktige.

En viktig forutsetning for at lokale bestander opprettholdes er trolig at deres gyteområder bevares og at egg og larver ikke spres tilfeldig. Til nå har fokuset vært på retensjon av egg og larver i terskelfjorder.

Retensjon av egg kan også opptre andre steder enn i terskelfjorder (Lough et al. 2006). Høye eggtettheter kan opptre i områder som ikke er "typiske" gytebassenger og terskelfjorder. Ifølge Knutsen et al. (2007) opptrer egg i økende konsentrasjoner også innover i fjorder som ikke er terskelfjorder eller har en dyp terskel.

Dagens metode for kartlegging av gytefelt er primært utviklet for terskelfjorder med retensjonsbasseng. Langs det meste av Troms og Finnmark, i store deler av Nordland samt langs deler av Vestlandet forekommer imidlertid fjorder med dype terskler, åpne havbukter og sund uten terskler, som kan være gyteområder i større eller mindre grad. For å kunne gjennomføre en feltverifisering av slike som gyteområder, på en måte som gir en tilstrekkelig høy grad av sikkerhet for resultatet, har det vært nødvendig å modifisere dagens lokaliseringmetode i betydelig grad. Blant annet har man byttet ut forutsetningen om retensjon i bassenger med en mer differensiert oppfatning og dokumentasjon av strømmønster.

Videre ser vi en mulig problemkilde i fjorder der det finnes oppdrettsanlegg for torsk, ved at torsk som er stor nok kan gyte i merdene og på den måten påvirke hvor vi finner høye tettheter av egg.

For å kunne lokalisere og verdisette gytefelt i åpne områder har vi derfor testet verifiseringen av gytefelt ved utvide feltarbeidet til tre arbeidsområder, i tillegg til kvalitativ intervjuinformasjon:

Kartlegging av eggproduksjon: Dette er hovedbestanddelen av metoden som brukes i dag. Vi vil også stadiebestemme eggene for å se om det kan brukes i forhold til å studere drift og retensjon. Vi vil ta vertikaldelte trekk for å se på fordeling av egg i vannsøylen.

Oseanografi: Siden vi ikke kan gjøre noen antagelser om retensjon, vil det være nødvendig å lage en detaljert strømmmodell for området. Denne modellen vil brukes til å vurdere hvor langt bort fra produksjonsområdet gyte egg vil drive før de klekker. Siden det er vanskelig å si nøyaktig når en larve får nok egenbevegelse til å kunne svømme mot strømmer, fokuserer vi her på egg.

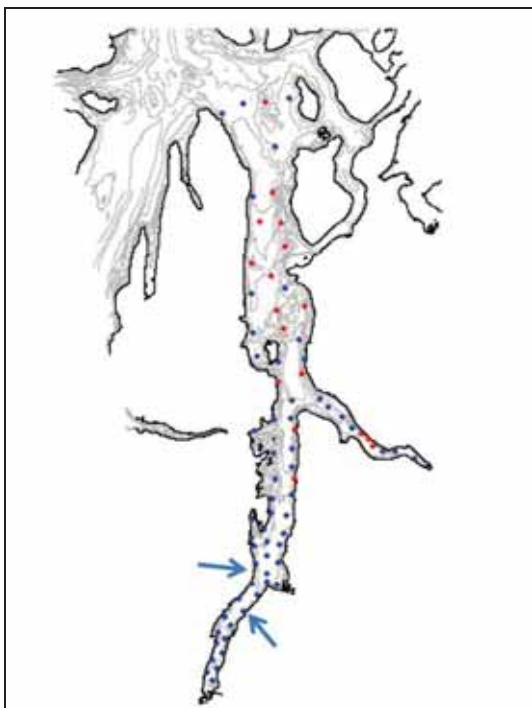
Genetik: Vi vil teste eggene vi finner genetisk for å avgjøre om det er torskeegg eller fra lignende arter. Vi vil også undersøke om noen av eggene vil ligne egg fra oppdrettsfisk for å se om det er et stort innslag av egg gytt av fisk i merd.

Metodene vil vurderes opp i mot om de må inngå i sin helhet i det videre kartleggingsarbeidet.

2 Materiale og metode

2.1 Feltundersøkelser

I en periode på fire dager i gytetiden i april ble det gjort feltundersøkelser av eggtettheter i Storfjorden – Lyngenfjorden. Det ble gjennomført vertikale håvtrekk med en standard WP2 håv (diameter 56 cm, maskevidde 500 μ) i vannsøylen på faste stasjoner. Stasjonene var plassert i et rutenett med kortere avstand mellom stasjonene innerst i fjorden enn ytterst (Figur 1). På hver stasjon ble det gjort to trekk. Ett fra 50 til 20 meters dyp, og ett fra 20 meters dyp til overflaten. Dersom bunndypet var mindre enn 50 m ble det dypeste trekket gjort fra rett over bunn til 20m. Ingen stasjoner var grunnere enn 20m. Det ble tatt totalt 149 trekk fra 75 stasjoner. Håven ble trukket med en fast hastighet på rundt 0,5 m/s (Barnes 1949).



Figur 1. Stasjoner som ble undersøkt med vertikale håvtrekk i Storfjorden - Lyngenfjorden. Blå punkter er stasjoner det ble funnet egg, røde er stasjoner hvor det ikke var egg. Pilene angir posisjonene til to oppdrettsanlegg.

Alle prøvene ble overført til glass med saltvann og sortert innen 24 timer etter prøvetaking. Torskeegg ble identifisert med bakgrunn i størrelse og stadiestemt til en 5-trinns skala (stadie I til V). Fra stadie IV er det mulig å skille torsk fra andre torskefisk på en sikker måte. Det ble satt en nedre grense på 1.2 mm på hva som ble definert som torskeegg. Egg som var mindre enn dette, men var tydelig torskefisk ble notert som "torskefisk" uten å bli tatt med i

videre analyse. Alle egg som ble sortert som torskeegg, ble lagt på sprit, de øvrige ble lagt på formalin.

Underveis i feltundersøkelsene ble det gjort forsøk på å fiske gytemoden fisk fra båten der det ble observert mye fisk på ekkoloddet. Dette gav dårlige fangster, så det ble redusert til at mengden fisk registrert på ekkoloddet ble notert på en grov skala (lite, middels, mye).

2.2 Genetikk

Det ble tatt prøver av 100 fisk hengt til tørking som var fanget i Storfjorden i perioden mars-april 2009 ("Vill"). Denne fisken var stort sett over 4 kg og var fanget med garn i området mellom de to innerste oppdrettsmerdene med torsk (Figur 1). I tillegg ble det tatt prøver av 100 oppdrettsfisk fra forskjellige merder fra det aktuelle oppdrettsanlegget. Havforskningsinstituttet mottok 50 prøver fra Fiskeridirektoratet i februar 2009 i forbindelse med et pilotprosjekt for sporing av rømt oppdrettstorsk (Oppdrett-1), mens det ble tatt 50 tilleggsprøver i juni fra samme anlegg (Oppdrett-2). De siste ble tatt under slakting av fisk som kunne ha gytt i 2009. All disse prøvene ble benyttet som "basis linje prøver" for å kunne vurdere eventuell forekomst av egg fra oppdrettsfisk utenfor merdene.

DNA ble isolert fra til sammen ca 1000 tilfeldige valgte egg ved hjelp av Chelex-prosedyre, mens prøvene fra den tørkede fisken og prøvene fra anlegget ble isolert ved hjelp av en "Hot Shot"-metode (NaOH-basert). Alle prøvene ble genotypet med 10 mikrosatellitter (Gmo2, Gmo3, Gmo8, Gmo19, Gmo34, Gmo35, Gmo37, Gmo132, Tch11 og Tch13), og allelene ble separert ved kjøring på en ABI3730 sekvenseringsmaskin og identifisert ved bruk av programmet GenMapper.

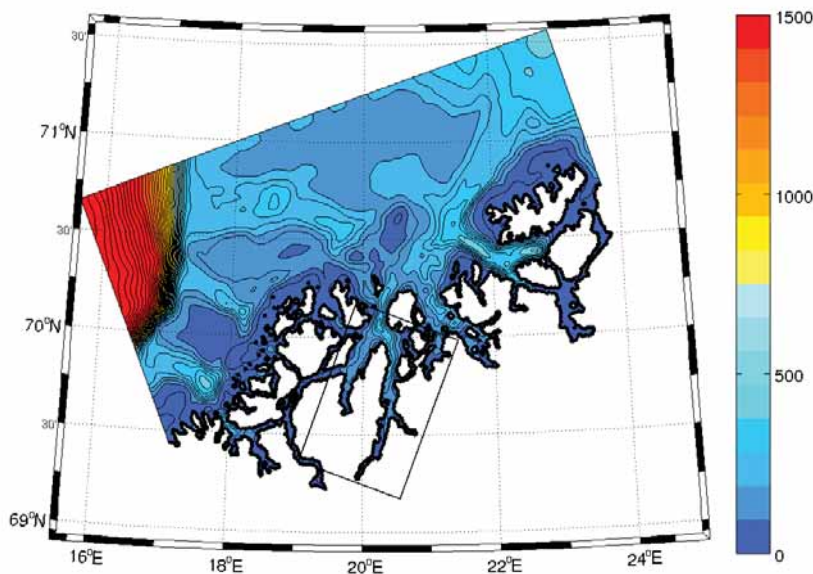
Chelex-prosedyren har i mange tilsvarende analyser gitt mer enn 90% suksess i isolasjon av DNA fra egg og larver. Da resultatene av de første genotypingene var meget dårlige, ble det gjort flere forsøk på å finne mulige løsninger på dette problemet. Det ble forsøkt både ny Chelex-løsning og ulike fortyninger uten at dette endret resultatet. For å estimere antall mulige grupper av fisk i prøvetakingsområdet, ble det statistisk programmet STRUCTURE 2.2 benyttet på de 200 fiskene som utgjør "basis-linjen". I tillegg ble programmet GeneClass2 benyttet, både for å undersøke om hvert enkelt individ fra de tre prøvene i basislinjen ble bestemt til den prøven de tilhørte ("self-assignment") og for å bestemme fra hvilken av de tre gruppene hvert enkelt egg kom fra, dersom dette var mulig.

2.3 Oseanografi

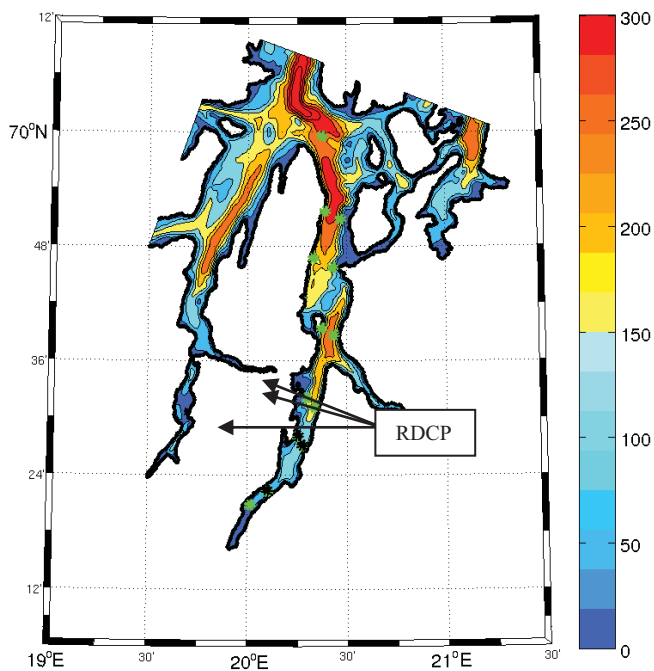
2.3.1 ROMS – hydrodynamisk modell

Den numeriske havmodellen ROMS (Regional Ocean Modeling System, se f.eks. Shchepetkin & McWilliams 2005 for detaljer) er brukt til å simulere strøm og hydrografi. ROMS har vist seg i mange sammenhenger å gi gode resultater mot observert strøm og hydrografi, men de publiserte eksperimentene har til nå for det meste vært gjeldende på det

åpne havet med horisontal oppløsning ned mot kilometerskala (LaCasce et al. 2007). ROMS har et aktivt, internasjonalt brukermiljø for både globale og regionale områder, og versjonen av koden oppdateres ofte (<http://myroms.org>). En av de siste versjonene er brukt i denne realiseringen, og versjonen er allerede testet ut for andre norske fjorder i lignende øvelser med realistisk oppsett (pågående prosjekter i Hardangerfjorden og Porsangerfjorden i regi av Havforskningsinstituttet). Med utgangspunkt i Storfjordens varierende bredde på under 10 km, er to modellområder definerte med henholdsvis 800 og 200 m horisontal oppløsning (Figur 2 og 3).



Figur 2. Utstrekning for den grove 800m-modellen samt angivelse av området for 200m-modellen (liten firkant) som er benyttet med havmodellen ROMS. Farger og konturer angir bathymetrien i området (ekvidistanse for konturene er 50m).



Figur 3. Bathymetri for 200m-modellområdet slik som den er brukt i ROMS (ekvidistanse for konturene er 50m). Grønne stjerner angir posisjoner for STD-målinger som ble tatt 23.4. og 14.5. 2009, mens de tre svarte stjernene (se pilene) angir posisjoner for strømmålerne (også posisjoner for CTD-taking).

Utgangspunktet for definisjonen av modellområdene var tilgang på tidsvariant, ”griddet” informasjon om strøm og hydrografi fra Norskehavet fra en havmodell med 4 km horisontal

oppløsning. Et 800 m område måtte da inkludere hele hovedgrenen av kyststrømmen. Oppløsning på 800 m blir for grovt for den innerste delen av Storfjorden, og derfor ble det også definert et finere gitter som dekker hele Storfjorden/ Lyngenfjorden samt Ullsfjorden og områdene sør for Skjervøy.

Bathymetriske data (Marine primærdata) er lest inn fra Statens kartverk, Sjøkartverket, og behandlet i ArcGIS og lagt på et grid med celle-størrelse på 200x200 m. Siden dataene til Sjøkartverket ikke dekker hele 800 m-området, ble bathymetri fra Etopo1 (fra National Geophysical Data Center, med ett minutt oppløsning) interpolert til modellgitteret der hvor høyoppløselig data mangler (langs nordlige rand). Den endelige bathymetrien som ble benyttet i ROMS er glattet av hensyn til den numeriske stabiliteten.

Ferskvannsavrenning fra de største elvene er en viktig komponent for bestemmelse av saltholdighetsnivå og blant annet tykkelsen på blandingslaget. Optimalt sett burde aktuelle vannføringsverdier fra alle relevante målestasjoner som NVE drifter vært benyttet i tillegg til bidrag fra alle mindre vassdragsområder med avrenning fra land til sjø. Data fra NVE var ikke tilgjengelig i prosjektperioden, og for Storfjorden var kun historiske tidsserier (siste tre tiår) fra NVE tilgjengelig fra Svartfossberget (Reisaelva) og Skibotn med døgnoppløsning. En døgnklimatologi ble derfor generert for de to elvene. Ferskvannsavrenning innerst i Storfjorden er tilnærmet med samme verdier som ved Skibotn. Alle andre mindre avrenningspunkter langs Ullsfjorden, Storfjorden og Lyngenfjorden, i henhold til NVEs vassdragskart, er tilnærmet med en andel av volumfluksen ved Skibotn.

Initialisering og data langs de åpne rendene til 800m-modellen er hentet fra Meteorologisk institutt (met.no) sin operasjonelle havmodell. Havforskningsinstituttet mottar døgnmidle felter av strøm og hydrografi med 4 km horisontal oppløsning, og denne informasjonen er ekstrapolert innover i fjordsystemet. For at havmodeller på ulik skala skal få opparbeide seg sin egen likevektstilstand fra en grovere skala initialtilstand, er det viktig å la dem ha en oppspinningsperiode før resultatene brukes. 800 m-modellen ble derfor startet 1.1.2009, mens 200 m-modellen ble initialisert fra 800 m-modellresultatene den 1.3.2009. Randbetingelsene ble da tilrettelagt fra met.no sin modell for 800m-modellen, mens denne ga randbetingelsene til 200 m-modellen.

Modellresultatene som ble brukt langs de åpne rendene til 800 m-modellen, er 24-timers midler, med andre ord vil de ikke inneholde noe tidevannssignal. Tidevannsbidraget fra vannstand og strøm er lagt til som ekstra informasjon langs de åpne rendene. Denne informasjonen baserer seg på data fra en global tidevannsmoell (TPXO) der de åtte mest dominerende komponentene er inkludert (4 halv- og 4 hel-daglige). Randbetingelsene for 200 m-modellen er gitt av timesoppløste modellresultater fra 800m-modellen og vil inneholde gode tidevannssignaler.

Storfjorden/ Lyngenfjorden er kjennetegnet med omkringliggende høye og bratte fjell. Det er derfor behov for finoppløselig informasjon av de atmosfæriske forholdene som virker på fjordsirkulasjonen. Globale atmosfæredata med oppløsning på rundt 20 km er tilgjengelig fra

ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), men det ble valgt å nedskalere disse dynamisk ved hjelp av den numeriske atmosfæremodellen WRF (non-hydrostatic Advanced Weather Research and Forecasting Model AR-WRF version 3.0.1). WRF er satt opp med 3 km horisontal oppløsning for et område som dekker noe mer enn 800 m-området, og det er benyttet standard modellinnstillinger. De atmosfæriske drivkreftene som er benyttet i ROMS er vind, lufttrykk, temperatur, fuktighet og kort- og langbølget stråling ved overflaten samt nedbør.

2.3.2 LADIM – partikkeldriftmodell

Simuleringene av drift av eggpartikler er basert på strøminformasjon fra ROMS og benytter en standard semi-lagrangsk trajektorie-modell med en random-walk diffusjon (Ådlandsvik og Sundby 1994). Timesfelter av strøm blir gitt som input til partikkeldriftmodellen, og partiklene gis kun en forflytning horisontalt. For å simulere naturlig variasjon i strømmen som ikke er løst opp av det modellerte strømfeltet fra fjordmodellen, gis hastighetsvektoren et tilfeldig tillegg beregnet fra en akse-symmetrisk Gaussisk fordeling med amplitude bestemt fra en diffusjonskoeffisient. Partikkelspredningen er ikke veldig sensitiv for denne verdien, men den bør settes ut fra strømnivået i det aktuelle modelleringsområdet. For Storfjorden har vi benyttet en verdi på $1 \text{ m}^2/\text{s}$ (tilsvarende et normalfordelt tillegg i strømkomponentene mellom -2 og +2 cm/s). Partiklenes plassering er initiert ut fra modell-predikerte egg (se resultatkapittel), og antallet er skalert opp med en faktor 20 i driftmodellen. Totalt antall eggpartikler som er sluppet ut spredt i Storfjorden i hver realisering er 17792. Eggene som ble predikert mellom 0 og 20m (ca. 62 %), er gitt et fast nivå for drift på 15m, mens tilsvarende dyp for eggene som ble funnet mellom 20 og 50 m (ca. 38 %), er 30 m (se Appendix 1 for kommentarer om oppsettet av Ladim).

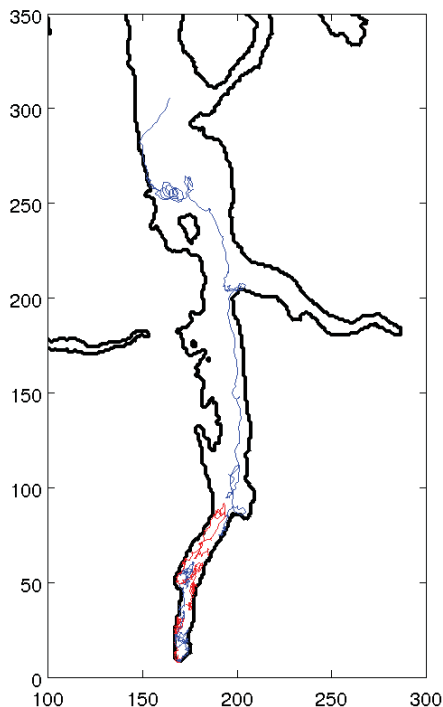
Siden eggprøvetakingen ble utført over en tidsperiode på fem dager (16.4.-20.4.), ble tre identiske partikkeldriftssimuleringer utført hvor kun starttidspunktet ble endret med to dagers mellomrom, dvs. simuleringer med start 16., 18., og 20. april 2009. Siden tiden fra gyting til larvestadium er avhengig av temperaturen i fjorden, er partiklene fulgt og talt opp etter både 20 og 30 dagers drift. Vi har antatt at ingen torskeegg kan strande eller sette seg fast på bunnen, men derimot at de holdes i ro nær kysten hvis de har retning på land. De partiklene som forlater yttergrensen av modellområdet er utelatt av opptellingen. Eksempel på drivbanen til fem tilfeldige partikler i løpet av 20 dager (fra 16. april) utifra modellert strøm er vist i Figur 4.

2.3.3 Hydrografi- og strømmålinger

Observasjoner av hydrografi, dvs. saltholdighet og temperatur, ble utført for et fastsatt stasjonsnett to ganger: 23. april og 14. mai 2009 (se lokalisering i Figur 3). Til sammen 13 stasjoner med profiler fra overflaten til ca. 100 m dyp ble tatt. Målingene er gjort med en STD-sonde Saiv SD204 (<http://www.saiivas.no>). Sonden måler verdier en gang i sekundet, og er senket nedover med en hastighet på ca. 0,5 m/s (saktere i de øvre meterne).

Observasjoner av strøm er gjort i tre posisjoner mellom 15. april og 14. mai 2009 (se lokalisering i Figur 3). Målingene er utført med en AADI (Aanderaa instruments) Recording Doppler Current Profiler RDCP 600 (www.aadi.no). Dette er en såkalt profilerende strømmåler, dvs. et instrument som ved hjelp av lyd og dopplerskift beregner strøm i et profil fra instrumentet og i en rekkevidde på ca. 100 m. I dette tilfellet er instrumentene plassert på ca. 50 m dyp med målinger oppover mot overflaten. Observasjonene gir gjennomsnittlig strøm i tre dimensjoner for 2-meters celler i vertikalen for hvert 10. minutt. Målingene fra de øvre ca. 5 m i overflatelaget inneholder, av måletekniske grunner, for mye støy til å kunne brukes. Ved instrumentdypet er det dessuten målt trykk (vannstand), temperatur, saltholdighet og turbiditet.

Målinger av hydrografi og strøm er kun benyttet i valideringen av havmodellen, men de er svært viktige faktorer i kvalitetssjekk av modellresultatene.



Figur 4. Eksempel på simulering av drift av fem eggpartikler fra innerste delen av Storfjorden fra 16. april og 20 dager frem. Blå farge angir at partiklene befinner seg i 15 m dyp, mens partikler på 30m dyp er gitt rød farge.

3 Resultater

3.1 Eggdata

Totalt ble det samlet inn 1868 egg definert som torskeegg fra 149 prøver. I alt 58 prøver inneholdt ingen egg, 85 prøver inneholdt mellom 0 og 50 egg og to prøver inneholdt over 100 egg (maks 733). Det ble funnet 72 egg som ble definert som torskefisk, men ikke torsk. Disse fordelte seg på 27 prøver (1-8 egg per prøve) av de 149 som ble tatt. Øvrige arter (antall egg i parentes) som ble funnet var Sandflyndre (123), Gapeflyndre (77) Rødspette (44), Skrubbe (20), Brosme (2) og Lange (1). Det ble ikke funnet egg som definitivt kunne bestemmes som hyse (stadie IV og V).

På tidspunktet da feltaktiviteten ble gjennomført var det to oppdrettsanlegg i drift i nær tilknytning til området (se Figur 1). Det nordligste innholdt, etter informasjon fra Steinar Eriksen (Storfjorden kommune), ~1 million torsk med individvekt på rundt 2 kg, mens det sørligste hadde 320 000 torsk på rundt 250 g hver.

For å luke ut støy fra observasjonene av egg og beskrive signalet i den romlige fordelingen i fjorden ble det brukt en generell, additiv modell (Hastie & Tibshirani 1990). For å stabilisere variansen ble den naturlige logaritmen til antall egg per prøve brukt som respons. Det ble laget en full modell med geografisk plassering og bunndyp som prediktorer. Trekkdypet (0-20/ 20-50 m) og mengden fisk registrert på ekkoloddet (lite, middels eller mye) ble satt som faktorvariabel. Den geografiske plasseringen ble modellert som en interaksjon mellom lengdegrader og breddegrader (WGS84). Ikke-signifikante prediktorer ble fjernet, og den endelige modellen ble valgt med bakgrunn i å minimere ”generalized cross validation” (GCV: Wood 2000). Den endelige modellen predikerer fordeling av egg i fjorden gitt lengdegrad, breddegrad og trekkdyp:

$$\log(D_{ij}) = \beta_0 + s_1(N_i, E_i) + \beta_{1j} + \varepsilon_{ij}$$

der D_{ij} er antall torskeegg på stasjon i dybdestrata j og N_i og E_i er henholdsvis breddegrad (UTM33 Northing) og lengdegrad (UTM33 Easting). β_0 og β_1 er regresjonskoeffisienter som angir et krysningspunkt og en effekt av de to ulike trekkdypene. s_1 er en tredimensjonal polynomialfunksjon som angir effekten av geografisk plassering i fjorden på logaritmen av antall egg. ε_{ij} er feilkilden for hver observasjon.

Modellen beskriver 81,5 % av variasjonen i datasettet. Alle effekter er svært signifikante ($p < 0.0001$). Effekten av dyp var negativ fra de grunneste trekkene (4,18 egg pr. stasjon) til de dypeste trekkene (2,54 egg pr. stasjon).

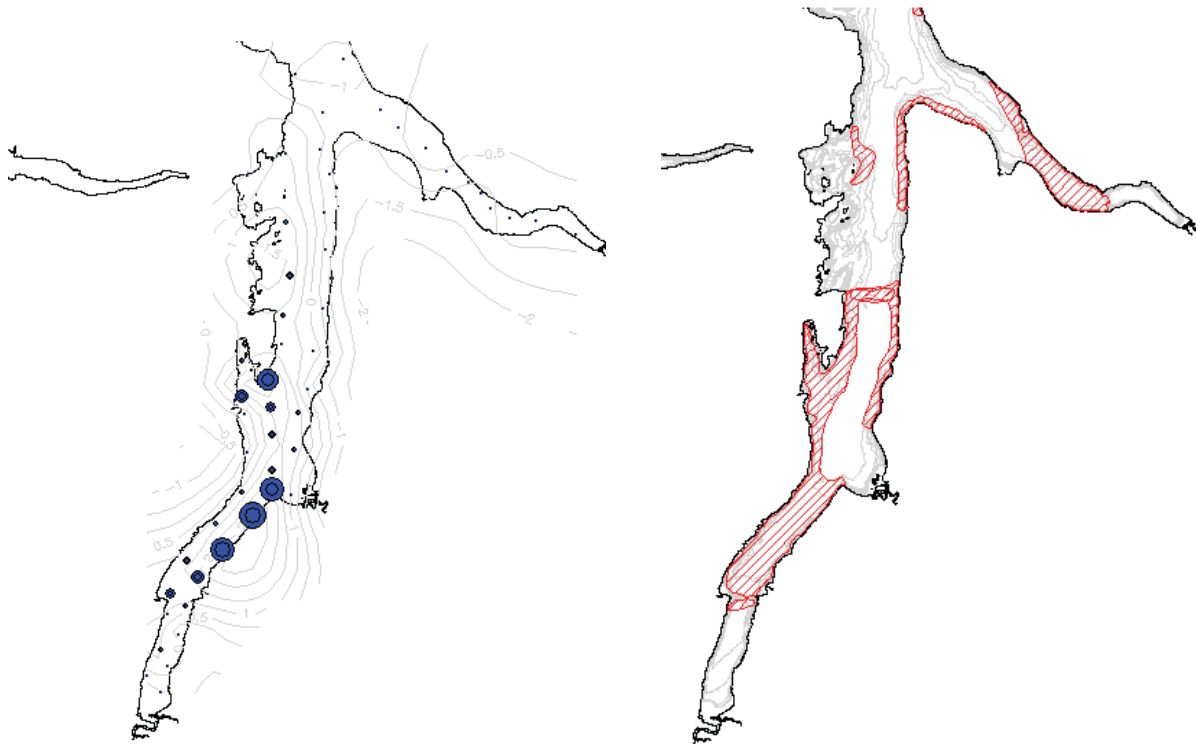
Det var ingen effekt av bunndypet på antallet egg på stasjonen ($p=0,22$).

Mengden egg på en stasjon var i svært høy grad bestemt av hvor i fjorden stasjonen lå. Det var tydelig mønster av mer egg i indre deler av systemet (Storfjorden), og avtagende egg tettheter når en beveger seg utover fjorden.

Eggene ble bestemt til fem stadier. I tillegg ble stadie I (nygytte egg) delt i to grupper I.4 der det var mulig å se fire celler (svært tidlig i utviklingen) og I.9 der det var flere enn 8 celler. Fordelingen av egg fra de ulike stadiene var:

Stadie I.4	Stadie I.9	Stadie II	Stadie III	Stadie IV	Stadie V
4	1705	42	103	5	9

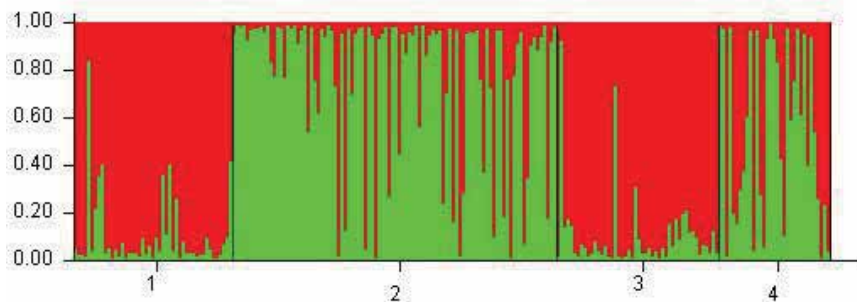
De fleste nygytte eggene (stadie I) befant seg langt inne i fjorden. Det var en svak tendens til at eldre egg befant seg lenger utover i fjorden. Men siden over 90 % av eggene var stadie I, kan det ikke nødvendigvis brukes til å si om det var økning i alder utover i fjorden.



Figur 5. Indre deler av Storfjorden. Predikerte eggtettheter fra en GAM-modell til venstre. Gytefeltet som kartlagt av Fiskeridirektoratet, til høyre. Det ble funnet kun små mengder egg utenfor kartutsnittet.

3.2 Genetikk

Alle individ i de tre settene av prøver (Vill, Oppdrett-1 og -2) lot seg genotype med 9 av 10 markører. Gmo37 virket noe ustabil og ble tatt ut av analysene. Av i alt ca. 1000 egg var det bare 74 som var mulig å genotype. Dette kan skyldes flere forhold (se under). Som forventet var det ikke mulig å skille mellom de to gruppene som var samlet inn fra oppdrettsanlegget, mens alle prøvene av vill fisk kunne føres tilbake til villfisk gruppen (se resultatet av STRUCTURE analysen, Figur 6).



Figur 6. STRUCTURE analyse ($k=2$) av de tre gruppene (1: prøver fra oppdrettstorsk i februar 2009, 2: prøver av vill fisk fanget i Storfjorden mars april 2009, 3: prøver fra oppdrettstorsk i juni 2009, 4: 74 egg samlet inn i Storfjorden).

Av de 74 eggene var det 6 egg hvor det vurderes som umulig å skille opphav som enten fra vill fisk eller oppdrett, merket med gult i Tabell 1. Av de eggene som vi kunne bestemme opphavet av, var 32 fra villfisk og 36 fra oppdrettsanlegget. Det var som ventet ikke mulig å skille mellom egg fra de to ”gruppene” Oppdrett-1 og 2. Ut fra de få dataene som er tilgjengelig når det gjelder egg-genotypen, er det vanskelig å gi noen generelle betraktninger når det gjelder fordeling.

Tabell 1. Hvert av de 74 eggene som kunne genotypes, ble bestemt til en av de tre gruppene i ”basislinjen”. Egg merket med gult var det ikke mulig å bestemme til vill eller oppdrett

Assigned sample	Rank 1	Score %	Rank 2	Score %
L1-0-20-01	Vill	86,157	Oppdrett-1	10,010
L3-20-30-05	Vill	99,724	Oppdrett-1	0,220
L7-0-20-08	Oppdrett-2	67,199	Oppdrett-1	31,511
L8-0-20-05	Oppdrett-1	96,89	Vill	1,691
L8-0-20-13	Vill	99,994	Oppdrett-1	0,006
L9-0-20-02	Vill	96,865	Oppdrett-1	2,987
L9-0-20-07	Vill	95,814	Oppdrett-1	4,18
L9-0-20-09	Vill	89,66	Oppdrett-2	9,618
L9-20-50-02	Vill	48,97	Oppdrett-2	37,188
L9-20-50-26	Vill	99,947	Oppdrett-1	0,048
L9-20-50-32	Oppdrett-1	90,554	Vill	9,203
L9-20-50-39	Oppdrett-1	84,296	Oppdrett-2	13,252
L9-20-50-41	Oppdrett-2	84,795	Oppdrett-1	15,015
L10-0-20-01	Vill	88,841	Oppdrett-1	8,216
L10-0-20-04	Vill	49,651	Oppdrett-2	48,38
L10-0-20-05	Vill	66,269	Oppdrett-2	26,027
L10-0-20-06	Vill	84,762	Oppdrett-1	14,679
L10-20-50-06	Oppdrett-2	63,979	Oppdrett-1	24,609
L11-0-20-11	Vill	100	Oppdrett-1	0
L11-0-20-12	Vill	99,664	Oppdrett-1	0,2
L11-0-20-15	Oppdrett-2	81,42	Oppdrett-1	18,573
L11-0-20-16	Vill	99,917	Oppdrett-1	0,06
L11-0-20-17	Oppdrett-1	61,893	Oppdrett-2	37,816
L11-0-20-21	Oppdrett-2	63,376	Oppdrett-1	32,932
L11-0-20-24	Oppdrett-2	85,36	Oppdrett-1	14,036
L11-0-20-25	Oppdrett-2	80,764	Oppdrett-1	17,91
L11-0-20-26	Oppdrett-2	58,878	Oppdrett-1	39,31
L11-0-20-31	Vill	99,002	Oppdrett-2	0,867
L11-0-20-33	Oppdrett-1	63,084	Oppdrett-2	36,858
L11-0-20-35	Vill	99,933	Oppdrett-2	0,039
L11-0-20-38	Oppdrett-1	49,206	Oppdrett-2	47,542
L11-0-20-39	Oppdrett-2	66,342	Oppdrett-1	33,626
L11-0-20-42	Vill	77,767	Oppdrett-1	19,773
L11-0-20-43	Vill	99,946	Oppdrett-1	0,034
L11-0-20-45	Vill	93,431	Oppdrett-1	5,608
L11-0-20-48	Vill	46,695	Oppdrett-2	38,458
L11-0-20-49	Oppdrett-2	98,752	Vill	0,788
L11-0-20-51	Oppdrett-2	92,532	Oppdrett-1	5,524
L11-0-20-52	Vill	99,379	Oppdrett-2	0,615
L11-0-20-53	Oppdrett-2	87,499	Vill	9,363
L11-0-20-54	Vill	81,223	Oppdrett-1	15,841
L11-0-20-55	Vill	100	Oppdrett-2	0
L11-0-20-58	Vill	84,162	Oppdrett-1	10,896
L11-0-20-60	Vill	99,051	Oppdrett-2	0,652
L11-0-20-62	Oppdrett-2	75,689	Oppdrett-1	17,241
L11-0-20-64	Vill	97,213	Oppdrett-2	2,614
L11-0-20-66	Oppdrett-1	65,049	Oppdrett-2	33,439

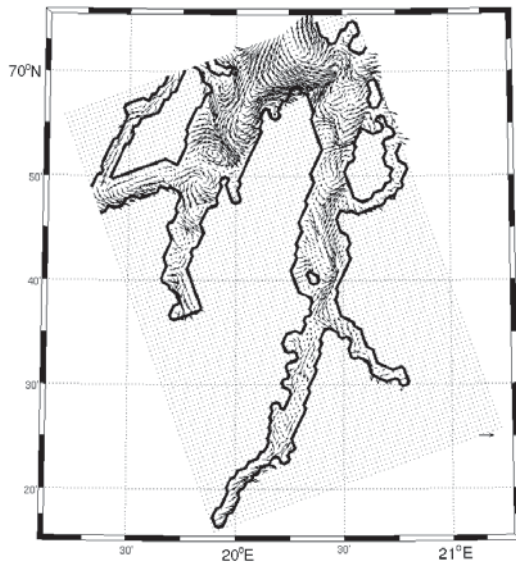
Tabell 1. Forts.				
Assigned sample	Rank 1	Score %	Rank 2	Score %
L11-0-20-76	Oppdrett-1	38,328	Vill	33,432
L11-0-20-80	Oppdrett-2	62,862	Oppdrett-1	37,135
L11-0-20-85	Oppdrett-2	43,028	Oppdrett-1	36,865
L11-0-20-86	Oppdrett-1	77,278	Oppdrett-2	22,713
L13-0-20-03	Oppdrett-2	98,666	Oppdrett-1	0,953
L13-0-20-04	Vill	96,166	Oppdrett-1	3,833
L13-20-50-04	Oppdrett-1	56,399	Oppdrett-2	40,033
L13-20-50-10	Vill	95,773	Oppdrett-1	3,839
L13-20-50-18	Oppdrett-2	54,804	Oppdrett-1	37,176
L13-20-50-27	Oppdrett-1	56,861	Vill	38,091
L13-20-50-28	Vill	93,377	Oppdrett-1	5,374
L13-20-50-33	Vill	66,208	Oppdrett-1	31,824
L15-0-20-19	Oppdrett-1	72,141	Oppdrett-2	27,502
L15-0-20-23	Oppdrett-2	56,715	Oppdrett-1	41,844
L15-0-20-28	Oppdrett-2	83,287	Oppdrett-1	16,374
L15-0-20-35	Oppdrett-1	67,45	Oppdrett-2	31,212
L15-20-50-04	Vill	99,992	Oppdrett-2	0,007
L15-20-50-05	Vill	94,909	Oppdrett-1	4,391
L16-0-20-02	Oppdrett-2	99,346	Oppdrett-1	0,639
L16-0-20-05	Oppdrett-2	94,418	Oppdrett-1	5,329
L16-0-20-06	Vill	59,467	Oppdrett-1	40,517
L16-0-20-08	Oppdrett-1	49,663	Oppdrett-2	47,047
L17-0-20-08	Vill	99,727	Oppdrett-2	0,2
L19-0-20-02	Vill	74,933	Oppdrett-2	23,744
L20-0-20-08	Oppdrett-2	67,105	Oppdrett-1	32,839
L20-20-50-03	Oppdrett-2	57,335	Oppdrett-1	42,654
L20-20-50-18	Oppdrett-1	62,128	Vill	22,29

3.3 Oseanografi

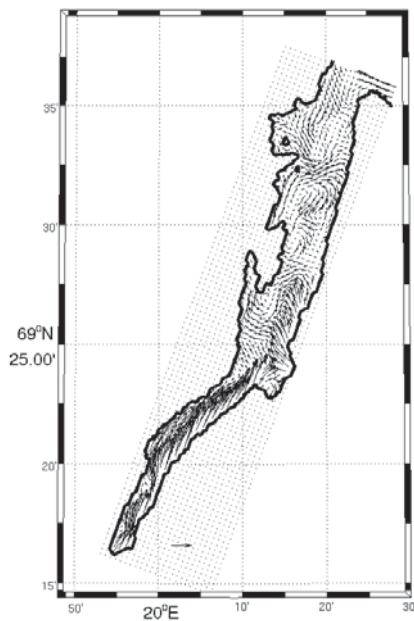
For å gi et inntrykk av de modellerte strømforholdene i Storfjorden/Lyngenfjorden, viser Figur 7 døgnmidlet overflatestrøm gyldig 15. april 2009. I all hovedsak ser man typisk innkommende strøm vest for Skjervøy med et skille mot mindre hastigheter øst for Lyngsalpene. Vi ser en del småskala bevegelser innover det meste av fjordarmen med buktende strømstrukturer.

Ser man på overflatestrøm fra 200 m-modellen fra samme dag (Figur 8 der kun hver 4. pil er vist), så er mye av den småskala bevegelsen tilstede som hele virvler. Ved å tillate nok gitterpunkter på tvers av fjorden genererer altså modellen sykloniske («mot-klokke») og anti-sykloniske fenomener, og disse vil ha stor innvirkning på driftsmønsteret til eggpartiklene. Disse eksempelkartene viser også viktigheten av å ha tilstrekkelig oppløsning som basis i en partikkeldriftssimulering.

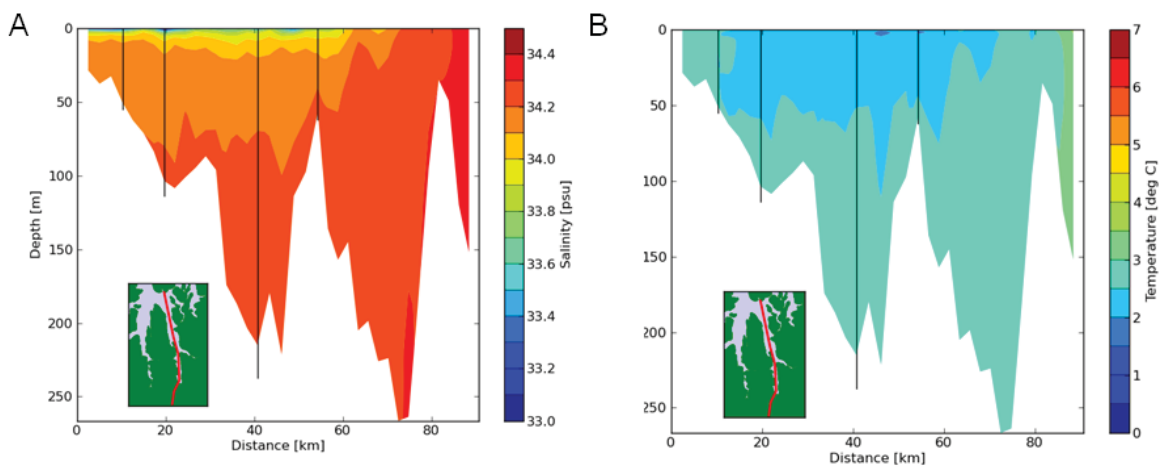
Som eksempel på 200 m-modellens vertikale strukturer i hydrografi på langs av Storfjorden/Lyngenfjorden, viser Figur 9a og 9b henholdsvis saltholdighet og temperatur fra døgnmidlete verdier gyldig 30. april 2009.



Figur 7. Eksempel på strømforholdene i Storfjorden/Lyngenfjorden ut fra døgnmidlete overflateverdier fra ROMS sin 800m-modell den 15. april 2009. Referanse-pilen nederst til høyre indikerer strømstyrke på 0.15m/s.



Figur 8. Eksempel på strømforholdene i Storfjorden ut fra døgnmidlete overflateverdier fra ROMS sin 200m-modell den 15. april 2009. Referanse-pilen nederst til høyre indikerer strømstyrke på 0.15m/s, og kun hvert andre gitterpunkt er vist (400m mellom hver strømpil).



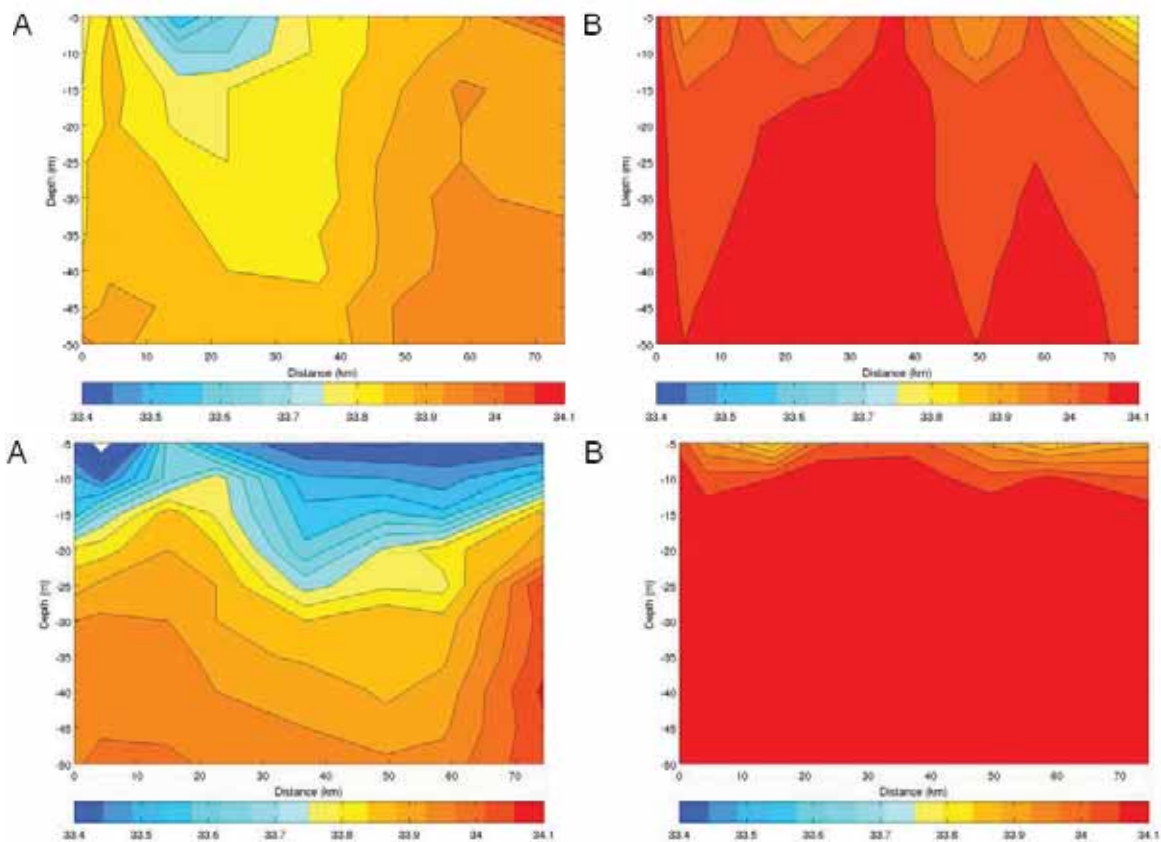
Figur 9 a og b. Eksempel på vertikalstruktur i saltholdighet (venstre) og temperatur (høyre) på langs av Storfjorden/Lyngenfjorden fra døgnmidlete felter fra 200m-modellen den 30. april 2009. Dybde (i m) vises langs vertikalaksen, og avstand fra innerste punkt av Storfjorden er angitt langs horisontalaksen (i km). Ekvidistanse er henholdsvis 0.1 psu og 0.5 °C. De vertikale svarte strekene angir de horisontale knekkpunktene i snittet (se kart som innfelt).

På dette tidspunktet er der et tydelig blandingslag over pyknoklinen (vertikalgradient i saltholdighet) som ligger på rundt 10m. Blandingslaget er mindre tydelig i temperaturfeltet på dette tidspunktet. En horisontalgradient i både saltholdighet og temperatur er synlig mot den åpne delen av Lyngenfjorden hvor vannsøylen også er mer gjennomblandet. Saltholdighet i nivåene 5-50m langs østsiden i Storfjorden/ Lyngenfjorden fra den finoppløste 200m-modellen er sammenliknet med de to settene av målinger med CTD.

Som eksempel på 200m-modellens vertikale strukturer i hydrografi på langs av Storfjorden/ Lyngenfjorden, viser Figur 9a og 9b henholdsvis saltholdighet og temperatur fra døgnmidlete verdier gyldig 30. april 2009. På dette tidspunktet er der et tydelig blandingslag over pyknoklinen (vertikalgradient i saltholdighet) som ligger på rundt 10m. Blandingslaget er mindre tydelig i temperaturfeltet på dette tidspunktet. En horisontalgradient i både saltholdighet og temperatur er synlig mot den åpne delen av Lyngenfjorden hvor vannsøylen også er mer gjennomblandet.

Saltholdighet i nivåene 5-50 m langs østsiden i Storfjorden/ Lyngenfjorden fra den finoppløste 200 m-modellen er sammenliknet med de to settene av målinger med CTD.

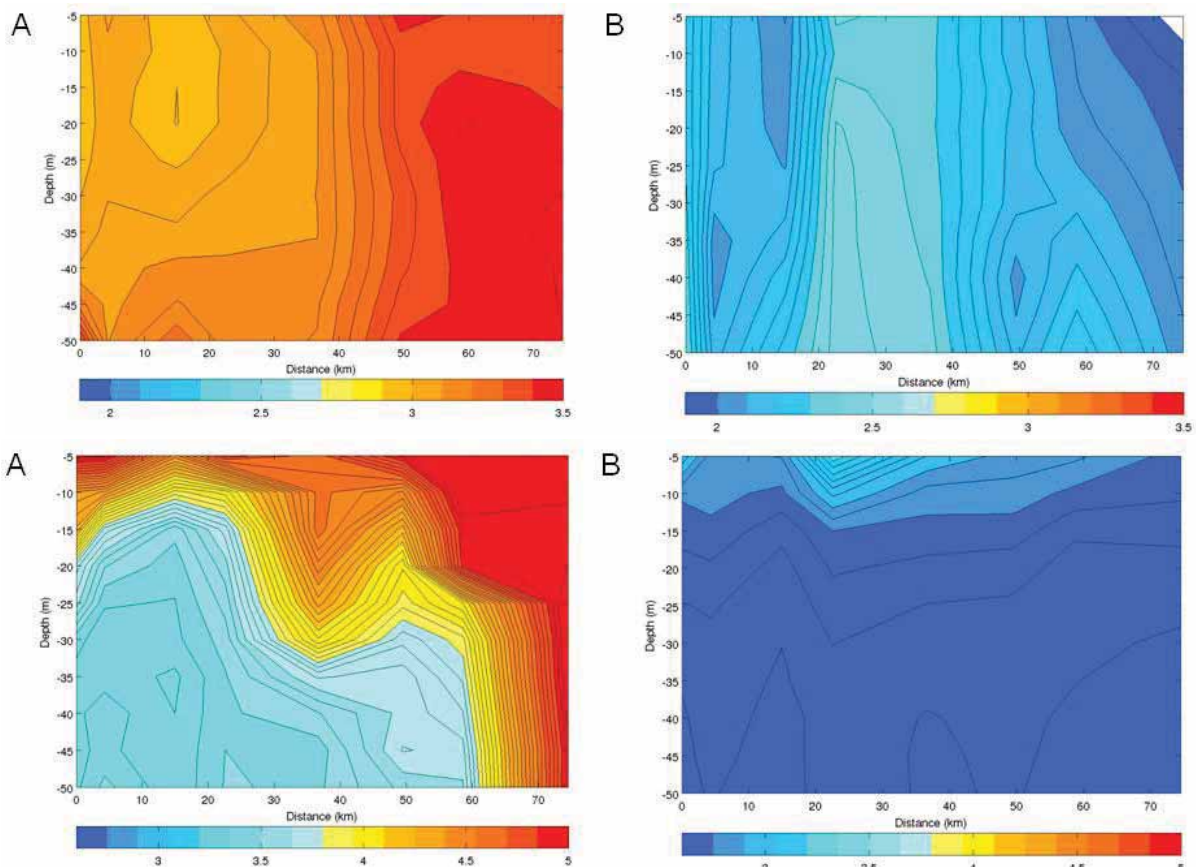
Verdier som gjelder 23. april er vist i Figur 10a og b og fra 14. mai i Figur 11a og b.



Figur 10a og b og 11a og b. Sammenlikning mellom målt og modellert (200 m-modellen) saltholdighet langs østsiden av Storfjorden/ Lyngenfjorden den 23. april 2009 (de to øverste panelene, CTD til venstre) og 14. mai 2009 (nederste paneler, CTD til venstre) for nivåene mellom 5 og 50m. Plasseringen til målepunktene er angitt på Figur 3, mens horisontalaksen angir avstand (i km) fra innerste målestasjon i Storfjorden. Ekvidistansen er 0.05 psu.

Modellen er jevnt over for salt, og sammenlikningen 23. april viser at det tydelige observerte minimumet i overflaten 10-20 km fra innerste stasjon, ikke er synlig i modellen. Modellen har riktignok enkeltminima i de øverste 10 m, men plasseringen horisontalt er ikke den samme som i målingene. Pyknoklinen ser ut til å ligge på omtrent samme nivå i både observasjonene og modellen i den innerste delen av fjordarmen, mao. på rundt 10-15 m. Tre uker senere, den 14. mai, er målt saltnivå lavere for de øverste 30m langs hele snittet. Dette klarer ikke modellen å fange opp ettersom den lager en jevn pyknoklin langs hele snittet på rundt 10 m.

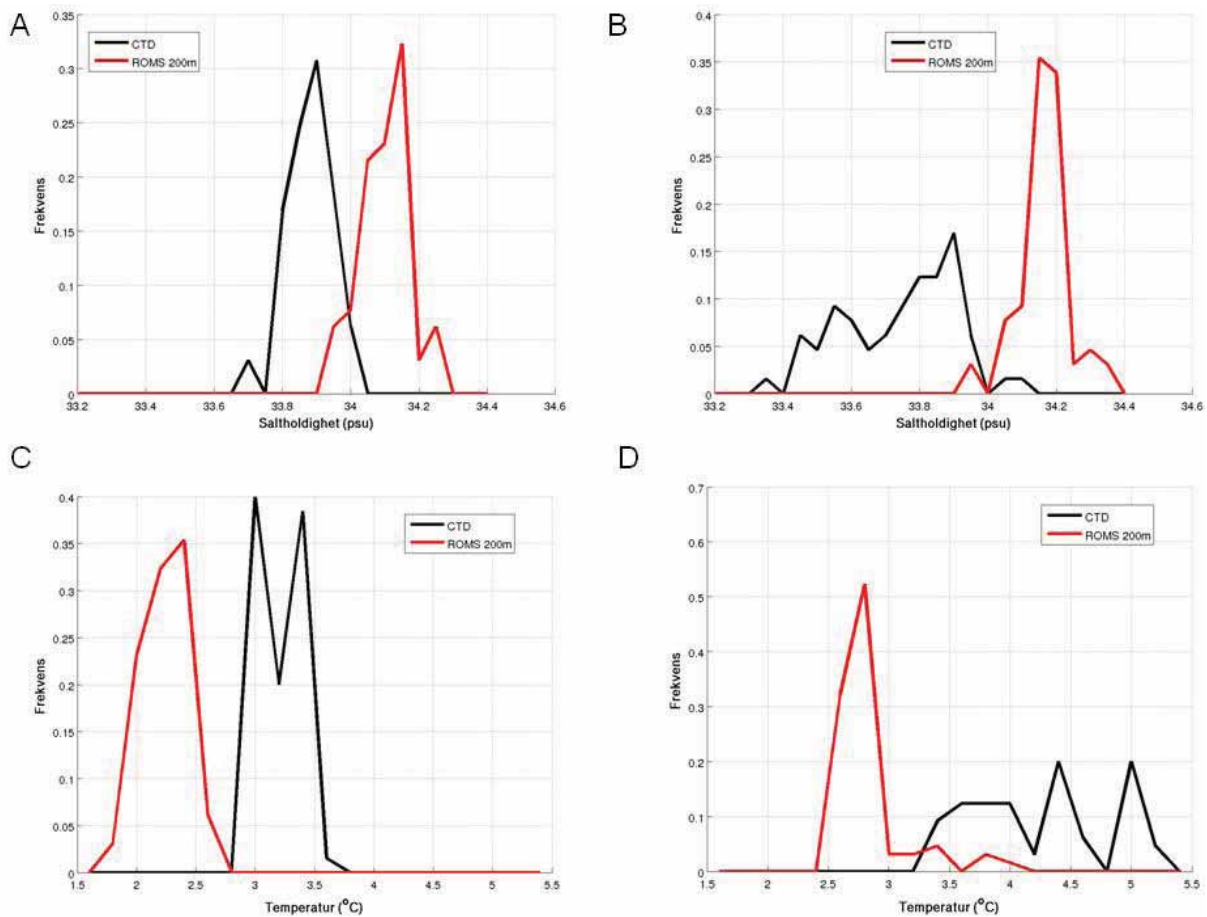
Når det gjelder temperatur, så er tilsvarende sammenlikning utført for 23. april (vist i Figur 12a og b) og 14. mai (vist i Figur 13a og b). Det er tydelig at modellen underestimerer temperaturene i hele snittet. Målingene viser en vesensforskjell i temperaturtilstanden i tid ved at vannsøylen 23. april bortimot er gjennomblandet og kun har horisontale gradienter, mens den midt i mai opplever en oppvarming på overflaten som påvirker vannmassene lenger ned. Dette klarer modellen delvis å gjenskape, men forskjellen er altså hovedsakelig at verdiene er for lave.



Figur 12a og 12b og 13a og 13b. Sammenlikning mellom målt og modellert (200m-modellen) temperatur langs østsiden av Storfjorden/ Lyngenfjorden den 23. april 2009 (de to øverste panelene, CTD til venstre) og 14. mai 2009 (nederste paneler, CTD til venstre) for nivåene mellom 5 og 50m. Plasseringen til målepunktene er angitt på Figur 3, mens horisontalaksen angir avstand (i km) fra innerste målestasjon i Storfjorden. Ekvidistansen er 0.05 °C.

For å illustrere fordelingen av verdier av saltholdighet og temperatur fra både målinger og modell, er alle verdier mellom 10 og 30m dyp fra alle CTD-stasjoner og korresponderende

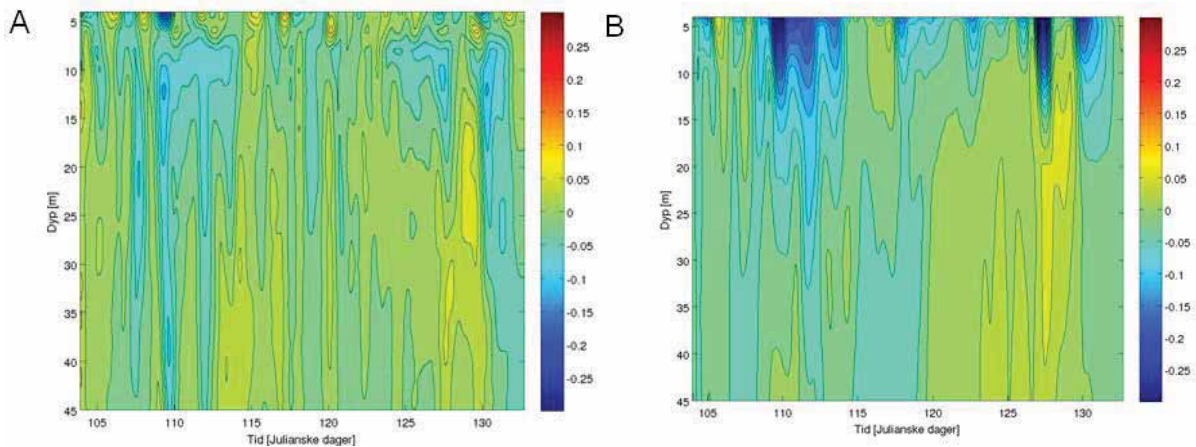
modellresultater samlet i frekvensdiagram. En oppdeling er gjort for hver variabel og for hvert av de to tidspunktene (Figur 14a, b, c og d). Variabiliteten i saltholdighet den 23. april er omtrent like stor i modellen som i målingene, men modellen har en positiv bias (på omtrent 0.22 psu). Den 14. mai kommer det inn en del ferskere vann langs snittet, men dette ser man ikke i modellresultatene. Nå er det kun tatt utgangspunkt i målte og modellerte verdier for to enkeltdager, slik at forsinkelser i tid i modellen vil ikke fanges opp i denne sammenlikningen. Når det gjelder tilsvarende optelling for temperaturverdier, så viser det seg at modellen har en kald-bias begge dagene, og at oppvarmingen som er synlig fra midten av mai antakelig kommer senere i modellen.



Figur 14a, b, c og d. Frekvensfordeling av målt og modellert (200m-modellen) saltholdighet og temperatur for alle nivåer mellom 10 og 30 m dyp for både 23. april og 14. mai 2009. Horisontalaksen angir observert/modellert verdi i henholdsvis psu og °C, mens vertikalaksen angir relativ frekvens av hvor ofte aktuell verdi oppstår. Panelene øverst angir saltholdighet, mens de nederste viser temperaturfordelingen. Panelene til venstre gjelder for 23. april, mens 14. mai er vist til høyre.

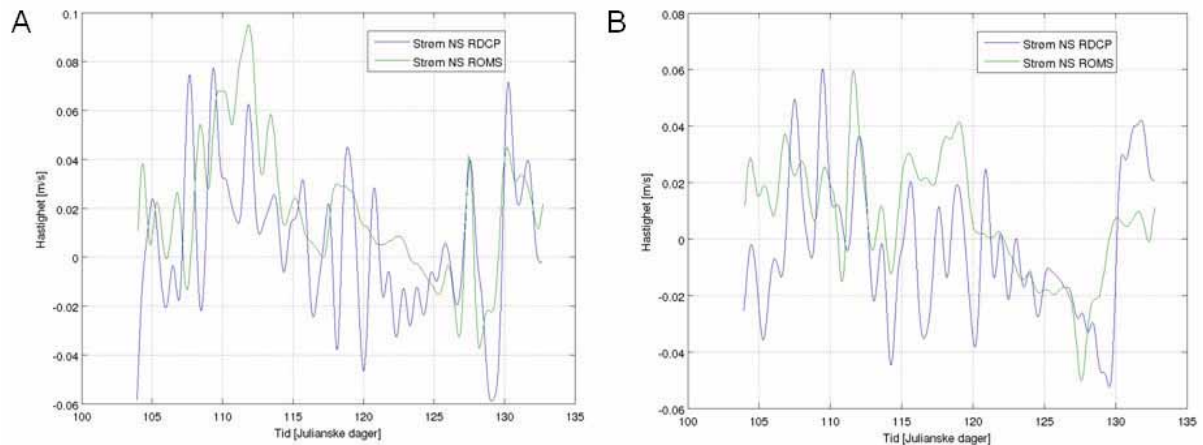
Strømmålinger er svært verdifulle i forbindelse med modellering, og særlig modellering som skal danne basis for partikkeldriftsimuleringer. Tidsserie av strøm fra stasjonen på østsiden av Storfjorden mellom 4 og 45 m dyp er vist fra målingene i Figur 15a og fra 200 m-modellen i Figur 15b. Legg merke til at både målinger og modellverdier er lavpassfiltrerte med periode på 24 timer. Dette er nødvendig for å filtrere vekk høyfrekvente bevegelser som ville gjort sammenlikningen støyete. Både målinger og modell viser at tilfeller med strøm inn eller ut av fjorden påvirker raskt strømretning også et godt stykke nedover mot bunnen. Hendelsene med

relativt kraftig strøm i overflaten har en typisk varighet på 1-2 dager og dette kan relateres til vindpåvirkningen i fjorden. Ved sammenlikning av retning på strømmen, er det god overensstemmelse mellom målinger og modell.



Figur 15a og b. Målt (øverst) og modellert (nederste panel) strøm fra stasjon 2 (strøm-måleren lengst nordøst) som en tidsserie med dypet. Tidsaksen viser tid i dager fra 1.1.2009 og strekker seg fra 15. april til 14. mai 2009, mens vertikalaksen begrenser dypene mellom 4 og 45 m. Strømretning er langs med fjorden med positiv retning innover mot Storfjorden, og ekvidistansen er 0.025 m/s.

Nord-syd strømkomponenten (tilnærmet på langs av fjorden, med positiv retning mot nord/ut av fjorden) på stasjon 2 på østsiden i 15 og 30 m dyp er sammenliknet mellom målinger og modell (Figur 16a og b). Også her er verdiene lavpassfiltrerte, og i mange situasjoner viser modellen god overensstemmelse med målingene. Utslagene mot nord eller syd kan ha ulik amplitude mellom målinger og modell, men retningen er stort sett konsistent.

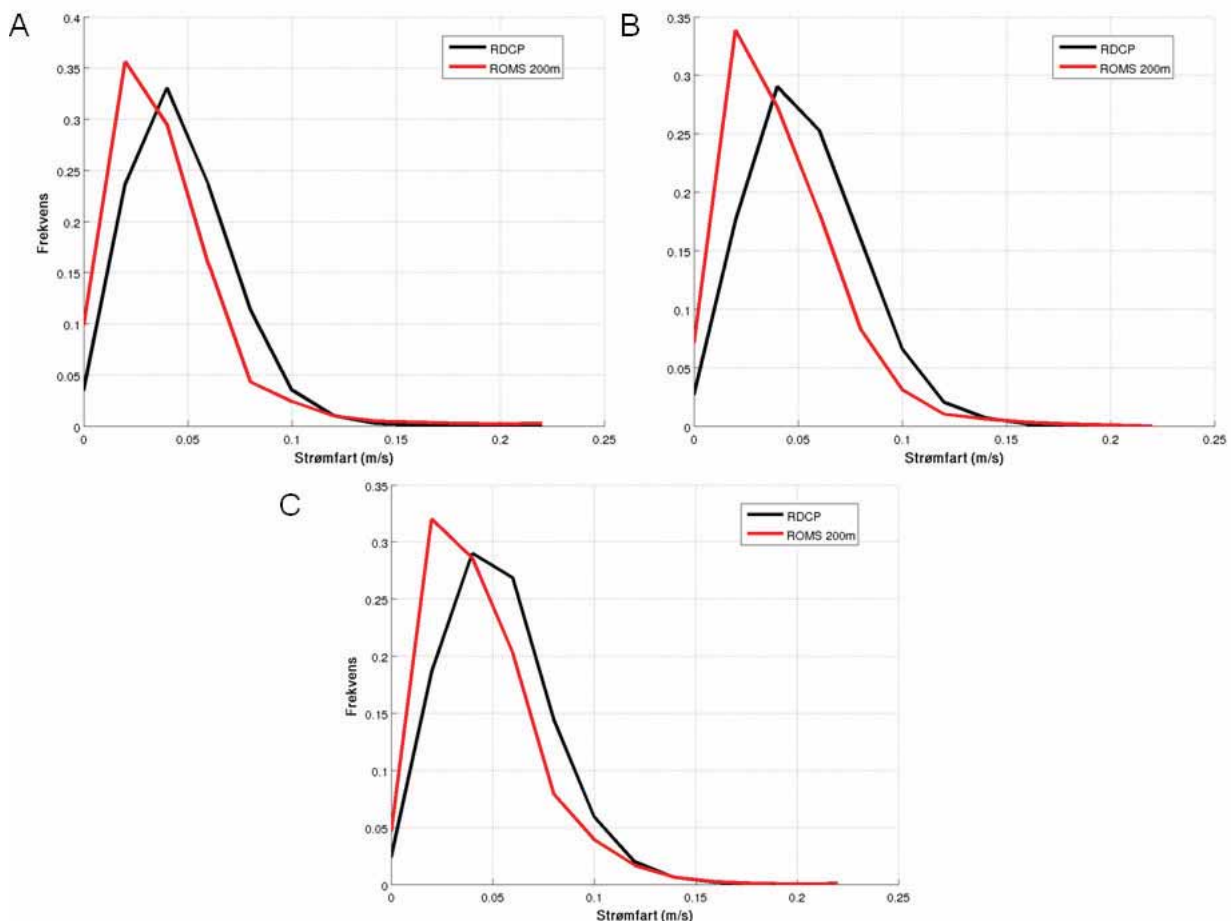


Figur 16a og b. Sammenlikning av nord-syd-komponenten av strøm mellom målinger og 200 m-modellen i 15 m (venstre side) og 30 m dyp (høyre side) fra stasjon 2 (strøm-måleren lengst nordøst). Horizontalaksen viser tid i dager fra 1.1.2009 (perioden mellom 15. april og 14. mai 2009), mens vertikalaksen viser hastighet (m/s). Strøm i nord-syd-retning er tilnærmet lik strøm på langs av fjorden, der positiv verdi indikerer retning ut av fjorden.

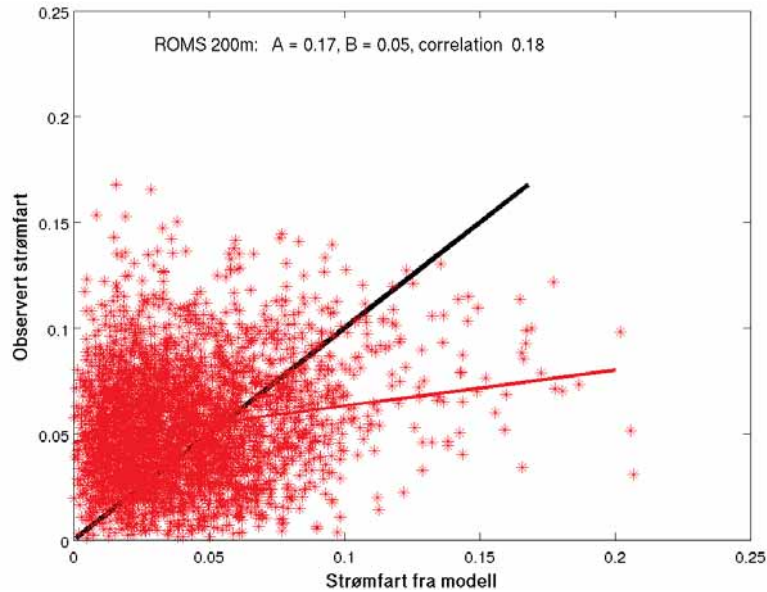
For å sammenlikne strømfarten på de tre målestasjonene, er målte og modellerte verdier tatt opp i frekvensdiagram for den aktuelle måleperioden fra alle dyp mellom 10 og 30 m (Figur 17a, b og c). Datasettene tar utgangspunkt i timesverdier fra både målinger og modell.

Modellens variabilitet i strømfart er helt sammenliknbar med målingenes, men der er en liten underestimering av strømmene i modellen. Denne biasen er forholdsvis liten for alle tre stasjoner, så hovedinntrykket er at modellen validerer godt mot strøm over den månedslange måleperioden.

Som eksempel på hvordan timingen i modellen er i forhold til målingene, så er alle observasjonene som danner grunnlaget for frekvensfordelingen i Figur 17b, plottet mot tilsvarende modellerte verdier (se Figur 18). Dette viser den svært lave korrelasjonen mellom målt strømfart og modellert. Dette er ikke noe overraskende resultat, ettersom det viser seg at numeriske havmodeller har problemer med å beregne nøyaktig strøm på ett sted til ett gitt tidspunkt. Samler man målinger og modellresultater over tid, så har man en mye bedre overensstemmelse. Ettersom formålet med denne øvelsen er å se på drift av eggpartikler over tid (20-30 dager), anses derfor den modellerte strømmen til å være et godt utgangspunkt til å påpeke mulig driftsmønstre.



Figur 17a, b og c. Frekvensfordeling av målt og modellert (200 m-modellen) strømfart for alle nivåer mellom 10 og 30 m dyp for perioden 15. april til 14. mai 2009 fra de tre målestasjonene. Stasjonenes plassering er vist i Figur 3 der st. 1 er plassert innerst, st. 2 lengst mot nordøst og st. 3 mot vest fra st. 2. Horisontalaksen angir observert/modellert verdi i m/s, mens vertikalaksen angir relativ frekvens av hvor ofte aktuell verdi oppstår. Panelene er plassert med verdiene fra st. 1 øverst til venstre, st. 2 øverst til høyre og st. 3 nederst.



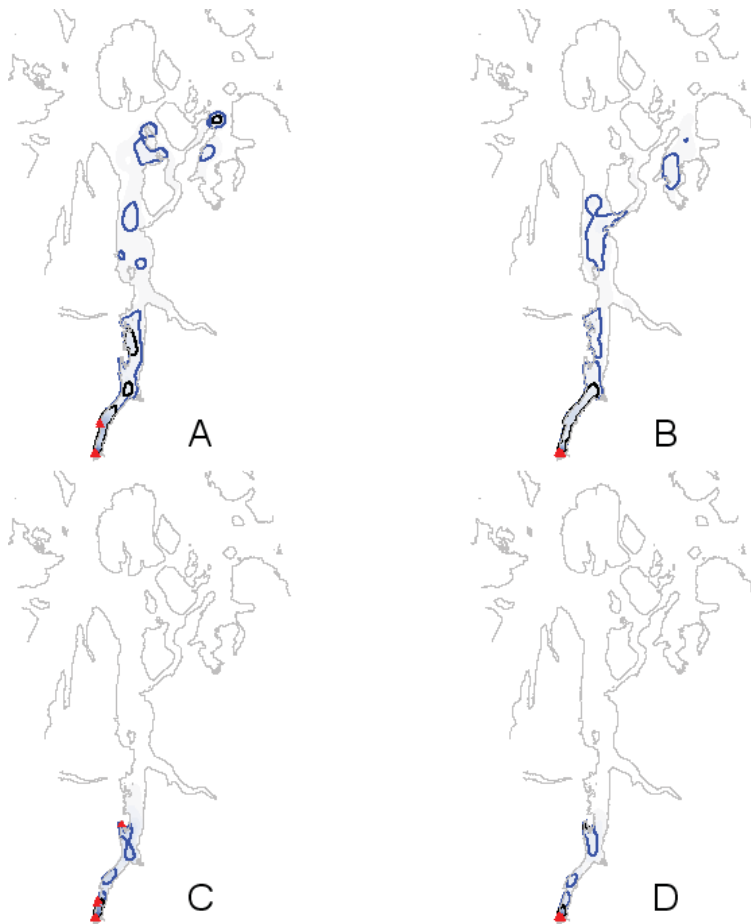
Figur 18. Målt og modellert strømffart fra st. 2 (nordøstlige) i alle nivåer mellom 10 og 30 m mellom 15. april og 14. mai 2009 er plottet mot hverandre, og hver verdi er angitt med en rød stjerne. Modellverdi er angitt langs horisontal-aksen og målt verdi langs vertikalaksen. Den svarte linjen angir 1:1 forholdet mellom måling og modell, mens den røde linjen er en enkel lineær regresjonslinje fra de aktuelle punktene. Korrelasjonsfaktoren mellom observasjoner og modellverdier er i dette tilfellet 0.18.

Etter at det ble simulert drift av eggpartikler, ble antall partikler i fjorden og deres plassering talt opp etter henholdsvis 20 og 30 dager i de to studerte dypene (15 og 30 m), og midlet for de tre realisasjonene som svarte til de tre etterfølgende utslippsdatoer. Gitt temperaturen i fjorden vil dette tilsvare tiden eggene bruker på å utvikle seg fra stadie I til klekking av larve. Vi valgte å sette grensen ved dette tidspunktet siden egget kan oppfattes som en ren planktonisk partikkel. Riktignok er larven også planktonisk ved klekking, men etter hvert som den utvikler seg, vil en bli nødt til å ta hensyn til larvens egenbevegelse. For å gi et inntrykk av fordelingen av partikler fra driftmodellen ble disse glattet med en "kernel smoothing" (Espeland et al. 2008, Worton et al 1995) som følger formelen:

$$f(x, y) = \frac{1}{nh^2} \sum_{i=1}^n K \left(\frac{x - x_i}{h}, \frac{y - y_i}{h} \right)$$

Her er x_t, y_t et punkt (Long, Lat) som evalueres, n er antall punkter, h er en "smoothing" faktor (grad av glatting), K er en bivariat symmetrisk "tri-cube" sannsynlighetsfordeling og $E(x)$ og $E(y)$ er posisjonen for et aritmetisk gjennomsnitt for alle punktene.

Denne fordelingen ble standardisert til å summere til 1 og kan dermed anses som en sannsynlighetsfordeling over hvor i modellområdet man vil finne egg etter henholdsvis 20 og 30 dager.



Figur 19. Sannsynlighetsfordeling av egg i modellområde basert på simulering av partikkeldrift. Panel A er etter 20 dager, på 15 m dyp, B er 30 dager, 15 m dyp, C er 20 dager 30 m dyp og D er 30 dager ved 30 m dyp. Mørk farge angir høy sannsynlighet, svarte linjer viser hvor de 25% høyeste sannsynlighetene finnes, blå linjer 50% høyeste sannsynlighetene. Røde trekantede viser de ti modellpunktene med høyest antall simulerte partikler (akkumulering av partikler).

4 Diskusjon

I forhold til undersøkelsene som er gjort i tilsvarende områder i andre deler av landet, ble det funnet svært høye egg tettheter. En lokal fisker kunne rapportere at feltundersøkelsene trolig foregikk i startfasen av gytesesongen, men at de også fikk noe fisk med rennende rogn. Dette ble også bekreftet av den høye andelen av eggene som var tidlig stadie. Dette tyder på at feltundersøkelsene har vært vellykket i forhold til innsamling av et representativt utvalg av egg fra fjorden. Det er også grunn til å tro at størstedelen av eggene som ble funnet, var gytt av fisk i fjorden.

Det ble funnet økende antall egg innover i fjorden, særlig fra Skibotn og innover, mens de ytterste stasjonene inneholdt få eller ingen egg. Dette tyder på at hele området som brukes av fisken i Storfjorden/ Lyngenfjorden til gyting, ble undersøkt. Det var god overensstemmelse mellom stasjonene med høye egg tettheter og noen av de områdene som Fiskeridirektoratet har angitt som gytefelt etter informasjon fra fiskere.

Siden en så stor andel av eggene var i tidligste stadie (Stadie I: 91.2%), er det sannsynlig at egg tetthetene i en stor grad peker mot der eggene har vært gytt (lekområdet).

Innsamlingen av egg gikk over totalt 4 dager i april. Torsken er en porsjonsgyter som kan spre gytingen sin utover en lengre periode. Det er derfor teoretisk mulig at det kan finnes et geografisk mønster i gytingen, der forskjellige områder brukes som gytefelt i forskjellige deler av gyteperioden. Siden feltobservasjonene er gjort over en kort periode kan vi ikke si noe om et slikt eventuelt mønster.

Enkelte områder som tidligere er kartlagt i Nasjonalt program for Kartlegging av marine naturtyper, er kartlagt gjennom flere år (deler av Oslofjorden, Vest-Agder og enkelte fjorder i Aust-Agder). I disse områdene finner vi ingen tegn til store geografiske forskjeller, derimot er det en stor grad av sammenfall mellom områder som blir påvist som gytefelt i forskjellige år. I tidligere studier gjort på gytefelt hos lokale stammer av kysttorsk er det også svært konsistente mønstre mellom år og innen samme gytesesong (Cianelli et al. in press, Knutsen et al, 2007). Det er også vist at voksen gytemoden torsk holder seg til ett gytefelt og ikke vandrer mellom ulike gytefelt (Espeland et al. 2007). Vi mener derfor det er sannsynlig at mønsteret vi finner i Storfjorden/Lyngenfjorden er representativt for gytemønsteret hos torsken i dette området. Imidlertid vil det også her bli gjennomført eggtrekk på samtlige stasjoner også i 2010 som en kontroll av metoden.

DNA-isolering fra torskeegg vha. av Chelex-metoden er en godt innarbeidet metode som har blitt benyttet ved laboratoriet gjennom mange år og flere prosjekter. Normalt har denne metoden gitt over 90% isolasjonssuksess for torskeegg. I dette prosjektet var det imidlertid meget vanskelig å få ut DNA for å kunne amplifisere mikrosatellitene, og dette gjaldt de fleste eggene.

Det kan være to sentrale grunner for at dette var lite vellykket. Det første kan være at eggene ikke var torskeegg. De tidlige stadiene (I-III) bestemmes i hovedsak på størrelsen på egget. Det vil da ikke være mulig å skille mellom egg fra torsk, og for eksempel hyse, som er av samme størrelse. Det ble imidlertid funnet eldre stadier av torskeegg, hvor det definitivt var mulig å avgjøre at egget var torsk, men ikke tilsvarende funnet eldre stadier av hyse. De andre artene som ble funnet i fjorden, var i all hovedsak flyndrefisk som har mye større egg enn torsk og derfor er lett å skille ut.

En annen mulig årsak til at en del egg ikke lot seg genotype, kan være at de var ”ferske”, dvs. nettopp gytt egg med få celler. Da mer enn 90% av eggene var første stadie og bare 163 egg var stadie II og eldre, anser vi dette som den mest sannsynlige forklaringen. Det er derfor forventet at denne metoden har større suksess dersom eggene kan holdes levende noen dager til de får utvikle seg til eldre stadier.

Dette prosjektet ga likevel viktig informasjon for videre arbeid. Den ville fisken i fjorden skilte seg klart fra oppdrettsfisken, og dermed er det mulig å bestemme opphav (oppdrett eller vill) til mer enn 90% (91,9%) av de eggene som ble genotypet. På grunn av det lave antallet som vi klarte å genotype, kan vi ikke si noe om forskjell i fordeling av de forskjellige typer egg, men prosjektet viser at det vil være mulig å skaffe slik informasjon gjennom denne typen systematisk innsamling av egg.

Den hydrodynamiske modellen ROMS ble etablert på et område som dekker Storfjorden og Lyngenfjorden med 200x200 m horisontal oppløsning. Modellen har for perioden april og mai 2009 produsert romlige felter av hydrografi og strøm, der sistnevnte har blitt brukt i trajektorie/partikkeldriftmodellen Ladim. Valideringsgrunnlaget for havmodellen består av målinger fra 13 CTD-stasjoner med prøvetaking to enkeltdager, samt tre RDCP strømmålere som har målt strøm kontinuerlig i en måned. Valideringen viser at ROMS gjenskaper variabiliteten i saltholdighet og temperatur, men at der er et systematisk avvik mot målingene. Et slikt avvik kan reduseres med fintuning av modelloppsettet og ekstern påvirkning, men vi ser av strømvalideringen at betydningen er minimal for kvaliteten på den modellberegnete strømmen.

Partikkelsprednings-modellen Ladim ble brukt til å simulere drift av eggpartikler. Initialisering av partiklens plassering og antall ble utført med utgangspunkt i eggprediksjonene som ble utført midt i april. Med utgangspunkt i modellert strøm i 15 og 30 m dyp, ble bevegelsen til hver eggpartikkel beregnet, og en optelling ble utført etter både 20 og 30 dager. Informasjon fra partikkelspredning viser variasjon i fordelingen av eggpartikler i fjorden basert på småskala variasjoner i strømmønsteret. Den generelle trenden som gikk igjen i alle partikkeldriftsimuleringene, var at eggpartiklene hadde en tendens til å akkumulere innerst i fjorden. De modellpunktene med høyest konsentrasjoner av eggpartikler lå nesten utelukkende innerst i fjordbunnen. Fordelingene var stort sett tilnærmet unimodale med en konsistent topp innerst i fjorden. Sannsynlighetsfordelingen avtok utover i fjorden, med noen lokale toppe. Utenfor Nordresodden var det få konsistente mønstre som gikk igjen (muligens en svak ansamling utenfor Hamnes).

Det var et tydelig skille mellom spredningen av egg på 15 m og 30 m dyp. Spredningen på 30 m var betydelig mindre (19 % av de våte modellpunktene hadde egg på 15 m, mot 8% på 30 m dyp) ettersom strømhastighetene generelt minker med dyppet. Etter 30 dager var 70 % av partiklene fortsatt til stede i modellområdet på 15 meters dyp (mao. ikke drevet ut i nordøstlig retning), i forhold til 97.7 % som var tilstede på 30 m dyp. På samme måte inneholdt de ti punktene med høyest antall partikler hele 17 % av de som totalt ble sluppet ut på 15 meters dyp, mens den tilsvarende andelen for 30 m dyp var 33 %.

5 Konklusjon

5.1 Avgrensning og verdisetting av gytefelt i Storfjorden

De to viktigste utfordringene ved å kartlegge gytefelte for fjordgytende torsk er avgrensningen av gytefeltet og verdisettingen. Til nå har dette i stor grad basert seg på tettheten av nygytte egg i bassenger. I naturen finnes det ingen definitiv grense for et gytefelt siden eggtetthetene gjerne avtar gradvis bort fra et område med høy gyteintensitet (lekområde).

Viktige elementer i en god dokumentasjon av gytefelt er:

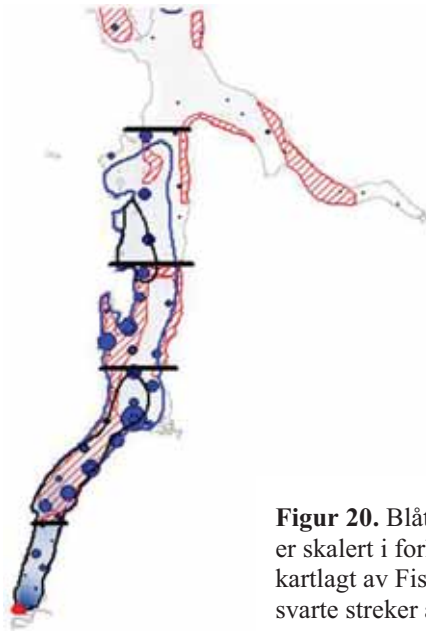
- Områder som voksen gytemoden torsk bruker i direkte tilknytning til gyting (lek)
- Områder hvor produksjonen av egg fra villfisk er høy
- Områder som er vesentlige oppholdssteder for egg og larver i en planktonisk fase.

Områder som er kartlagt på bakgrunn av intervjuinformasjon med fiskere, representerer informasjon om pkt. 1. Denne informasjonen kan også representere områder som er gode fiskeplasser etter gytemoden fisk og ikke nødvendigvis gyteplasser. Den biologiske betydningen av intervjuinformasjon må derfor vurderes med bakgrunn i biologiske og fysiske data (eggkonsentrasjoner og strøminformasjon). En del av intervjuinformasjonen om gyteområder kan være steder hvor fisk stopper på veg til gyteplassen uten å være direkte gyteplasser. Disse sistnevnte kan være viktige områder for at gytingen som helhet skal fungere optimalt og vil ikke som sådan fjernes selv om produksjonen av egg er lav. Siden de likevel er plassert fysisk og temporalt lengre borte fra gytingen vil de gis en lav verdi. I denne sammenheng oppfattes områdene utenfor Nordnes som slike områder og vil få en verdikategori C.

Eggforekomster har til nå vært brukt som et mål på hva som er å regne som regionalt eller lokalt viktige områder. Siden produksjonen av egg varierer fra region til region er det viktig å se dette i sammenheng med hva man finner i hele området som undersøkes på et gitt verifiseringstokt. Siden vi finner det vi i nasjonalt perspektiv vil anta er høye eggtettheter utenfor Skibotn, vil et gytefelt i området her få en verdiklassifisering B. Det er imidlertid en mulighet for at egg som finnes i dette område stammer fra oppdrettsfisk. En endelig konklusjon rundt dette er dessverre ikke mulig å trekke på bakgrunn av det innsamlede materiale. Selv om det genetisk ble funnet egg som lignet på oppdrettsfisk, er materiale som det var mulig å hente ut DNA, for lite til si noe om omfanget av egg fra oppdrettsfisk, annet enn at de er tilstede på gytefeltet. Eggene kan også stamme fra fisk som har rømt fra oppdrettsanlegg og ikke fra gyting i merder.

Spredningen av eggpartikler basert på simulering av strøm vil gi informasjon i forhold til avgrensning av gytefeltet og i hvilken grad forskjellige gytefelt henger sammen og bør verdivurderes i sammenheng. Siden torsk er en fisk med høy fekunditet og de planktoniske eggene er underlagt et strømmønster som kan variere fra år til år, vil det være urealistisk å skulle begrense gytefeltet ut fra hvor alle eggpartiklene oppholder seg etter gyting. I den sammenheng vil en sannsynlighetsfordeling av eggpartikler etter drift kunne vurderes for å si noe om hvor mesteparten av partiklene fordeler seg.

En kombinert sannsynlighetsfordeling uavhengig av dyp (vektet med andelen av egg fra forskjellige dyp), ble konstruert og sammenlignet med intervjuinformasjon og eggproduksjon for den indre delen av Storfjorden/ Lyngenfjorden. Dette området ble inndelt subjektivt i fem deler og vurdert i forhold til gitte kriterier (det brukes påtegnede gytefelt om intervjuinformasjon).



Figur 20. Blått “skyggelagt” område er tetthet av egg etter driftsimulering. Blå sirkler er skalert i forhold til logaritmen til eggtettheter. Rødt skravert område er gytefelt som kartlagt av Fiskeridirektoratet, svarte og blå linjer er som forklart i Figur 19. Tykke svarte streker angir områder som omtales i teksten.

Område 1: Innenfor innerste påtegnede gytefelt

Området er betegnet med lav eggproduksjon (46 egg, 2 % av totalt), men høy grad av akkumulerte egg etter drift (25% av alle partikler sluppet i driftmodellen). Området må betegnes som viktig for gyting for torsk.

Område 2: Fra innerste påtegnede gytefelt til grensen for 0,25-isolinjen for sannsynlighetsfordeling for eggdrift

Området er betegnet av noe mindre akkumulasjon av partikler (17 %), men svært viktig som produksjonsområde (1285 egg, 68 % av totalt). Området må betegnes som viktig for gyting for torsk.

Område 3: Fra område 2 og til avslutning av det innerste av de påtegnede gytefeltene

Både eggproduksjonen (337 egg, 18 %) og akkumulasjonen av egg etter drift (10 %) er avtagende i dette område men fortsatt betydelig.

Område 4: Fra slutten på innerste påtegnede gytefelt og til yttergrensen for 0,5-isolinjen for sannsynlighetsfordeling for eggdrift

Området omfatter en noe mindre del av produksjonen (128 egg, 7 %) og tilsvarende mengde av egg etter drift (9 %).

Område 5: Dette omfatter alt som ligger lenger ut i fjorden enn område 4

Resten av fjorden inneholder en marginal del av eggproduksjonen (32 egg, 2 %). En del av disse eggene er av eldre stadier og kan være egg som ikke stammer fra gyting i fjorden. 39 % av alle egg etter drift befinner seg i resten av modellområdet. Dette tilsvarer tall man finner i andre studier av ”self-recruitment” kontra eksport av gyteprodukter (Almany et al. 2007, Barbee og Swearer 2007, Jones et al. 1999, Jones et al. 2005). Det finnes flere påtegnede gytefelt i dette område.

Strømmodellering og mønstre i egg tetthet antyder at det er et viktig gytefelt i det undersøkte område. Det foreslås å omfatte alle de fire innerste områdene i et gytefelt som vil få verdiklassifisering B. De øvrige påtegnede områdene får verdi C.

5.2 Evaluering av metoder benyttet i kartlegging i Storfjorden.

Undersøkelser av eggkonsentrasjoner vil være en helt nødvendig del av fremtidig kartlegging. Dette er nødvendig for å kvantifisere produksjonen av egg og å peke ut hvor den mest sannsynlig foregår, selve lekområdet eller gyteplassen. Det finnes ingen gode modeller som kan predikere egg tettheter utenfor det område som modellen er tilpasset, og derfor er fysiske målinger helt essensielt.

Genetikk representerer viktig informasjon i forhold til verdien av et gytefelt, ved at en kan justere eggproduksjonen i forhold til egg produsert av fisk i merd. Videre kan det i deler av landet være viktig å kunne skille egg av skrei og egg fra lokal kysttorsk. Dette finnes det svært gode metoder på. Det er imidlertid en forutsetning for at genetikk effektivt kan benyttes, at en større andel av eggene gir resultat. Det vil i vinter bli testet metoder for å holde eggene i live etter at de er tatt ut av håvtrekket, slik at de kan utvikle seg til flere celler, og det blir enklere å skaffe seg DNA fra eggene. Denne metoden vil bli testet ut under feltaktiviteten i 2010. Metoden baserer seg på erfaring fra Havforskningsinstituttets virksomhet innen produksjon av marine fiskeegg.

Oseanografiske modeller har gitt et svært verdifullt tilskudd til gytefeltkartlegging. Med utgangspunkt i en hydrodynamisk modell som innehar nødvendig oppløsning i forhold til størrelsen på fjordene, som validerer godt mot målinger og som gir realistisk variabilitet i sin simulerte fjordtilstand, har man et godt utgangspunkt for simuleringer av eggpartikkeldrift. I dette tilfelle har det vist seg at en stor andel av de simulerte eggene driver innover i fjorden. Ved å følge trajektoriene (flytebanene) av partikler som simuleres har man også kontroll på hele det område som partiklene oppholder seg på i tiden fra antatt gyting til antatt klekking. Resultatene og analysene av partikkeldriftsimuleringene gir altså svært god informasjon om driftsmønstre i det aktuelle området.

Det vil derfor være en forutsetning i det videre kartleggingsarbeidet av gytefelt i åpne fjorder/havbukter, at en har tilgjengelig en 800-m strømmodell som så kan nedskaleres til 200 m i de aktuelle områdene. Arbeidet med å etablere en slik modell er et prioritert område for Havforskningsinstituttet i samarbeid med Meteorologisk institutt i 2010.

Med de nevnte justeringer synes en styrking av den opprinnelige kartleggingsmetoden ved bruk av genetiske og oseanografiske metoder å gi et godt grunnlag for stedfesting, avgrensning og verdisetting av gytefelt for kysttorsk, også i åpne havbukter og sund uten terskler.

6 Referanser

- Almany, G.R., Berumen, M.L., Thorrold, S.R., Planes, S., and Jones, G.P. 2007. Local replenishment of coral reef fish populations in a marine reserve. *Science* 316(5825): 742-744.
- Barbee, N.C., and Swearer, S.E. 2007. Characterizing natal source population signatures in the diadromous fish *Galaxias maculatus*, using embryonic otolith chemistry. *Marine Ecology-Progress Series* 343: 273-282.
- Barnes, H. (1949). A statistical study of the variation in plankton hauls, with special reference to the loss of the catch with divided hauls. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* **28**, 429-445.
- Cianelli L., Knutsen, H., Olsen, EM, Espeland SH, Asplin L, Jelmert A, Knutsen JA, Stenseth NC. (in review) Maintenance of small-scale population structure in a marine population in relation to water circulation and egg characteristics. *Ecology*.
- Dahl K, Dannevig GM (1906) Undersøgelser over nytten af torskeudklækning i østlandske fjorde. Betenkning. Årsberetninger Norges Fiskerier 1:1-121
- Danielssen DS, Gjosaeter J (1994) Release of 0-group cod, *Gadus morhua* L., on the southern coast of Norway in the years 1986-1989. *Aquaculture and fisheries management* 25:129-142
- Espeland SH, Knutsen H, Olsen EM, Stenseth NC (2006) Egg retention promotes population structure in Atlantic cod. *Journal of Fish Biology* 69:229-229
- Espeland SH, Gundersen AF, Olsen EM, Knutsen H and Stenseth NC (2007) Home range and elevated egg densities within an inshore spawning ground of coastal cod. *ICES journal of marine science* 64:920-928
- Espeland SH, Olsen EM, Knutsen H, Gjosaeter J, Danielssen D, Stenseth NC (2008) New perspectives on fish movement: kernel and GAM smoothers applied to a century of tagging data on coastal Atlantic cod. *Marine Ecology-Progress Series* 372:231-241
- Hastie, T. J., and Tibshirani, R. J. 1990. *Generalized Additive Models*. Chapman and Hall, London, UK
- Hastings A, Botsford LW (2006) Persistence of spatial populations depends on returning home. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences Of The United States Of America* 103:6067-6072
- Jones, G.P., Milicich, M.J., Emslie, M.J., and Lunow, C. 1999. Self-recruitment in a coral reef fish population. *Nature* 402(6763): 802-804.
- Jones, G.P., Planes, S., and Thorrold, S.R. 2005. Coral reef fish larvae settle close to home. *Current Biology* 15(14): 1314-1318.
- Jorde PE, Knutsen H, Espeland SH, Stenseth NC (2007) Spatial scale of genetic substructuring in coastal cod (*Gadus morhua* L.) and the geographic extent of local populations. *Marine Ecology-Progress Series* 343:229-237
- Knutsen H, Jorde PE, André C, Stenseth NC (2003) Fine-scaled geographical population structuring in a highly mobile marine species: the Atlantic cod. *Molecular Ecology* 12:385-394
- Knutsen H, Olsen E, Cianelli L, Espeland SH, Knutsen JA, Simonsen JH, Kreslet S, Stenseth NC (2007) Egg distribution, bottom topography and small-scale cod population structure in a coastal marine system. *Marine Ecology-Progress Series* 333:249-255
- Knutsen JA, Bergstad OA, Gjøsaeter J, Enersen SE, Omli L (2000) Kartlegging av gyteplasser og sonderende oksygenmålinger i utvalgte fjorder i Risør, Tvedestrand og Lillesand kommune. *Fisken og havet* 13:1-13

- LaCasce, J. H., Røed, L. P. og Ådlandsvik, B., 2007. CONMAN Technical Report No. 2: Analysis of model results, met.no Report 5/2007, Norwegian Meteorological Institute, P.O.Box 43, Blindern, 0313 OSLO, NORWAY.
- Løversen R (1946) Torskens vekst og vandring på Sørlandet. Fiskeridirektoratets skrifter, serie havundersøkelser 17:449-471
- Olsen, E. M., Knutsen, H., Gjosaeter, J., Jorde, P. E., Knutsen, J. A., and Stenseth, N. C. 2004. Life-history variation among local populations of Atlantic cod from the Norwegian Skagerrak coast. *Journal of Fish Biology*, 64: 1725-1730.
- Shchepetkin A.F. og McWilliams, J.C., 2005. The regional oceanic modeling system (ROMS) - A split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model. *Ocean modelling*, 9, pp. 347-404.
- Stenevik, E.K., Sundby, S. og Agnalt, A.L., 2008. Buoyancy and vertical distribution of Norwegian coastal cod (*Gadus morhua*) eggs from different areas along the coast. Short communication *ICES J. mar. Sci.* 2008 65: 1198-1202; doi:10.1093/icesjms/fsn101
- Wood, S. N. 2000. Modelling and smoothing parameter estimation with multiple quadratic penalties. *Journal of the Royal Statistical Society Series B-Statistical Methodology*, 62: 413-428
- Worton BJ (1995) Using Monte-Carlo simulation to evaluate kernel-based home-range estimators. *J Wildl Manag* 59:794–800 doi:10.2307/3801959
- Ådlandsvik, B., og Sundby, S., 1994. Modelling the transport of cod larvae from the Lofoten area. *ICES J. mar. Sci. Symp.* 198, pp. 379-392.

Appendix I: Partikkeldrift

Partikkeldriftmodellering bruker prediksjoner av f.eks. strøm og hydrografi fra hydrodynamiske modeller til å beregne bevegelse av individuelle partikler i rom og tid. Man kan velge å la partiklene drive langs et fast z-nivå (i meter fra overflaten), langs en fast isopyknal (nivå med lik tetthet) eller tillate vertikaldrift. Velger man å bruke den hydrodynamiske modellens tid- og rom-varierende tetthet i partikkeldriftssimulering, må man legge inn en egen tetthetsverdi for hver partikkel. I biofysiske modellering der simuleringen foregår over flere dager, er det vanlig å kompensere avvik i modellert strøm/hydrografi og partiklenes "egenbevegelse" med et lite normalfordelt bidrag i hastigheten til hver partikkel ("random walk"). Det er også viktig å benytte et tilstrekkelig antall partikler slik at alle drivbanene representerer mesteparten av det statistiske grunnlaget.

Under uttesting av partikkeldriftsmodellen Ladim ble det forsøkt å tillate vertikalvandring av partiklene ut fra deres egen og omgivelsenes tetthet samt simulert strøm og vertikaldiffusjon. I følge Stenevik et. al (2008) har kysttorskegg i Tysfjord i Nordland en midlere likevektstetthet (i saltholdighet) på 32.41 psu (standardavvik 0.69 psu). Antakelse ble gjort om at de samme verdiene også kunne gjelde for Storfjorden/ Lyngenfjorden. Siden valideringen av saltholdighet mot CTD-observasjonene i dypene 5-30 m viste at modellen hadde en positiv saltholdighetsbias på ca. 0.22 psu, ble dette lagt til egg-partiklenes tetthet samt at standardavviket ble økt for å kompensere for ROMS sitt systematiske avvik. I tillegg ble det lagt til en "random-walk" bevegelse vertikalt for alle partikler (ikke horisontalt). Resultatene fra disse simuleringene er utelatt fra denne analysen fordi Ladim ikke er finjustert for denne type simuleringer. Problemer oppstod med at de fleste partiklene fløt opp mot overflaten, noe som igjen resulterte i en overdreven horisontaldrift (økte hastigheter mot overflaten). Vi relaterer problemene med å gjenskape eggens likevektsdyp med at fjordsystemet har små vertikale gradienter i tetthet under 5-10 m dyp i den aktuelle gyteperioden, og at avvik i modellert tetthet kan gi store utslag i vertikaldriften. Vår tillit til modellert horisontalstrøm er større, og derfor avventer vi driftssimuleringer som inkluderer vertikalbevegelse for eggpartikler, til fremtidige studier.

Appendiks II: "Best practice" innen modellering

Hydrodynamiske modeller kan brukes til å gi en beskrivelse av vannstand, strømmer, turbulens og hydrografi innen et forhåndsdefinert havområde for en gitt tidsperiode fra gjeldende fysiske prosesser influert av ytre påvirkninger. Havtilstanden kan beskrives i diskrete lokaliteter utifra en gitt romlig oppløsning. For å kunne beskrive viktige fenomener med en numerisk havmodell, må den romlige oppløsningen være en del finere enn skalaen til de aktuelle fenomenene. Ønsker man eksempelvis å beskrive virveldannelse i Norskehavet fra instabiliteter i en stratifisert skjærstrøm med dominerende lengdeskala på ~10 km, har man behov for havmodell med romlig, horisontal oppløsning på 1-4 km. Ønsker man å beskrive sirkulasjonen i fjorder, vil den romlige oppdelingen ha andre krav (en hovedregel er at fenomener i havet krever en oppløsning på minst fem ganger dens skala for å være oppløst).

Havforskningsinstituttet har over flere år bygget opp kompetanse på bruk av havmodellen ROMS (Regional Ocean Modeling System, se <http://myroms.org>). Dette er en "state-of-the-art" hydrodynamisk modell som inkluderer alle relevante fysiske prosesser. Utgangspunktet for å gi en god beskrivelse av bevegelse og tilstand i hav- og kystområder og fjorder er også at man har tilgjengelig godt oppløste (i rom og tid) atmosfærevariable for hele simuleringsperioden, tidsvariant informasjon langs de åpne rendene (spesielt strømmer og hydrografi), tidevann og reell ferskvannstilførsel (særlig fra elver). Forenklete, idealistiske sirkulasjonsmodeller er utelatt fra denne diskusjonen ettersom de gjerne er designet for helt spesielle områder/tilfeller og/eller til å øke forståelsen bak spesifikke fysiske prosesser. De egner seg ikke for prediksjon av åpne havområder og fjorder.

Det finnes et stort antall ulike havmodeller rundt i verden der noen er fritt tilgjengelige, mens andre er eid av utviklerne. Felles blant alle de numeriske modellene er at de løser de samme fysiske likningene som beskriver bevegelser og utvikling av havtilstanden (bl.a. de primitive likningene). Typiske forskjeller mellom modellene er bruk av vertikalkoordinat (noen bruker z-nivåer, dvs. faste vertikalnivåer i meter, noen bruker tetthet, mens andre bruker terrengfølgende vertikalkoordinat) samt at alle de fysiske likningene (differensiallikninger) løses med ulike numeriske metoder (egentlig så diskretiseres likningene, dvs. de evalueres i diskrete punkter i rom og tid). Valg av vertikalkoordinat er avgjørende for området man skal bruke modellen. ROMS bruker terrengfølgende koordinater, og dette har vist seg velegnet på sokkelområder og grunne havområder. Uansett hva man har å bruke som vertikalkoordinat, så vil det være fordeler og ulemper med disse, men man kan hele tiden arbeide med å minimalisere den ufysiske støyen som kan oppstå i det valgte modellområdet.

Kompetansebygging og utvikling av numeriske havmodeller er svært ressurskrevende, og de fleste institutter/forskningsmiljøer må gjøre et valg av modell. Det er da naturlig å velge en eller to havmodeller som har egenskaper som kan passe til de havområdene hvor interessene ligger. Bakgrunnen for valg av ROMS på Havforskningsinstituttet er at dette er en modell som er designet for regionale områder (selv om den også kan brukes globalt) og som inneholder mange forskjellige numeriske løsninger/skjemaer. En stor fordel med ROMS

fremfor en rekke andre modeller er at man kan velge fra et stort register av numeriske skjemaer der mange har svært høy nøyaktighet. Valg av numeriske skjemaer for strøm, hydrografi og turbulens må tilpasses ulike hav- og kystområder og fjorder avhengig av deres dominerende fysiske prosesser og topografiske egenskaper. Siden man har et slikt stort spenn i modellenes grunnleggende egenskaper, så vil man også finne deres styrker og svakheter i ulike deler av det simulerte havet. Dette medfører også at man ikke kan peke på én modell som er best overalt. Det er også verd å nevne at ROMS har et aktivt, internasjonalt brukermiljø som kontinuerlig bidrar til utvikling av modellkoden, og at den er tilpasset de fleste tungregneanlegg i verden.

Det som virkelig betyr noe når det gjelder havmodellering, er modellens evne til å gjenskape virkeligheten. Validering mot målinger er derfor en viktig øvelse innen modellering, og dette er også måten man kan øke kunnskapen om modellens styrker og svakheter. Man har da også et utgangspunkt for å finne ut hvor forbedringer av modellkoden bør iverksettes. Det er viktig å påpeke at ingen numeriske havmodeller er i stand til å gi en nøyaktig beskrivelse av tilstanden på en lokalitet til et bestemt tidspunkt, men en god modell bør kunne gjenskape den observerte statistikken (over rom og/eller tid). Validering bør derfor utføres for et område eller for en lokalitet over tid, og det vil da være modellens evne til å gjenskape dette som er avgjørende for å peke på dens kvalitet.

Flere nasjonale institutter som arbeider med havmodellering (Havforskningsinstituttet, met.no, NIVA, Sintef, m.fl.) har tatt i bruk ROMS, eventuelt ved siden av andre hydrodynamiske modeller. Mens Havforskningsinstituttet har relativt lang erfaring med bruk av ROMS for nordiske havområder, er Meteorologisk institutt nå i ferd med å bytte til ROMS i sitt operasjonelle havvarslingssystem. I flere omfattende modell-sammenlikningsarbeider har det vist seg at ROMS validerer svært godt mot målinger av både strøm og hydrograf. Kompetansebygging av ROMS på Havforskningsinstituttet og dens gode egenskaper til å gjenskape dynamiske tilstander i havet, er altså grunnen til at denne er og vil bli valgt i det oseanografiske arbeidet innen naturtypekartlegging.

Takk

Vi vil takke Steinar Dalheim Eriksen (Storfjorden kommune) for entusiastisk og uvurderlig hjelp, Pål Arne Bjørn (NOFIMA) for innhenting av strøm og hydrografiske data, ”Nasjonalt program for kartlegging av marine naturtyper” v/programansvarlig Anne-Britt Storeng (Direktoratet for naturforvaltning) for velvillig samarbeid og støtte i forbindelse med innsamling av eggdata, Steinar Larsen (Fiskeridirektoratet/leder styringsgruppe) for råd og hjelp underveis i prosjektet samt Fiskeri og Havbruksnæringens Forskningsfond (FHF) og Landsdelsutvalget (LU) for økonomisk støtte slik at prosjektet kunne gjennomføres. I tillegg takkes Jan-Henrik Sandberg (Norges Fiskarlag), Knut Nergård (Fylkesmannen i Troms), Trude Nordlie (FHL) og Einar Dahl (Havforskningsinstituttet) for deres konstruktive deltakelse i prosjektets styringsgruppe.

Flødevigen, 28.12.2009

Torjan Bodvin
Prosjektleder

Retur: Havforskningsinstituttet, Postboks 1870 Nordnes, NO-5817 Bergen



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
Institute of Marine Research

Nordnesgaten 50 – Postboks 1870 Nordnes
NO-5817 Bergen
Tlf.: +47 55 23 85 00 – Faks: +47 55 23 85 31
E-post: post@imr.no

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
AVDELING TROMSØ

Sykehusveien 23, Postboks 6404
NO-9294 Tromsø
Tlf.: +47 77 60 97 00 – Faks: +47 77 60 97 01

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
FORSKNINGSSTASJONEN FLØDEVIGEN

Nye Flødevigveien 20
NO-4817 His
Tlf.: +47 37 05 90 00 – Faks: +47 37 05 90 01

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
FORSKNINGSSTASJONEN AUSTEVOLL

NO-5392 Storebø
Tlf.: +47 55 23 85 00 – Faks: +47 56 18 22 22

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
FORSKNINGSSTASJONEN MATRE

NO-5984 Matredal
Tlf.: +47 55 23 85 00 – Faks: +47 56 36 75 85

AVDELING FOR SAMFUNNSKONTAKT
OG KOMMUNIKASJON

Public Relations and Communication
Tlf.: +47 55 23 85 00 – Faks: +47 55 23 85 55
E-post: informasjonen@imr.no

www.imr.no

