

Kartlegging av gytefelt Gytefelt for kysttorsk

Sigurd Heiberg Espeland, Jon Albretsen, Kjell Nedreaas,
Hanne Sannæs, Torjan Bodvin og Frithjof Moy




Kartlegging av gytefelt



Gytefelt for kysttorsk

Sigurd Heiberg Espeland, Jon Albretsen, Kjell Nedreaas,
Hanne Sannæs, Torjan Bodvin og Frithjof Moy



Bergen, januar 2013

<h1>PROSJEKTRAPPORT</h1>  <p>HAVFORSKNINGSINSTITUTTET INSTITUTE OF MARINE RESEARCH</p> <p>Nordnesgaten 50, Postboks 1870 Nordnes, 5817 BERGEN Tlf. 55 23 85 00, Fax 55 23 85 31, www.imr.no</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">Tromsø</td> <td style="text-align: center;">Flødevigen</td> <td style="text-align: center;">Austevoll</td> <td style="text-align: center;">Matre</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">9294 TROMSØ</td> <td style="text-align: center;">4817 HIS</td> <td style="text-align: center;">5392 STOREBØ</td> <td style="text-align: center;">5984 MATREDAL</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Tlf. 55 23 85 00</td> <td style="text-align: center;">Tlf. 37 05 90 00</td> <td style="text-align: center;">Tlf. 55 23 85 00</td> <td style="text-align: center;">Tlf. 55 23 85 00</td> </tr> </table>		Tromsø	Flødevigen	Austevoll	Matre	9294 TROMSØ	4817 HIS	5392 STOREBØ	5984 MATREDAL	Tlf. 55 23 85 00	Tlf. 37 05 90 00	Tlf. 55 23 85 00	Tlf. 55 23 85 00	Distribusjon: Åpen
Tromsø	Flødevigen	Austevoll	Matre											
9294 TROMSØ	4817 HIS	5392 STOREBØ	5984 MATREDAL											
Tlf. 55 23 85 00	Tlf. 37 05 90 00	Tlf. 55 23 85 00	Tlf. 55 23 85 00											
		HI-prosjektnummer												
		Oppdragsgiver(e):												
		Oppdragsgivers referanse:												
		Dato:												
Rapport: Fisken og havet	Nr 1-2013	Program:												
Tittel (norsk/engelsk): Kartlegging av gytefelt Gytefelt for kysttorsk Mapping spawning areas Spawning areas for coastal cod		Forskningsgruppe: 426 Fiskeridynamikk 432 Oseanografi 435 Populasjonsgenetikk 427 Bunnsamfunn og habitater												
Forfattere: Sigurd Heiberg Espeland, Jon Albretsen, Kjell Nedreaas, Hanne Sannæs, Torjan Bodvin, Frithjof Moy		Antall sider totalt: 43												
Sammendrag (norsk): Gytefelt er et nøkkelområde for reproduksjon hos fisk, og gytefelt for kysttorsk kartlegges gjennom "Nasjonalt program for kartlegging av marine naturtyper". Målsettingen med kartleggingen er å stedfeste og verdisette gytefelt for bruk og forvaltning. I denne studien går vi gjennom datagrunnlaget for kartlegging av gytefelt, både intervjubasert lokal økologisk kunnskap og feltinnsamling av eggprøver. Vi diskuterer hvordan gytefelt lokaliseres på bakgrunn av intervju og tettheter av egg og hvordan driften av eggene estimeres gjennom bruk av oseanografiske modeller. Alle gytefeltene verdisettes på bakgrunn av mengder av egg og drift av egg mellom områder. Vi diskuterer også øvrige undersøkelser som gjøres i forbindelse med gytefeltene, som genetiske undersøkelser for å skille ulike arter og for å skille kysttorsk og skrei.														
Summary (English): Spawning areas are key areas in life history of fish, and spawning areas for coastal cod are mapped in "national programme for mapping of marine nature types". The aim of the mapping is locating and evaluation of spawning areas for use in the management of marine resources. In this study, we discuss the data used in mapping. This includes both local ecological knowledge and the field surveys collecting newly spawned cod eggs. We discuss how spawning areas are to be located based on these data, and how the drift of eggs after spawning is estimated by using oceanographic models and particle drift. All spawning areas will have a value based on the number of eggs and the relative drift of eggs in relation to the spawning area. Finally, we also discuss some of the other methods used in relation to mapping of spawning areas, for instance genetic screening and separation of different species or north east arctic cod and coastal cod.														

<p>Emneord (norsk): Gytefelt Kysttorsk Kartlegging Strømmodellering Partikkeldrift</p>	<p>Subject heading (English): Spawning areas Coastal cod Marine habitat mapping Ocean current modelling Particle drift</p>
<p> Prosjektleder</p>	<p> Programleder</p>

Innhold

1 Introduksjon.....	7
1.1 Kartlegging av gytefelt.....	7
1.2 Introduksjon til verdisetting av naturtyper.....	9
1.3 Verdisetting av gytefelt for kysttorsk.....	9
1.4 Definisjon av gytefelt i tid og rom.....	10
2 Metoder for kartlegging av gytefelter – intervjuundersøkelser.....	12
2.1 Status intervjuundersøkelser.....	12
2.2 Lokal økologisk kunnskap (løk).....	12
2.3 Eksempel: Nordåsvannet, Hordaland.....	13
3 Metoder for kartlegging av gytefelter – feltundersøkelser.....	15
3.1 Feltundersøkelser – geografisk og temporal design.....	15
3.2 Feltundersøkelser – observasjoner av gytefelt.....	15
3.3 Feltundersøkelser – håvtrekk; type og design.....	16
3.4 Arstbestemmelse – oppbevaring.....	17
3.5 Fotografering.....	18
3.7 Genetisk prøvetaking.....	20
3.8 Genetiske undersøkelser.....	20
4 Analyser – strømmodellering.....	22
4.1 Strømmodeller.....	22
4.2 Strømmodellering for kartlegging av gytefelt.....	26
4.3 Partikkeldrift.....	29
4.4 Vertikal posisjon og drift.....	29
4.5 Begrensninger i modellområde.....	31
5 Analyser – lokalisering av gytefelt.....	33
5.1 Intervjubasert.....	33
5.2 Eggdata, stadier og utvikling.....	33
5.2 Signaler og mønstre i egg tettheter.....	33
5.3 Potensielle gytefelt.....	34
5.4 Eksempel Nordland/Troms.....	35
6 Analyser for verdisetting.....	36
6.1 Grunnleggende analyse/ middeldrift.....	36
6.2 Fordelingen av egg etter drift.....	36
6.3 Relativ eggmengde.....	38
6.4 Eggdrift – vurderinger av eggfordeling.....	38
6.5 Avgrensning.....	39
7 Diskusjon og konklusjon.....	40
7.1 Verdisetting – indeks og verdi.....	40
7.2 Konsekvenser og premisser for verdisettingen.....	40
8 Referanser.....	43

1 Introduksjon

1.1 Kartlegging av gytefelt

Gytefelt er et nøkkelområde for reproduksjon hos fisk. For å forvalte bestander av fisk på en bærekraftig måte er det ikke bare viktig å regulere uttaket, men også beskytte bestandens gytefelt. Utbygging og tiltak kan redusere verdien av et gytefelt gjennom å påvirke rekruttering og overlevelse. Mange arter, som for eksempel kysttorsk har gytefelt i kystnære strøk der presset er stort fra forskjellige menneskelige aktiviteter. Eksempler på dette er dumping av fyllmasse, mudring og lokalisering av akvakulturanlegg. Dette kan føre til at gytefeltet blir fysisk endret, at fisken blir hindret i å gyte eller at gytefeltet blir genetisk utvannet gjennom tilførsel av fisk fra andre bestander. Ulike tiltak kan på forskjellige måter føre til fysiske endringer i miljøet fiskene er avhengige av. Det er likevel stor usikkerhet knyttet til hvilken effekt og hvor stor effekt forskjellige tiltak vil ha på et gytefelt.

Med bakgrunn i gytefeltets betydning og behovet for å kunne være 'føre var' er gytefelt for fisk innlemmet som en av nøkkelområder som kartlegges i "Nasjonalt program for kartlegging av marine naturtyper". Det er også av viktig betydning at Fiskeridirektoratet har gjort en kartlegging av gytefelt gjennom intervju-undersøkelser, men at disse ikke er testet i forhold til biologiske vitenskapelige undersøkelser. Kartleggingen i Naturtypeprogrammet er basert på undersøkelser av egg tetthet på gytefelt og komplimenterer således intervju-undersøkelsene basert på forekomst av gytemoden fisk.

Gytefelt er et nøkkelområde og således fundamentalt forskjellig fra eksempelvis naturtypene åleggssenger og tareskog. Disse forskjellene ligger bla. i at området er et funksjonelt gytefelt bare i noen tider på året, mens til andre tider vil ikke inngrep nødvendigvis påvirke gytefeltet. Men dersom biotopen ødelegges for eksempel ved menneskelig aktivitet, på andre tider av året så kan det likevel skade området som gytefelt. Gytefelt er heller ikke mulig å avgrense nøyaktig siden både fisk, egg og larver vil bevege seg i vannet innen en sesong og variere mellom år. Det vil derfor ikke være gitt at et inngrep innenfor et gytefelt nødvendigvis påvirker gytefeltets funksjon. På samme måte kan et inngrep utenfor gytefeltet påvirke gytefeltets verdi og funksjon gjennom for eksempel regulering av vassdrag som endrer strømmønsteret i en fjord. Det er viktig at bruken av data om gytefelt som nøkkelområde i forvaltning skjer i samsvar med de biologiske premissene som ligger i kartleggingen.

Gyting er en kritisk prosess hos fisk hvor betydningsfulle påvirkninger kan være svært forskjellige fra senere i livet. Noen fisker gyter relativt få fastsittende egg, mens eksempelvis torsk gyter mange små egg over lang tid og investerer lite energi i hvert egg. Ulike valg av livshistorie vil påvirke hvordan et gytefelt fungerer og hvilke ytre faktorer som vil være viktig i forhold til gytefeltets funksjon og produksjon. Det er også viktig å bemerke at de gytefeltene vi finner i dag har vært vellykkede gytefelt opp gjennom fiskens evolusjonære historie. Fisker gyter der overlevelsen til avkommet har vært best i forhold til områder der det ikke er gyting. Likevel er denne historien tilpasset miljøet som har eksistert og ikke nødvendigvis forholdene slik de er i dag.

Fiskens valg av gytelokalitet og gytetidspunkt vil være avgjørende for en arts bestandsstruktur gjennom spredning av egg og larver. Dersom planktoniske egg og larver fra forskjellige områder blandes vil dette gi opphav til en ensartet populasjonsstruktur med store genetiske likheter mellom geografiske områder og mellom generasjoner. Hvis derimot egg og larver holdes tilbake, for eksempel gjennom en retensjon av pelagiske egg i strøm, vil dette gi opphav til en populasjonsstruktur på finere skala. Det siste vil bety at populasjonene langs kysten genetisk kan være forskjellige mellom geografiske områder. Dette kan også gi opphav til lokale tilpasninger til lokale miljøforhold. Mange små populasjoner vil være genetisk mer sårbare ovenfor både tilfeldig genetisk drift (genetisk endring som skyldes tilfeldigheter og ikke at noen gener er mer overlevelsesdyktige) og ytre påvirkninger. Populasjonsstrukturen vil likevel ikke bare være påvirket av drift av egg, men også være påvirket av bevegelse hos voksne individer i tillegg til drift av egg og larver. Arter som gyter i områder hvor egg og larver blir spredd kan ha en tydelig populasjonsstruktur dersom den voksne fisken vender tilbake til gytefeltet der den selv ble født. Siden genetisk struktur er av viktig betydning for et gytefelt, er genetisk undersøkelser av egg også inkludert som metode under kartlegging av gytefelt i nasjonalt program for kartlegging av marine naturtyper.

Topografien langs vår 100915 km lange kyst varierer stort også under vann (Statens Kartverk 2011). På samme måte kan gytestrategien variere mellom populasjoner innen en art. Dette betyr at gytefeltene som observeres vil kunne variere både med tanke på geografisk størrelse (fra små gytefelt i små fjorder på Sørlandet, til store gytefelt i åpne havbukter i Nord-Norge), mengde egg både på og utenfor gytefeltet, den geografiske fordelingen av egg innenfor gyteområde og graden av spredning. Dette betyr også at et område betegnet som et gytefelt ikke nødvendigvis vil være identisk i alle deler av landet. Det betyr også at et lite gytefelt i et lite gytefelt på Sørlandet kan være like viktig for de små lokale bestandene som et stort gytefelt med mye egg i er for den lokale bestanden i Nord-Norge. Ut fra dette blir også alle gytefelt som kartlegges verdisatt.

Denne rapporten har en todelt hensikt. For det første skal den fungere som en dokumentasjon på hvilke metoder som brukes i kartlegging og verdisetting av gytefelt som nøkkelområde i nasjonalt program for kartlegging av marine naturtyper. Dette er for at disse metodene skal kunne vurderes kritisk av fagfeller og eventuelt brukes i kartlegging av gytefelt for andre arter eller i andre områder. På grunn av dette vil metodene bli beskrevet så nøyaktig som mulig slik at resultatene fra kartleggingen som er gjort kan reproduseres.

På den andre siden skal denne rapporten også fungere som en veileder for brukere av naturtypen for å illustrere hvilke data og metoder som er brukt for å lokalisere, avgrense og verdisette gytefeltene som er kartlagt. De biologiske premissene som er brukt i denne prosessen vil være viktige i forhold til hva de kartlagte gytefeltene kan brukes til og hva de ikke sier noe om. For å gjøre dette til en mer brukbar veileder er hver av de litt tekniske kapitlene 2-6 forsynt med et forenklet sammendrag i begynnelsen.

1.2 Introduksjon til verdisetting av naturtyper

Verdisettingen av naturtyper har som hensikt "... å kunne skape større legitimitet for forvaltningsarbeidet med naturtypene. Verdisetting vil på denne måten kunne legge til rette for en mer aktiv forvaltning av det biologiske mangfoldet." (DN Håndbok). Verdisettingen skiller mellom tre verdikategorier: A – Nasjonalt viktig, B – Regionalt viktig og C- Lokalt viktig. Det nasjonale programmet for kartlegging av marine naturtyper har i utgangspunktet ikke prioritert å kartlegge C forekomster. Det er et ønske om at verdisettingen er sammenlignbar på tvers av land – sjø. Som grunnlag for verdisettingen skilles det mellom to sett med kriterier: Kulturbetingede og økologiske. Utgangspunktet for de økologiske kriteriene er hvilken økologisk funksjon naturtypen har (størrelse, alder, produksjonsrate, etc) og i hvilken grad de er sårbare for menneskelig påvirkning. De kulturbetingede kriteriene går på menneskenes opplevelse av naturtypen og bruk av naturtypene (herunder nevnt: ”gir naturforståelse, betydning som friluftsområde, bruk i undervisning /forskning, lange dataserier – kunnskap om utvikling”).

Det er viktig å bemerke at verdikriteriene ikke direkte rangerer naturtypene/nøkkelområdene etter økonomisk betydning. Selv om utnyttelse av en ressurs kan tolkes inn under de kulturelt betingede kriteriene er dette ikke den ene og alene målestokken på en naturtypes/nøkkelområdes viktighet.

1.3 Verdisetting av gytefelt for kysttorsk

I motsetning til naturtypene er gytefelt et nøkkelområde, og fraviker fra naturtypene både i funksjon og avgrensning (tidsmessig og geografisk). Siden gytefelt for fisk varierer i stor grad etter art, har det vært fokusert på torsk, og da gytefelt for kysttorsk. Dette har vært av ressursmessige hensyn og begrunnet av at gytefelt for kysttorsk gjerne finnes i kystnære strøk hvor presset på naturverdiene er større.

Kysttorsken har vist seg flere steder å ha en populasjonsstruktur som består av mange små bestander med avgrensede gytefelt (Knutsen *m. fl.* 2003, Espeland *m. fl.* 2008, Espeland *m. fl.* in prep). Noen av disse populasjonene har også vist seg å ha lokale tilpasninger, et mønster som også kan være gjeldende for andre deler av kysten. Lokale tilpasninger kan fungere som buffer mot klimaendringer.

Inkluderingen av gytefelt for kysttorsk med bakgrunn i et populasjonsdynamisk perspektiv, betyr også at gytefeltene ikke er verdisatt etter økonomiske kriterier. For gytefelt er det antatt at produktivitet vil være det mest nærliggende kriteriet å verdisette etter. Størrelse kan ha en betydning, men mest indirekte via produktivitet. Et stort gytefelt med lav tetthet av egg kan være mindre viktig for de lokale bestandene enn et geografisk lite område med høy tetthet av egg.

1.4 Definisjon av gytefelt i tid og rom

Gytefeltet som nøkkelområde er et område som er sentralt for en bestands evne til å produsere nye rekrutter gjennom gytingen. Området bør harmonere med det området der påvirkning fra relevante tiltak kan påvirke rekrutteringen gjennom gyting.

I normal bruk er et gytefelt et område der man antar at fisk gyter med bakgrunn i observasjoner av (fiske etter) gytende fisk. Observasjoner av gytemoden fisk er likevel påvirket av flere faktorer som gjør at et godt område for å fiske gytemoden fisk ikke trenger å være et gytefelt og et gytefelt ikke nødvendigvis vil være et godt område for å fiske gytemoden fisk.

Biologisk vil gyting betegne tidspunktet når eggene slippes. Dette er likevel for begrenset både i tid og rom til å ta opp de sentrale utfordringene i forhold til et gytefelt. At eggene slippes er heller ikke den eneste kritiske fasen i prosessen som leder fra voksne gytemodne individer til nye rekrutter. Forut for gytingen skjer en modning av kjønnsceller, samtidig som voksne gytemodne fisk kan vandre inn mot et gytefelt (Robinchaud og Rose 2001, Svedäng *m. fl.* 2007, Thorold 2010). Mange fisk kan ha krav til den eksakte lokaliteten der leken og selve gytingen foregår, selv om dette kan være et geografisk lite område. Umiddelbart etter gyting vil de pelagiske eggene kunne spres i et større område. I eggene skjer en fosterutvikling som fører til at en larve klekkes. Frem til larven har utviklet nok egenbevegelse til å bestemme sin egen lokalitet vil det pelagiske individet være utsatt for oseanografiske prosesser. Fosterutviklingen vil gjerne være bestemt av temperaturen i vannet, og varigheten av den pelagiske fasen vil derfor kunne variere (den blir gjerne lengre ved nordlige breddegrader). Når larven ikke lenger kan leve av medfødt energi, vil den være avhengig av å finne et godt oppvekstområde. Etter dette kan det også være kritiske perioder som vil være avgjørende for å bestemme mengde rekrutter som vokser inn i den voksne populasjonen.

De nevnte prosessene kan ta form over lang tid og i et stort geografisk område. Det er ikke hensiktsmessig å definere alt inn i gytefeltet. Det vil samtidig være for snevert og bare definere området der eggene slippes siden dette ikke vil ta hensyn til område der eggene holder seg i en pelagisk fase. Den pelagiske fasen er sårbar og tiltak som påvirker for eksempel vannkvalitet og strømningsmønster vil kunne påvirke gytefeltets funksjon radikalt gjennom denne perioden. I gytefeltkartleggingen defineres gytefeltet i tid til å omfatte perioden fra den voksne fisken er samlet på gyteplassen til og med eggenes planktoniske fase.

Siden det er vanskelig å følge grupper av fisk over lengre tid er det vanskelig å observere når fisken gyter og hvor eggene driver. Gytefeltene som kartlegges vil derfor være basert på indirekte observasjoner eller estimater av disse prosessene. Dette vil for torsk sin del kunne omfatte observasjoner av fisk med rennende rogn, observasjoner av nygytte egg, observasjoner av eldre egg og antagelser om drift av eggene.

Definisjonene som brukt i "Naturtypekartleggingsprogrammet" legger større vekt på den planktoniske fasen og utfyller bruken av begrepet gytefelt brukt i mange andre praktiske

sammenhenger, samtidig som den legger mindre vekt på observasjoner av fisk med rennende rogn siden områder der fisken samles før gyting ikke er inkludert. Dette betyr at definisjonene på gytefelt som brukt her har en noe mer biologisk - populasjonsdynamisk tilnærming enn gytefelt observert gjennom kommersielt fiske på gytemoden fisk. Siden det er vanskelig å skille områder der gytemoden fisk samles og selve gytefelter ved å se på fangst av fisk med rennende rogn, må metodikken fokusere også på andre typer observasjoner for å identifisere gytefelt.

Hensikten med å inkludere den pelagiske fasen av egg/ larver er for å fange opp en viktig periode i livsstadiet til torsk. I denne perioden hvor posisjonen ikke er styrt av egenbevegelse, er den sårbar for helt andre påvirkninger enn i resten av livet. En annen hensikt er å kunne fokusere på retensjon/ spredning av egg som er en viktig mekanisme for å skape eller bryte ned populasjonsstruktur. Gytefelt der eggene blir holdt igjen av strøm vil kunne representere en lokal populasjonsstruktur som kan representere en verdi. Disse forholdene har vært ønskelig å inkludere i gytefelt for å gjøre nøkkelområdet anvendelig i forhold til aktuelle inngrep og relevant i forhold til konsekvenser av tiltak.

Geografisk vil ikke gytefeltet kunne sies å ha noen klart definert grense. En bestands gytefelt avgrenses derfor som det område der hoveddelen av avkommet befinner seg i den planktoniske fasen. Dette er en hensiktsmessig definisjon for relativt stasjonære bestander der egg og larver har en tendens til å holde seg i et begrenset område. For bestander som gyter i åpne farvann og er utsatt for større og mer tilfeldig spredning av avkom vil området etter denne definisjonen kunne bli for stort, varierende og uanvendelig. Det er verdt å merke at ut fra denne definisjonen kan områder bli betegnet som et gytefelt uten at det er et utpreget godt område å fiske etter gytemoden fisk siden det her er fokusert på retensjonsområder. Samtidig kan gode fiskeplasser for gytemoden fisk være utelatt fra gytefeltene siden de er viktigst som fiskeplasser og ikke som gyteplasser.

2 Metoder for kartlegging av gytefelt – intervjuundersøkelser

Sammendrag

Fiskeridirektoratet har gjort en kartlegging av gytefelt basert på intervjuer med lokale kjente. Et område som er påtegnet basert på intervjuinformasjon vil ofte være et område der det er godt fiske etter gytmoden fisk. Det kan være et gytefelt, men kan også godt bare være et område med godt fiske. Hvor man fanger gytmoden fisk vil ikke bare være påvirket av hvor den gytmodne fisken er, men også hvordan man fisker (garn, not, line, ruser, etc) og hvor man fisker. Områder der fisken er ansett som å ha bedre kvalitet, gjerne i ytre områder, kan være bedre kjent enn områder der fisken er ansett som dårlig. Eksempler på dette kan være at gytefelt er mindre kjent i områder der det er kostholdsråd mot å spise fisk på grunn av forurensing. For de lokale bestandene av kysttorsk kan det likevel være viktige gytefelt i områder som er mindre attraktive å fiske. Til tross for dette kan intervjubaserte gytefelt fange opp historisk informasjon som kan være vanskelig å spore med feltinnsats.

2.1 Status intervjuundersøkelser

I mange tilfeller finnes allerede god kunnskap om gytefelt blant folk som fisker og bruker sjøen. Fiskeridirektoratet har gjort en innsamling av denne kunnskapen blant lokalt kjente fra Rogaland til Finnmark. Agder og Oslofjorden er kartlagt i intervju gjennom ”Nasjonalt program for kartlegging av marine naturtyper”.

Intervjubaserte gytefelt er tegnet inn i kart og finnes på Fiskeridirektoratets kartsider. Andre kilder, som vitenskapelig prøvefangst av gytmoden fisk, vil også kunne benyttes som bakgrunnsinformasjon for hvor gytefelt er lokalisert. Felles er likevel at disse dataene har ulikt opphav og er innhentet med ulik hensikt. Det er derfor nødvendigvis ikke underlagt de samme intensjoner med tanke på omfang av område registrert og kvaliteten på dataene. De vil kunne brukes til å gi en indikasjon på hvor det finnes gytefelt, men vil ikke nødvendigvis kunne brukes til å verifisere om et område faktisk er et aktivt gytefelt. I den grad de også bare finnes som inntegnede felter, uten noen form for kvantifisert betydning, kan de heller ikke brukes til å gjøre en vurdering av verdien av et område relativt sett.

2.2 Lokal økologisk kunnskap (løk)

Eksisterende kunnskap om hvor det er gytefelt vil i hovedsak være basert på hvor fiskere får gytmoden fisk. Dette kan være, men er ikke nødvendigvis et gytefelt. Strengt tatt vil dette være ”en god fiskeplass for gytmoden/ gytende fisk”. Det kan være tilfeller der moden fisk samler seg i områder før den beveger seg mot selve gytefeltet. Det kan også være at de gode fiskeplassene ligger i utkanten av selve gytefeltet. Disse områdene kan være registrert fremfor det egentlige gytefeltet fordi redskapen som brukes til å samle fisken begrenser hvor det samles inn fisk. Det kan for eksempel være at gytefeltene vil være forskjøvet mot land der det er lettere å fiske med garn. Torsk er en porsjonsgyter som gyter over lang tid (februar til mai avhengig av temperaturen på vannet). I denne tiden kan den oppholde seg i et stort område selv om selve hovedgyting skjer i et bestemt område. Videre kan det være vanskelig å avgjøre om en fisk som er rennende når den fiskes strengt tatt er gytende i sjøen. Trykkforskjeller

mellom dypet der fisken lever og i båten når den er fisket kan føre til at fisken er rennende i båten, men ikke var gyttende i sjøen. Observasjoner av rennende fisk vil derfor kunne brukes som en indikasjon på at det er gyting et sted i nærheten i et område, men ikke nødvendigvis til nøyaktig å fastsette hvor selve gytingen foregår.

Gytefelt basert på LØK kan ikke antas å være geografisk objektiv. Med få informanter vil hvor vedkommende er kjent og vant med å fiske, kunne påvirke hvilke gytefelt som er kjent. Gytefelt for attraktive arter og attraktive bestander (fisk som lever i ytre områder med rent vann kontra fisk som lever nær industriområder), vil også kunne være bedre kjent enn gytefelt for fisk som lever i områder der det av for eksempel forurensningshensyn fiskes lite. Med mange informanter vil likevel dette kunne nærme seg en geografisk objektiv dekning.

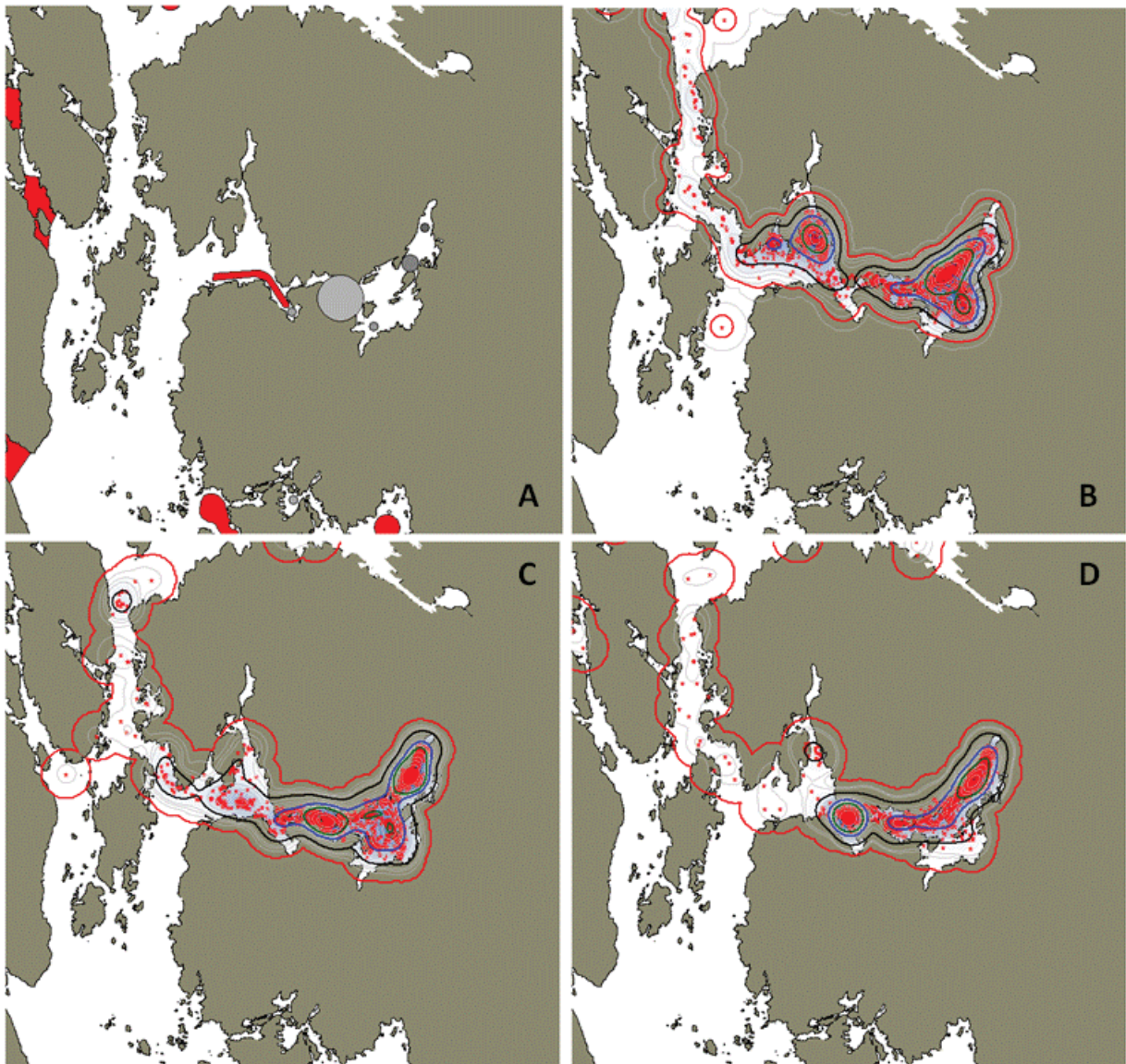
Innsamling av data fra lokal kjente vil også kunne være påvirket av at informanten ikke ønsker å bidra med riktig informasjon eller kan ha egeninteresse av å manipulere informasjonen. Det kan være at gode fiskeplasser holdes hemmelige for å beholde dem selv. Det kan også være at informanten feilaktig oppgir steder til å være gytefelt for å hindre inngrep som informanten har andre utenforliggende interesser av å hindre. Dette vil også kunne påvirkes av medieoppmerksomhet rundt for eksempel forhold mellom gytefelt og oppdrettsanlegg.

På tross av nevnte problemene vil likevel intervjubasert informasjon innholde historisk informasjon som det er vanskelig å skaffe gjennom feltinnsamling. Feltarbeid er tid og kostnadskrevenende og kan være utsatt for feilkilder som gjør at noen gytefelt ikke blir oppdaget.

2.3 Eksempel: Nordåsvannet, Hordaland

I Hordaland var det gjennom intervju påtegnet et gytefelt ved innløpet til Nordåsvannet (Figur 1). Gjennom feltundersøkelser ble det funnet mye større mengder egg inne i selve Nordåsvannet enn utenfor, men her var det ikke påtegnet gytefelt gjennom intervjuinformasjon. Dette kan ha sammenheng med at Nordåsvannet ikke blir betraktet som et attraktivt fiskeområde samt at fiskemuligheter fra land er gjort vanskelige gjennom veitbygging. Modellering av strøm i området viste en tydelig retensjon av egg inne i selve vannet og kan være med å skape en populasjonsstruktur med en stedefest bestand i området. I ettertid er det for oss blitt kjent at eldre fiskere har kunnskap om gyteplasser for torsk i Nordåsvannet, men at denne informasjonen da mest sannsynlig ikke har vært fanget opp gjennom intervju-undersøkelsene.

I intervjubasert informasjon vil likevel kunne innholde historisk informasjon som det er vanskelig å skaffe gjennom feltinnsamling. Områder som ikke er gode gytefelt i dag kan ha vært gode gytefelt på et tidligere tidspunkt. Dersom bestandene som er avhengige av disse gytefeltene skal bygges opp igjen vil det være viktig å ta vare på disse gytefeltene.



Figur 1. Panel A viser stasjoner der det ble funnet egg som grå sirkler. Størrelsen på sirklene er skalert i forhold til mengde egg som ble funnet. Røde områder er fremkommet som gytefelt gjennom intervju. Figuren viser hvordan det ble funnet store mengder egg (høyeste antallet på en stasjon i Hordaland i 2009) ble funnet i et område som ikke fremkom gjennom intervju.

Panel B, C og D viser enkeltegg som røde prikker etter at de har drevet rundt i en strømmodell i hhv 10 dager (B), 20 dager (C) og 30 dager (D). Linjene viser forskjellige deler av fordelingen av egg, hvor den ytterste røde linjen er område der 95 % av eggene er. De øvrige linjene videre innover er 75 %, 50 % og 25 %.

Etter 30 dager er en stor andel av eggene (~75%) fortsatt i Nordåsvannet eller like utenfor terskelen. I område ligger også Håkonsvern som i form av å være et militært område er steng for fiske. Dette kan likevel være et godt gytefelt.

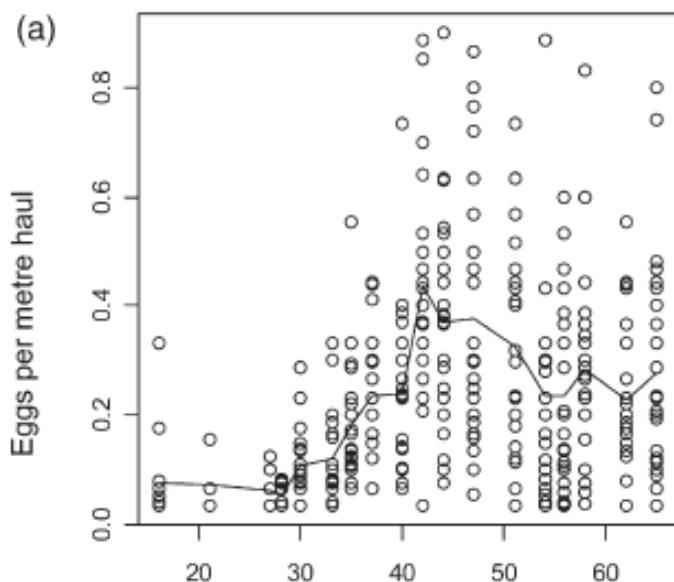
3 Metoder for kartlegging av gytefeltet – feltundersøkelser

Sammendrag

For å kartlegge gyteaktivitet gjøres innsamling av nygytte torskkeegg. Innsamlingen skjer ved at en standardisert håv trekkes fra 50 meter og vertikalt opp gjennom vannmassene på forhåndsbestemte stasjoner. På grunn av begrensninger i logistikk gjøres opp mot 20-25 stasjoner hver dag i en periode på 10-14 dager. Stasjonene skal dekke både områder der det er gytefelt og områder der det ikke er forventet å finne gytefelt. Alle eggene artsbestemmes og antallet torskkeegg på en stasjon blir regnet som et signal på hvor mye gyteaktivitet det er i område. Det etterstrebtes å ta bilde av alle egg smat at eggene lagres for å kunne brukes i forhold til genetiske undersøkelser.

3.1 Feltundersøkelser – geografisk og temporal design

Gytingen hos torsk er ofte styrt av fysiske forhold i sjøen, for eksempel temperatur som gjør at tidspunkt og varighet av gytingen kan variere. En full dekning av gytetiden vil innebære kontinuerlig innsamling av felldata både før under og etter gytetiden for å være sikker på at tidspunktet for gytingen er dekket. På samme måte vil en komplett geografisk dekning innebære innsamling både på og utenfor gyteområder, med stasjoner som ligger så tett at alle reelle variasjoner i tetthet av egg fanges opp i stasjonene. En tilnærmet temporal fordeling er mulig å samle ved å undersøke samme lokalitet på diskrete tidspunkter gjennom hele gytetiden (jfr. Figur 2), men dette er ressurskrevende og gir en dårlig geografisk dekning i forhold til ressursbruk.



Figur 2. Antall egg pr meter trekk for 26 håvtrekk hver dag tatt på et gytefelt gjennom en gyteperiode. X-aksen går fra 8. februar (dag 1) til 12 April (dag 64). Trekkene ble gjort fra 30 m og opp til overflaten (fra Espeland *m. fl.* 2007).

3.2 Feltundersøkelser – observasjoner av gytefelt

Det er vanskelig å direkte observere gyting i vannet og indirekte metoder benyttes som fiske etter fisk med rennende rogn eller innsamling av nygytte egg. Begge typene observasjoner vil indikere hvor det foregår gyting, men begge metodene vil kunne gi noe ulikt utfall. I fiske etter fisk med rennende rogn vil det som tidligere nevnt være vanskelig å skille mellom

gytemoden fisk og gytende fisk. Denne typen observasjon gir et fokus på foreldregenerasjonen av fisk og vil også kunne omfatte variasjoner i fangbarheten i tillegg til variasjon i mengde gytende fisk. Observasjoner av torskeegg vil også kunne indikere hvor gytingen har foregått, men vil nesten alltid også innebære en kort periode med drift mellom gyting og innsamling. Antall egg som samles inn i felt vil være en realisering (med tilfeldig støy) av den geografiske tetthetsfordelingen av egg i vannet. Fordelingen av egg med forskjellig utviklingsstadier er ikke nødvendigvis statistisk siden eggene driver med vannmassene mens de utvikles. Av denne grunn er det viktig å undersøke fordelingen av nygytte egg for å komme nærmest mulig lokaliteten der eggene er gytt. Ettersom områder der eggene holdes tilbake etter gyting er definert med som en viktig del av et gytefelt, gjøres kartleggingen av gytefelt i naturtypekartleggingen som observasjoner av tettheter av egg fremfor observasjoner av rennende fisk.

Den sanne tetthetsfordelingen av egg i vannet er ikke mulig å finne annet enn tilnæringsvis gjennom diskrete stasjoner både på og utenfor antatt gytefelt. Optimalt sett må disse undersøkes på samme tidspunkt for å unngå geografiske-temporale interaksjoner.

Objektiv innsamling geografisk og temporalt er ikke mulig og må tilnærmes i forhold til ressurshensyn. Antall stasjoner som undersøkes vil være avhengig av tiden det tar å gjennomføre en stasjon og gangtid mellom stasjoner.

I gytefeltkartleggingen har det normale antallet kartlagte stasjoner vært mellom 20 og 30 hver dag (avhengig av hvor tett stasjonene ligger samt mengden egg). For at ikke det skal bli for stor tidsmessig avstand mellom de første stasjonene og de siste stasjonene som tas i løpet av en feltsesong er feltarbeidet begrenset til 10-14 dager.

3.3 Feltundersøkelser – håvtrekk; type og design

Tettheten av egg i vannet vil være heterogen både geografisk og vertikalt i vannmassene. Vertikalt vil eggenes plassering være bestemt av forholdet mellom eggenes egenvekt og vannets tetthet i forskjellige dyp. I kystnære strøk opptrer gjerne sjikt hvor vannets tetthet endres raskt over kort avstand. Her vil eggene ofte bli liggende i disse sprangsjiktene. God informasjon om vertikal plassering av eggene er viktig i forhold til å kunne si hvilke strømmer i vannet eggene vil være påvirket av og hvordan en spredning eller retensjon vil arte seg.

God geografisk informasjon er essensielt for å kunne si hvilke områder som har høy tetthet av egg og hvor det bare er en generell bakgrunnstetthet av egg.

Den optimale informasjonen vil være både å kunne observere eksakt geografisk hvor eggene befinner seg og hvor i vannsøylen de befinner seg. Metoder for å skaffe denne informasjonen inkluderer vertikale håvtrekk av hele vannsøylen, horisontale håvtrekk i faste dyp, delte håvtrekk og måling av eggenes egenvekt. Det førstnevnte vil gi en presis geografisk referanse for hver prøve, men ingen informasjon om hvor i vannet eggene befinner seg. Horisontale trekk vil kunne vise hvor i vannet eggene befinner seg, ved å trekke på forskjellige dyp, men vil få en dårlig geografisk posisjonering da trekket vil gå gjennom ulike tettheter av egg i

horisontalplanet. Delte trekk kan gjøres som vertikale trekk, men ved å lukke håven på forskjellige dyp, og kan gi en indikasjon på hvor i vannmassene eggene befinner seg. Det er også mulig å slippe egg i en kolonne med en kjent saltgradient for så å måle hvor de legger seg til ro. Dette vil gi en presis måling av de målte eggenes egenvekt og vil sammen med målinger av saltholdighet og temperatur (STD) kunne gi informasjon om hvor i vannsøylen eggene befinner seg. Bruk av saltkolonner er vanskelig å gjøre om bord i båt da de trenger helt ro for ikke å forstyrre saltgradienten.

I naturtypekarleggingen gjøres det av ressursmessige hensyn primært vertikale trekk for kartlegging av gytefelt siden disse gir den mest optimale geografiske informasjonen. Om mulig suppleres dette med delte trekk og /eller måling av eggenes egenvekt. Dette gjøres siden man antar at egenvekten på eggene ikke varierer veldig mye i et område og at man ved å måle vertikal plassering på noen lokaliteter kan ekstrapolere til å gjelde hele området.

For at alle prøver som tas skal være mulig å sammenligne med hverandre er det viktig at alle stasjoner gjennomføres på samme måte og med identisk utstyr. Håven som brukes er en standard WP2 håv med 60 cm diameter og maskevidde 500 μm . For at det skal være den samme mengden vann som undersøkes trekkes håven fra 50 m og opp til overflaten i en hastighet på 0.5 m/s. Trekkes håven fortere vil den kunne skyve vann foran seg slik at egg skyves til siden. Håven spyles for å sørge for at alle eggene samles i koppen (bilde 1). Alt innhold i koppen overføres til et prøveglass som merkes med stasjonsnummer, dato, klokkeslett og område. All informasjon følger hver prøve på vannfast papir i selve prøven. Dersom prøven inneholder svært store mengder egg eller plankton har det vært praktisert at prøven siles gjennom en 2000 μm duk som slipper gjennom eggene, men ikke for eksempel copepoder. Et annet alternativ har vært å splitte prøven i to og estimere totalantall egg i prøven.

3.4 Arstbestemmelse – oppbevaring

Arstbestemmelse gjøres så kort tid etter prøvetaking som mulig og på friskt materiale. Siden sjøtemperaturen i gytetiden som regel er lav er det fordelaktig å oppbevare prøver i kjøleskap frem til artsbestemmelse for å redusere dødeligheten. Det har vært nødvendig å gjøre sorteringen av prøver i flere omganger, der først eggene blir sortert fra annet zooplankton før artsbestemmelsen av eggene gjøres. Det er i alle tilfeller en fordel å kunne kjøle ned petriskålen eller brettet som brukes til sortering for å hindre at noen av eggene blir opphetet og dør. Når eggen dør vil DNA brytes ned og genetiske undersøkelser vil kunne vanskeligjøres.

Eggene artsbestemmes i henhold til visuell inspeksjon og måling av diameter på eggene i henhold til Russel (1976).

Egg fra torsk regnes som egg med diameter fra 1.2 til 1.5 mm. Eggene sorteres grovt i to grupper torsk og andre fisk. Det kan forekomme torskeegg som både er større og mindre enn disse størrelsene, men hovedmengden av torskeegg vil være mellom disse grensene. Hyse har helt overlappende størrelsesfordeling som torsk og er ikke mulig å skille fra torsk i tidlige

stadier. Andelen hyse i eldre stadier kan likevel brukes som en indikasjon mengden hyseegg i området.

Alle eggene bestemmes til utviklingsstadium på en skala fra 1-5. Det tidligste stadium 1 kan deles inn i de to understadiene 1.4 og 1.8 etter hvor mange celler det er mulig å se inne i egget. Egg mellom 1,2 og 1,5 mm legges på sprit for senere på laboratoriet på land ved hjelp av genetiske metoder å bestemme om det er torsk eller hyse, og for eksempel om torskeegget kommer fra en nordøst-arktisk torsk eller en kysttorsk.

3.5 Fotografering

Som dokumentasjon etterstrebes det å fotografere alle egg som samles inn (Figur 3 og 4). Dette gjøres blant annet fordi egg som legges på sprit vil krympe og gjøre artsbestemmelse i ettertid vanskelig eller umulig. I naturtypekartleggingsprogrammet er det i dag ingen ressurser til å artsbestemme andre egg enn torskeegg, men disse eggene blir også fotografert for mulig bruk senere. Fotograferingen gjøres med et kamera montert på en av lupene som brukes til artsbestemmelse. Fotograferingen gjøres i standardiserte rammer hvor alle eggene fra en prøve samles. Er det mange egg vil det kunne tas flere bilder av hver prøve. Bildene får unike navn som knytter bilde til hver enkelt prøve og deres geografiske lokalitet.



Jossefina Johansson og Ragni Olsson tar opp en WP2 håv for å spyle med saltvann og overføre egg til et merket prøveglass.



Figur 3. Torskeegg i stadium 1, 3 og 4 samlet 25. April 2011 på stasjon 570 i Ofotfjorden i Nordland 2011



Figur 4. Andre egg funnet på stasjon 422 i Ofotfjorden i Nordland 25. April 2011.

3.7 Genetisk prøvetaking

For å preservere DNA best mulig, må prøver av egg til genetiske undersøkelser legges på sprit så kort tid etter prøvetaking som mulig. I 2010 ble det gjort forsøk med å legge eggene i sterilt saltvann og la eggene vokse i opptil 3 dager i kjøleskap. Dette var for å øke mengden genetisk materiale (DNA) og for at uthenting av DNA skulle kunne gjøres lettere. Det viste seg likevel at dødeligheten på disse eggene kunne være opp mot 50-60 % (Espeland pers. obs). Siden det ikke er mulig å vite om dødeligheten er avhengig av hvor gammelt egget var i utgangspunktet eller om dødeligheten kunne være påvirket av hva slags art egget var, er det heller ikke mulig å si om den genetiske fordelingen av eggene etter inkubering (vekst i kjøleskap) er nøyaktig representativ for den genetiske fordelingen av egg før inkubering. Man kunne med andre ord risikere å analysere et feilaktig utvalg av egg, som dermed kunne gi et feil bilde av hvilke arter/undergrupper som egentlig var representert i den opprinnelige prøven. Ut fra disse resultater legges i dag alle egg som skal undersøkes genetisk på 96% etanol så raskt etter sortering som mulig.

3.8 Genetiske undersøkelser

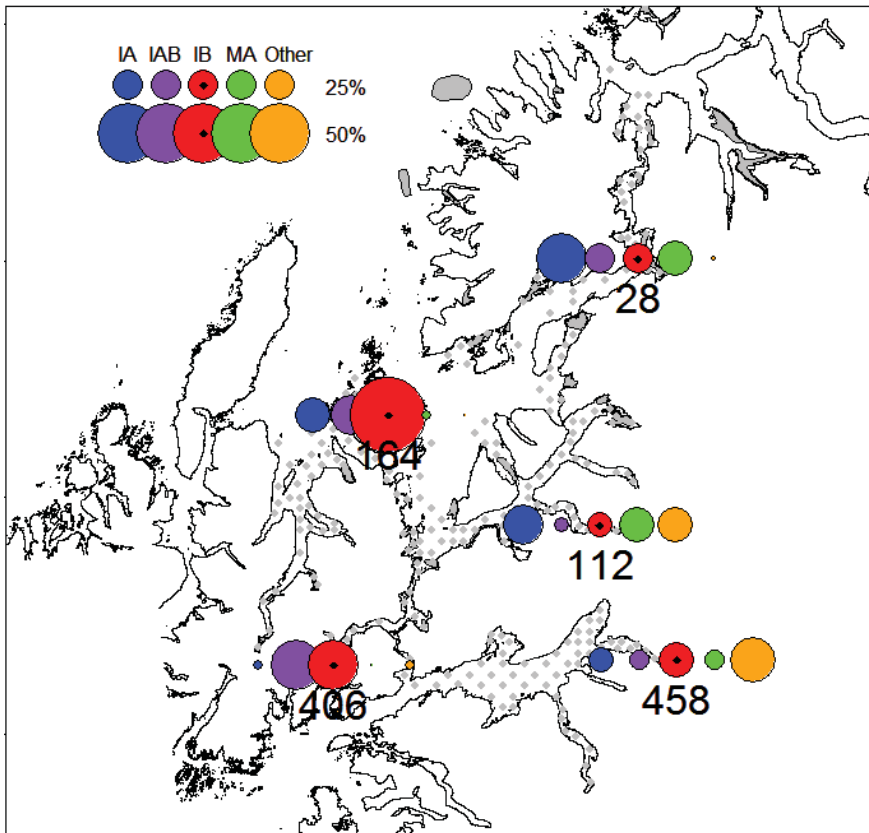
DNA fra egg, sortert ut som torskeegg (1,2-1,5 mm diameter), ekstraheres ved hjelp av micro spinnkolonner. For prøver der problemstillingen dreier seg om å finne andelen kysttorsk i forhold til skrei, analyseres DNA-ekstraktene videre med fragmentanalyse. Dette gjøres i form av analyse av microsatellitter (relativt korte, nøytrale sekvenser av DNA), som oppkopieres for visualisering ved hjelp av PCR, og detekteres/visualiseres ved hjelp av kapillærelektroforese (ABI 3130xl genetic analyzer).

Microsatellittene som analyseres er et utvalgt sett av markører som gjør det mulig å skille kysttorsk fra skrei. Analysene gir derved et uttrykk for hvilken type torsk som er opphav til eggene i prøven og på gytedefeltet.

Underveis i kartleggingsarbeidet utkrystalliserte det seg andre aspekter ved problemstillingene omkring genetikk på egg. Ettersom egg i tidlig stadium har svært få celler, *kan* disse potensielt feiltolkes mht art dersom eggstørrelsene overlapper. På grunn av tidvis innslag av egg i tidlig stadium som hadde overlappende størrelser med andre relevante arter, samt et genetisk uttrykk som ikke så ut til å stemme med torsk, ble det besluttet å gjøre tester med genetisk artsidentifisering. Med utgangspunkt i fremgangsmåten beskrevet av Taylor et. al 2002, startet arbeidet med en tilpasset metode for spesifikk identifisering av torsk, hyse, hvitting og sei. Man tar her i bruk artsspesifikke prober (TaqMan prober) for målartene og sett av disse blir kjørt i real-time PCR-oppsett på en Applied Biosystems 7300. Denne type genetisk analysene gjør det mulig å identifisere torsk i prøver med egg i tidlig stadium, der også andre arter er representert. Samtidig får man også mulighet til å kunne peke ut hvilke andre av målartene som evt måtte være til stede. Det arbeides fremdeles med å optimere denne metoden.

For å undersøke om eggene som blir funnet er fra kysttorsk eller for eksempel skrei gjøres genetiske undersøkelser. Disse kan også brukes til å skille torsk fra for eksempel hyse som

ikke er mulig å avgjøre visuelt på helt nygytte egg (Figur 5). Genetiske undersøkelser er likevel kostbart og kan bare gjøres på noen utvalg av stasjoner



Figur 5. Figuren viser fem stasjoner som ble plukket ut til genetiske analyser i Nordland-Troms angitt med stasjonsnummeret. DNA ble vellykket ekstrahert fra 100 % av eggene, også de fra stasjon 458 der 70% av eggene var i stadium 1. 98% av eggene gav utslag på markørene som ble benyttet. Sirklene er skalert etter prosentvis hvor mange egg som gav utslag på de fem forskjellige markørene vist øverst til venstre. IA, IAB og IB betegner de tre forskjellige fenotypene av Pantophysin som brukes til å skille skrei (mest IB) og kysttorsk (mest IA). Resultater tyder på at eggene fra stasjon 406 og 164 i hovedsak er skrei egg. På stasjoner fra de indre områdene er det mer sannsynlig kysttorsk, samt mulig innslag av andre arter blant egg visuelt bestemt som kysttorsk.

4 Analyser – strømmodellering

Sammendrag

Hvorvidt egg fra et gytefelt driver bort fra gytefeltet med havstrømmer eller blir værende innenfor det samme gytefeltet er svært viktig for bestandsstrukturen. Det vil også ha stor betydning for hvor stort område gytefeltet vil dekke samt hvordan gytefeltet skal avgrenses (kapittel 6). Siden det er svært vanskelig å observere hvor eggene driver, må dette estimeres ved å bruke matematiske strømmodeller.

I et område blir det i løpet av en feltsesong typisk funnet 1000-5000 egg. Hvert av disse eggene blir representert med 4-20 partikler i simuleringen av partikkeldrift slik at det totale antallet egg i modellen ligger opp mot rundt 20 000. Partiklene slippes så i modellen på samme sted som de ble funnet i felt, og deres simulerte bevegelse blir registrert de påfølgende 30 dagene. Ved å se på hvor eggene befinner seg etter for eksempel 10, 20 og 30 dager kan man vurdere graden av spredning av egg fra et gytefelt

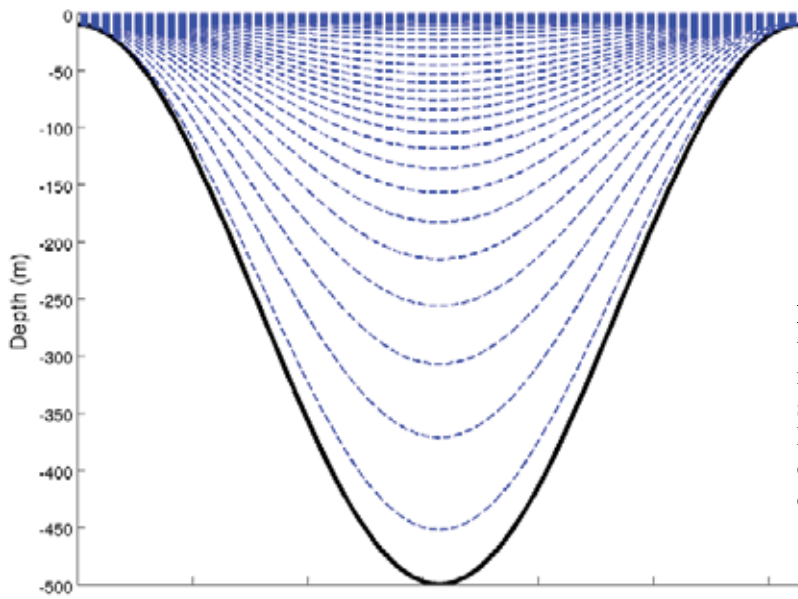
4.1 Strømmodeller

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 ut fra en gitt romlig oppløsning. For at en numerisk, hydrodynamisk modell skal kunne beskrive de fenomenene som dominerer dynamikken i et område, 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 ~10km, har man behov for havmodell med romlig, horisontal oppløsning på 1-4km. Ønsker man å beskrive sirkulasjonen i fjorder, vil den romlige oppdelingen ha andre krav. Ikke minst vil det da være vesentlig at fjordens bredde og dybdeforhold løses godt nok opp.

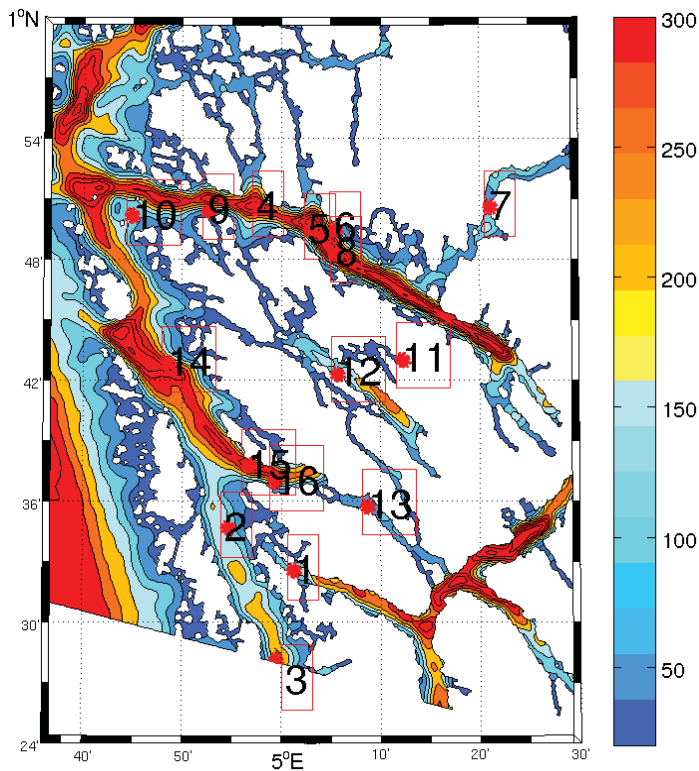
Havforskningsinstituttet har over flere år bygget opp kompetanse på bruk av havmodellen ROMS (Regional Ocean Modeling System, se <http://myroms.org> og Shchepetkin & McWilliams 2005, Haidvogel et al. 2008). Dette er en "state-of-the-art", hydrodynamisk modell som inkluderer alle relevante fysiske prosesser. En stor fordel med ROMS fremfor en rekke andre modeller er at man kan velge fra et stort register av numeriske løsninger/skjemaer der mange har svært høy nøyaktighet. Valg av numeriske skjemaer for strøm, hydrografi og turbulens kan tilpasses ulike hav-, kyst- og fjord-områder avhengig av deres dominerende fysiske prosesser og topografiske egenskaper. I tillegg har ROMS et aktivt, internasjonalt brukermiljø som kontinuerlig bidrar til utvikling av modellkoden, og den er også tilpasset de fleste tungregneanlegg i verden. Utgangspunktet for å gi en god beskrivelse av bevegelse og tilstand i hav-, kyst- og fjord-områder er at man også har tilgjengelig godt oppløste (i rom og tid) atmosfærevariable for hele simuleringsperioden, tidsvariant informasjon langs de åpne rendene (vannstand, strømmer og hydrografi), tidevann og reell ferskvannstilførsel fra elver.

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 som beregning i forhold til z-nivåer (faste vertikalnivåer i meter), tetthetsflater (isopyknal-modeller) eller terrengfølgende flater (s/sigma-modeller). I tillegg kan det være stor variasjon i hvordan de fysiske likningene (differensiallikningene) løses med ulike numeriske metoder. Valg av vertikalkoordinat er avgjørende for området man skal bruke modellen. ROMS bruker terrengfølgende koordinater (se eksempel i Figur 4), og dette har vist seg velegnet på sokkelområder og grunne havområder ved flere valideringsanalyser. 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) godt. 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. Målinger av strøm, og i det minste hydrografi (CTD) bør utføres som en del av feltundersøkelsene med håvtrekk. Mens Figur 5 viser hvilke CTD-stasjoner som ble tatt under eggtoktet i Nord-Hordaland våren 2011, viser Figur 6 en enkel sammenlikning mellom observert saltholdighet og korresponderende verdier fra modellen (ROMS-200m). Ut fra de seks profilene som er vist i Figur 6, så validerer modellen svært godt mot målingene, både i sterkt ferskvannspåvirket fjordarm (stasjon 7) samt i de mer haveksponte fjordområdene.

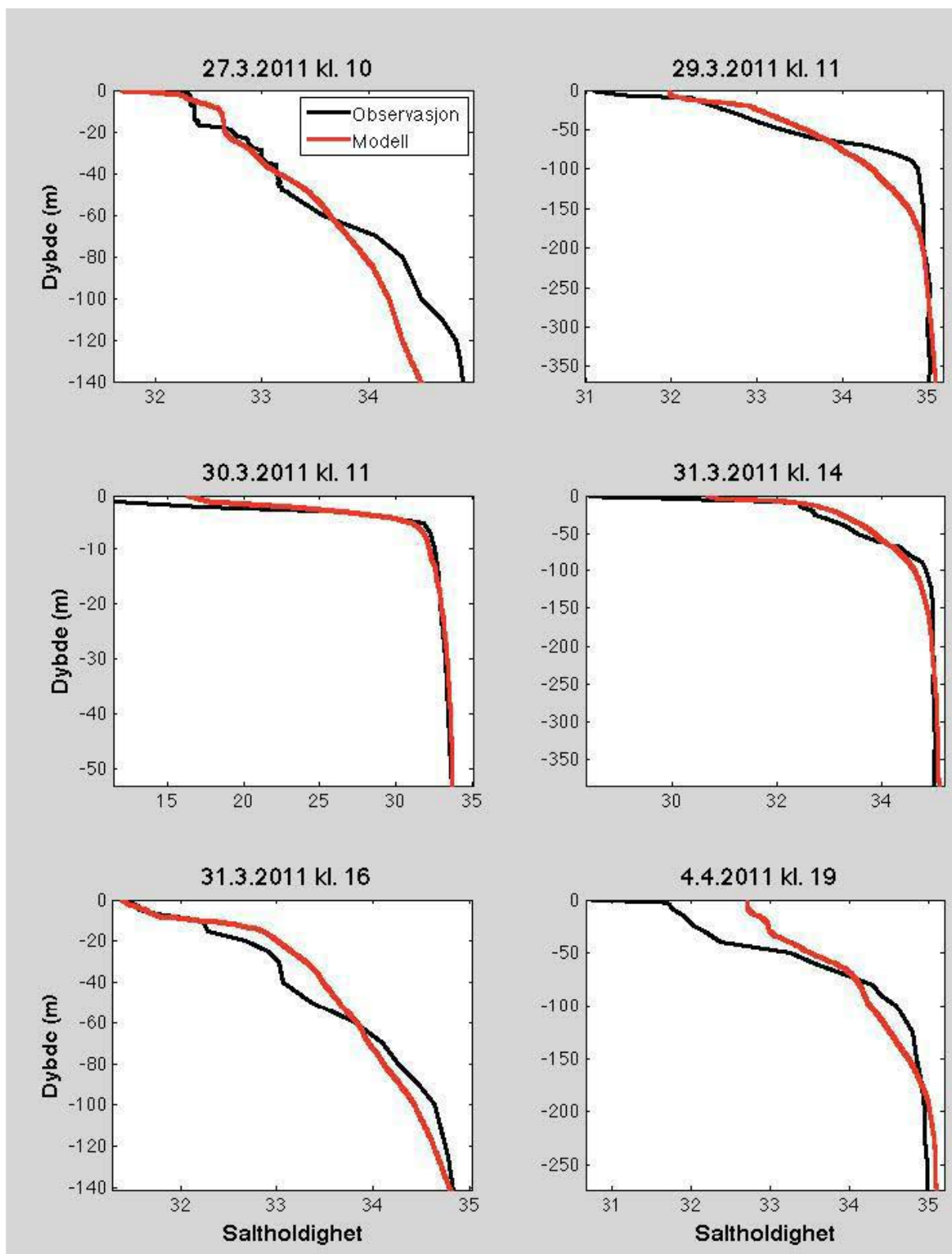
Flere nasjonale institutter som arbeider med havmodellering (HI, met.no, NIVA, Sintef m.fl.) har tatt i bruk ROMS, event. ved siden av andre hydrodynamiske modeller. Mens HI har relativt lang erfaring med bruk av ROMS for nordiske havområder, har Meteorologisk institutt nå byttet til ROMS for de fleste havmodellene i deres operasjonelle havvarslingsystem. I flere omfattende modell-sammenlikningsarbeider har det vist seg at ROMS validerer svært godt mot målinger av både strøm og hydrografi (LaCasce et al. 2007, Albretsen & Røed 2010, Espeland et al. in prep).



Figur 4. Eksempel på ROMS sin vertikale oppløsning. Vertikalkoordinatene følger topografien, og i sammenheng med gytefeltkartleggingen er det lagt inn en økt oppløsning nær overflaten (omtrent de øverste 50 m).



Figur 5. Kart som viser hvilke lokaliteter hvor saltholdighet og temperatur (CTD) ble målt under eggtoktet i Nord-Hordaland våren 2011.

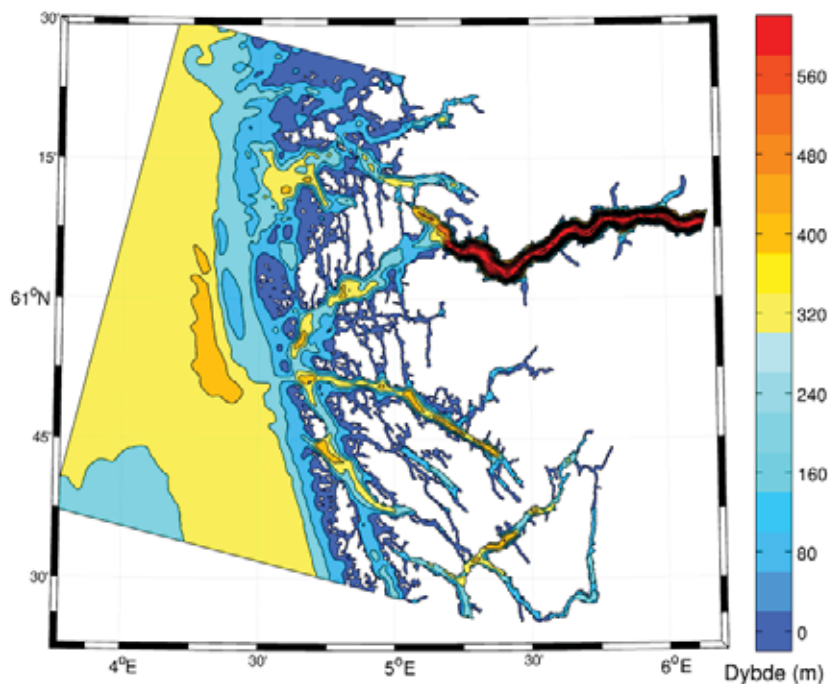


Figur 6. Eksempel på ren sammenlikning av målte og modellerte saltholdighetsprofiler fra punktene angitt på kartet i Figur 5. Grafene øverst er fra stasjon 2 og 4, i midten fra 7 og 8 og nederst fra stasjonene 10 og 14.

4.2 Strømmodellering for kartlegging av gytefelt

For å beregne drift av torsk-egg, er det først nødvendig å estimere strømforholdene for den aktuelle perioden, og verktøyet som brukes er den hydrodynamiske modellen ROMS. Oppløsningen i tid må være god nok til å beskrive alle de viktige dynamiske prosessene, og som en standard blir modell-felter lagret hver time. Oppløsningen i rom, mao. den horisontale avstanden mellom beregningspunktene, må vurderes ut fra den romlige skalaen til de dominerende dynamiske fenomenene. I fjorder er det som regel bredden og de topografiske karakteristikkene som avgjør den nedre grensen for romlig oppløsning. I forbindelse med de øvelsene som er utført med egg-drift for kartlegging av gytefelt, er 200m horisontal oppløsning brukt som en standard for fjorder langs Vestlandet og nordover. Det antas da at de fleste fjorder og sund som blir kartlagt, blir godt nok oppløst til at modellen gir et realistisk bilde av strømforholdene.

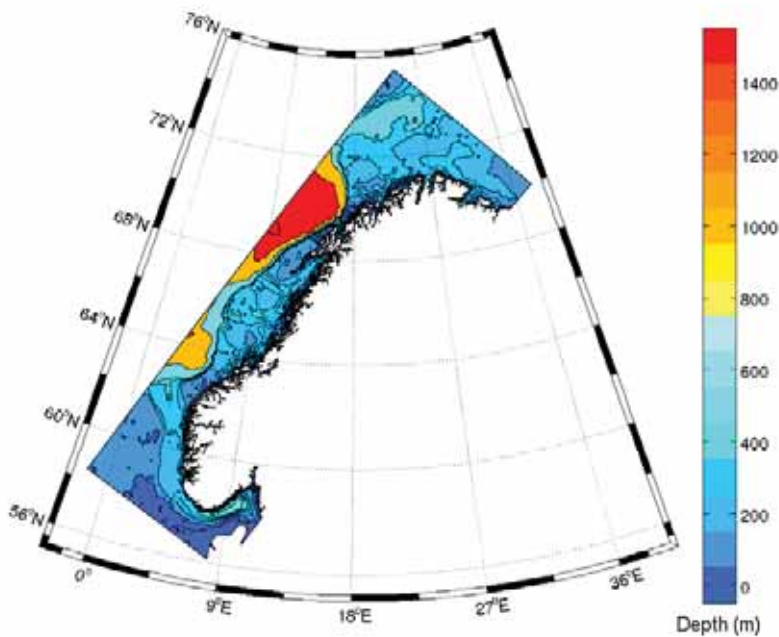
Batymetri (Marine primærdata) er i hovedsak lest inn fra Statens kartverk, Sjøkartverket, behandlet i ArcGIS og lagt på et grid med celle-størrelse på 200x200 meter (se eksempel fra Hordaland/Sogn i Figur 7). Den endelige batymetrien som blir benyttet i ROMS, er glattet av hensyn til den numeriske stabiliteten. Tidsvariant og realistisk informasjon av strømmer og hydrografi fra de utenforliggende havområdene og fra elver, atmosfæren og tidevann er helt vesentlig for å kunne gjengi fjorddynamikken på en god måte.



Figur 7. Batymetri brukt i strømmodellen for nordlige Hordaland/Sogn med 200x200m horisontal oppløsning.

Modellberegnete strømforhold, hydrografi og vannstand fra utenforliggende havområder er typisk beregnet fra havmodell med 4km horisontal oppløsning som igjen gir informasjon til en kystmodell med 800m oppløsning. I synergi med kartleggingen av gytefelt er det utviklet et kystmodell-system (NorKyst-800, se Albretsen et al. 2011 og Figur 8) som bruker etablerte databaser med resultater fra havmodell (4km), atmosfæremodell, tidevann og elveavrenning fra hoved-vassdragsområdene (fra NVE) sammen med ROMS til å simulere strøm og

hydrografi for en hvilken som helst del av norskekysten med 800m horisontal oppløsning og for en tidsperiode tilbake til 1958 og frem til i dag. NorKyst-800 er etablert som et initiativ fra Havforskningsinstituttet i samarbeid med met.no og NIVA, og høsten 2012 ble modellsystemet en del av met.no sine operasjonelle varslingsmodeller. NorKyst-800 brukes altså til å formidle realistiske strømforhold til de aktuelle fjordområdene hvor 200m-modellene er etablert.

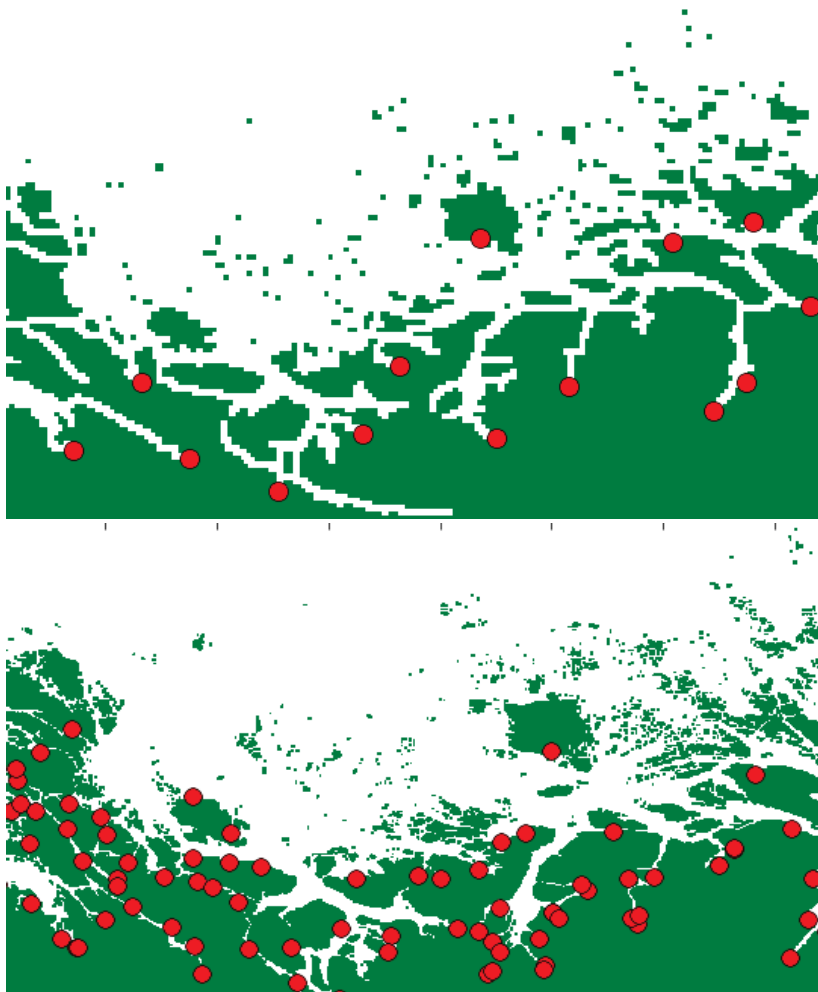


Figur 8. Utstrekning og batymetri for NorKyst-800-området.

Ofte er norske fjorder 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 20km er tilgjengelig fra ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), men det er nødvendig å nedskalere disse dynamisk ved hjelp av en numeriske atmosfæremodell. I forbindelse med strømmodellering med 200m-modeller, er WRF-modellen (non-hydrostatic Advanced Weather Research and Forecasting Model AR-WRF version 3.0.1) satt opp med minst 3km horisontal oppløsning for et område som både dekker 200m-området og NorKyst-800-utsnittet. WRF er forøvrig satt opp med standard modellinnstillinger, og de atmosfæriske drivkreftene som formidles til ROMS er vind, bakkelufttrykk, temperatur, fuktighet, skydekke og total nedbør.

Tidevannsbidraget fra vannstand og strøm er lagt til som ekstra informasjon langs de åpne rendene i 800m-modellen. I NorKyst-800 baserer denne informasjonen seg på data fra en global tidevannsmoell (TPXO, Egbert & Erofeeva 2002) der de 8 mest dominerende komponentene er inkludert (4 halv- og 4 hel-daglige). Randbetingelsene for 200m-modellen er gitt av timesoppløste modellresultater fra 800m-modellen og vil dermed løse tidevannssignalene godt opp.

Ferskvannsavrøring fra de største elvene er en viktig komponent for bestemmelse av saltholdighetsnivå og tykkelsen på blandingslaget som igjen kan påvirke bl.a. vindens påvirkning på strømføholdene. I NorKyst-800 representerer alle utslippspunktene for ferskvann selve vassdragsområdene som Norge er delt inn i (se eksempel fra Nordland i Figur 9, øverst). For 200m-modellene er alle vassdragsområdene delt inn i forhold til hovedelvene i NVE sin elvenettverkdatabase, Elvis (se tilsvarende eksempel fra Nordland i Figur 9, nederst). I NorKyst-800 er det etablert daglige avrenningsverdier for vassdragene fra 1962 til i dag med en årlig oppdatering av tidsserien fra NVE. Dersom man ønsker å simulere strøm uten at man har realistiske avrenningsdata, så brukes en døgnklimatologi basert på hele datasettet. I 200m-modellene etableres først en oversikt over alle hovedelvene innenfor hvert vassdragsområde, før vassdragets totalavrøring fordeles på disse elvene ut fra en fordelingsnøkkel beregnet fra nedbørfeltens areal. Det må også nevnes at for oppdemte elver, mangler det reelle avrenningsverdier ettersom datasettet i NorKyst-800 kommer fra NVE sitt HBV-modell-system og ikke fra NVE sitt målenettverk. Dette kan gi merkbare effekter, spesielt om vinteren, der magasinerte elver vil ha en minstevannføring i virkeligheten i motsetning til tørrere forhold i modeller som i hovedsak baserer seg på nedbør og lufttemperatur (som NVE sin HBV-modell). Flomtopper vil således bli dempet i virkeligheten slik at strømmodellen står i fare for å bli tilført mer ferskvann enn det som er reelt. I begge tilfeller kan dette ha en viktig betydning på dynamikken i fjordene.



Figur 9. De røde punktene angir hvilke elve-avrøningslokaliteter som er brukt i strømmodellene (eksempel fra sørlige Nordland). Det øverste kartet er hentet fra NorKyst-800 hvor alt ferskvannet fra elver er samlet innen NVE sine hovedvassdragsområder. For de finere oppløste modellene fordeles ferskvannsavrøringen til alle NVE sine definerte hovedelver (nederste kart).

4.3 Partikkeldrift

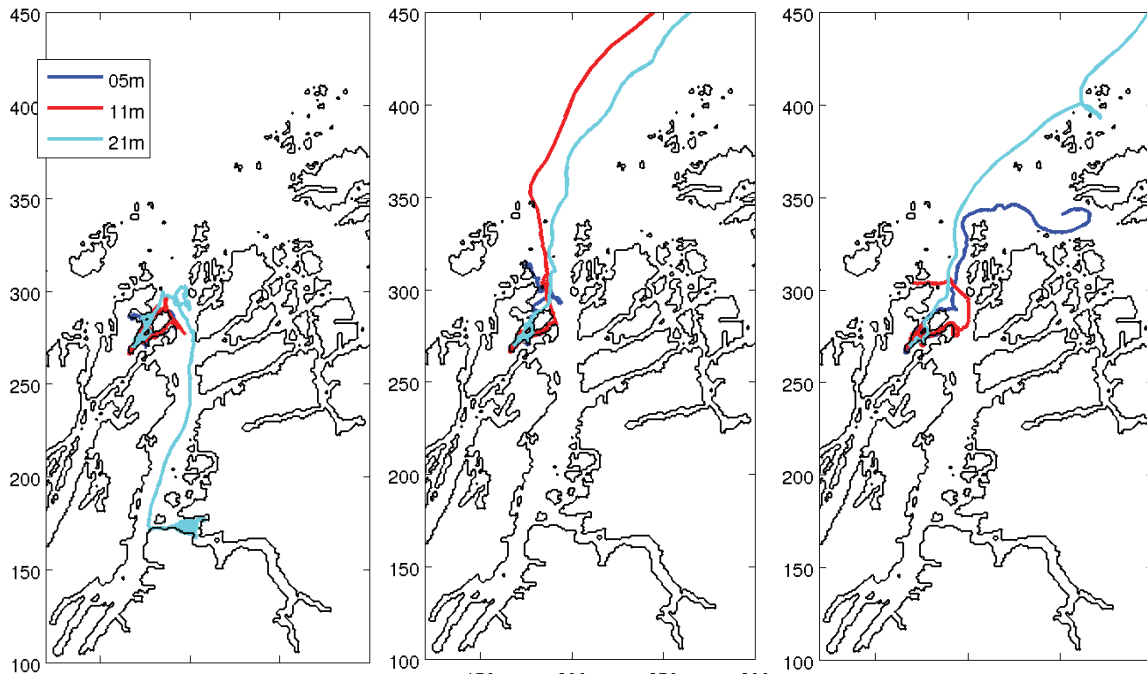
Simuleringene av drift av eggpartikler er basert på strøminformasjon fra ROMS og benytter en standard semi-lagrangsk trajektoriemodell med en random-walk diffusjon (denne modellen kalles Ladim, se Ådlandsvik & Sundby 1994). Timesfelter av strøm blir typisk gitt som input til partikkeldriftmodellen. For 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 aksesymmetrisk 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. En typisk verdi på $1 \text{ m}^2/\text{s}$ er brukt i fjordmodellene, og dette tilsvarer et normalfordelt tillegg i strømkomponentene mellom -2 og $+2 \text{ cm/s}$ ("random walk").

Inntil man får bedre kontroll på egg-partiklens vertikale bevegelsesmønster i et modellert fjordmiljø, er egg-partiklene kun tillatt å drive i faste, forhåndsdefinerte dybdenivåer (z-flater, se bakgrunn i kap. 4.4). Egg-partiklens horisontale plassering initielt bestemmes ut fra innsamlingen av egg, og for å øke det statistiske grunnlaget skaleres det målte antallet egg med en faktor for å gi et større antall egg-partikler. Eggpartiklens vertikale plassering initielt i vannsøylen er satt ut fra en Gaussisk fordeling av dyp angitt med et midlere dyp og et standardavvik. For fjorder på Vestlandet og nordover er midlere dyp satt til 15 m og et standardavvik på 10 m , i tillegg til krav om at driftsnivået må ligge mellom 2 og 50 m . Har man vertikaldelte eggtrekk, så er det ikke noe i veien for å lage en mer nøyaktig fordeling av eggene vertikalt.

Dersom eggtrekkene utføres over flere dager, har det vært hensiktsmessig å starte partikkeldriftsmodellen med dagers mellomrom for å fange opp det fysiske miljøets variasjoner de aktuelle dagene. Partikkeldrift er så beregnet for opptil 30 dager frem basert på den modellerte strømmen, og videre analyser blir utført basert på hver egg-partikkel sin drivbane (destinasjon) (se kap. 6). Figur 10 viser hvordan partiklene driver forskjellig i tre ulike dyp, og også der utslippstidspunktet varierer med to til fire dager.

4.4 Vertikal posisjon og drift

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 tids- 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 partiklens "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.

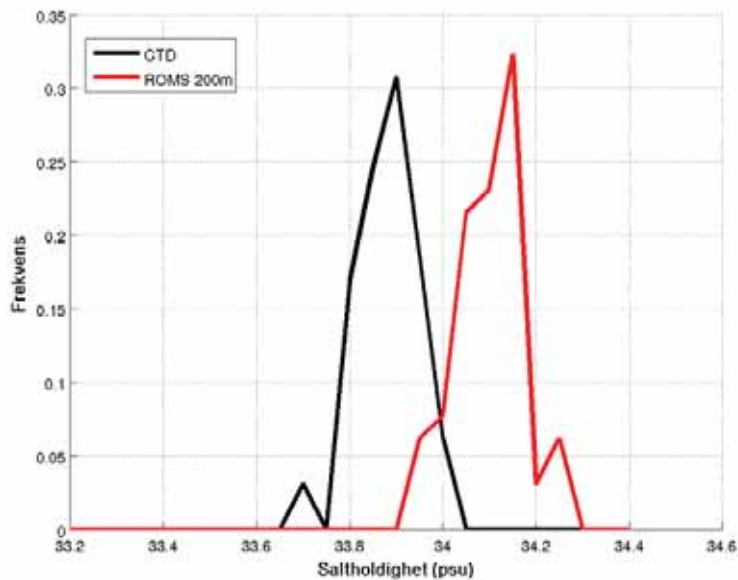


Figur 10. De tre panelene viser tre eksempel-partikler sin drift fra simuleringer i nordlige Hordaland. Fargen angir hvilket dyp de tre partiklene driver i. Trajektoriene viser drift i opptil 30 døgn med utslippstidspunkt 29/3, 31/3 og 2/4 2011 hhv. i panelene fra venstre til høyre.

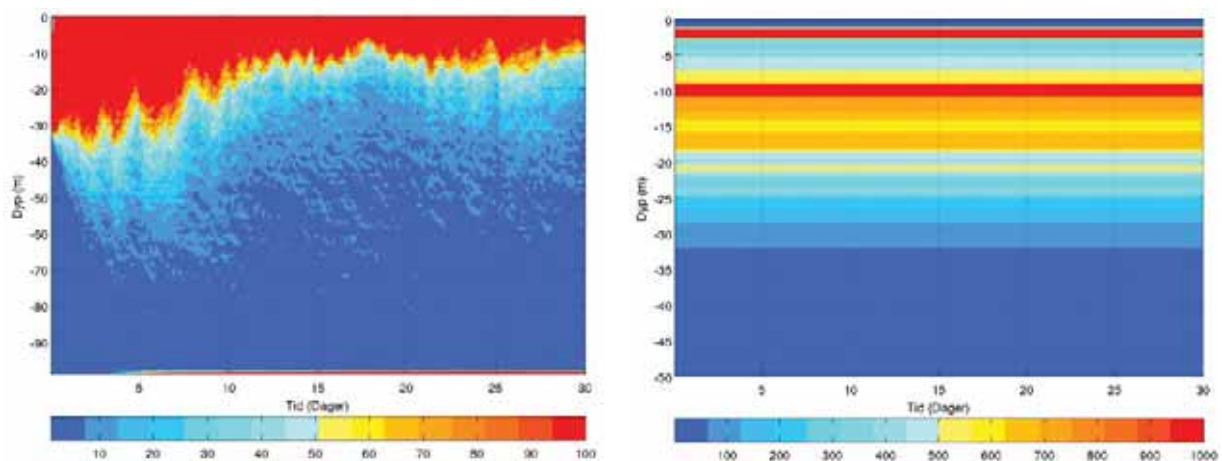
I virkeligheten vil selvsagt torskkegg flyte i nivå bestemt av oppdriften, mao. eggenes tetthet i forhold til fjordens sjiktning, og i tillegg endrer tettheten seg typisk i løpet av den pelagiske perioden. Under uttesting av partikkeldriftsmodellen Ladim ble det forsøkt å tillate vertikalvandring av partiklene ut fra deres egen og omgivelsenes tetthet samt simulert strøm og vertikaldiffusjon. Ved å følge målte likevektstettheter for torske-egg etter Stenevik et. al (2008) avhengig av hvor i landet man befinner seg, kan hver egg-partikkel få angitt en midlere tetthet (i saltholdighet) ut fra en middelværdi og et standardavvik. Normal modelleringspraksis er at man finner avvik mellom modellert hydrografi, mao. tettheten, og den virkelige, enten et fluktuerende avvik som bytter fortegn, eller systematiske avvik (se eksempel på validering i Figur 11). Dette kan gi vesentlige utslag i eggpartiklenes oppdriftsegenskaper (i den modellerte fjorden), spesielt i perioder der fjordvannet er relativt godt gjennomblandet. Gyteperioden til fjordtorsk er typisk i mars/april avhengig av hvor i landet man befinner seg, men fjordene har ofte relativt homogene tetthetsforhold etter vinteren før avrenningen av smeltevann starter for fullt og før soloppvarmingen om våren kommer ordentlig i gang.

I partikkeldrift-tester med fri bevegelse vertikalt i Storfjorden, Troms, for 2009 (Espeland et al. 2010, Espeland et al. in prep) var konsekvensen at veldig mange av egg-partiklene fløt opp nær overflaten (se Figur 12, venstre). Selv om den modellerte hydrografien viste god overensstemmelse med målte profiler, ga de små utslagene i modellfeil vesentlige utslag i oppdriftsegenskapene til egg-partiklene. Også forsøk ved å øke standardavviket til eggenes vekt, ga tilsynelatende for stor ansamling av eggpartikler i overflatelaget av fjorden. Konsekvensen av at mesteparten av egg-partiklene fløt opp mot overflaten, var en stor,

urealistisk drift ut av fjorden. Usikkerhetene rundt modellert tetthet av fjordvannet og estimatene av torskeeggenes tetthet (fra Stenevik et al. 2008) gjorde at vi har gjennomført driftssimuleringene ved å la egg-partiklene drive i et fast dyp (se Figur 12, høyre). Vår tillit til den modellerte horisontalstrømmen som bl.a. avhenger av gradientene i tetthetsfeltet, er større enn de hydrodynamiske modellenes evne til å gjenskape absoluttverdiene av tetthet (mao. absoluttverdiene av saltholdighet og temperatur).



Figur 11. En rekke observasjoner og korresponderende modellerte verdier er samlet fra flere stasjoner og flere dyp i Storfjorden i Troms fra to tokt våren 2009. Disse er presentert i et frekvensdiagram hvor horisontalaksen angir saltholdighet. For alle verdiene ser man da at modellen (rød linje) overestimerer saltholdigheten noe. Dette antyder derfor at det modellerte havet er noe tyngre enn hva som er realistisk.



Figur 12. Tettheten av egg mellom overflaten og ned til 100m dyp fra simuleringer av eggdrift i Storfjorden (Troms). Horisontalaksen angir tid fra utslipp til 30 dager drift. Skalaen angir antall egg (av totalt rundt 20000) og er trunkert for antall over 100 (venstre)/1000 (høyre). Øverste panel angir simuleringen hvor partiklene ble tillatt også i drive fritt vertikalt, mens nederste panel viser vertikalfordelingen av partikler der hver partikkel hadde et fast driftsdyp.

4.5 Begrensninger i modellområde

Hydrodynamiske modeller er regnekraftkrevende, og der er en nær sammenheng mellom regnekraft tilgjengelig ved nasjonale tungregneanlegg (se <http://notur.no>) og enten hvor høy oppløsning man kan etablere for et område eller hvor stor utstrekning man kan modellere over. Innen fjordmodellering er man uansett nødt til å begrense modellområdets utstrekning,

og i forhold til partikkeldriftssimuleringer kan man da risikere at en andel egg-partikler driver ut til de åpne rendene. I praksis vil informasjon om egg-partikkelens endelige destinasjon være tapt.

En måte å kompensere for begrenset utstrekning av fjordmodellområdet, er å skjote på strømfelter utenfor med modellerte felter fra utenforliggende modell, f.eks. fra NorKyst-800. Alternativet, som har vært praksis i kartleggingsarbeidet så langt, har vært å slippe ut mange nok egg-partikler, slik at det statistiske grunnlaget er stort nok selv om man må ignorere andelen egg-partikler som driver ut av området.

5 Analyser – lokalisering av gytefelt

Sammendrag

For å finne gytefeltene blir først mengden egg funnet på forskjellige stasjoner vurdert opp mot et område der det er antatt å ikke være et gytefelt. Dette område som er antatt å ha en bakgrunnstetthet av egg vil kunne brukes til å statistisk anslå en grense for hvor mange egg på en stasjon som skal regnes som skille mellom gytefelt og bakgrunnstetthet.

Alle gytefelt som blir plukket ut ved at de har mye egg og gytefelt basert på intervju blir videre vurdert med tanke på verdisetting.

5.1 Intervjubasert

Påtegning av gytefelt i et kartverktøy involverer to prosesser som er delvis uavhengige: lokalisering og avgrensning. Uten at en trenger å ta hensyn til hvor stort et gyteområde skal være, vil det være mulig å lokalisere noen områder der det mest sannsynlig foregår en gyting. Utgangspunktet for dette vil kunne være informasjon gitt gjennom intervju på den ene siden og observasjoner av tettheter av egg. Gytefelt påtegnet gjennom intervju kan evalueres som gytefelt selv om det ikke ble funnet noe egg i området siden tidspunktet for feltinnsamlingene kan være uheldig i forhold til gytingen. Det som vurderes er spredning av hypotetiske egg fra stasjoner som ligger inne i det intervjubaserte gytefeltet.

5.2 Eggdata, stadier og utvikling

Eggene utvikler seg fra nygytte til klekking avhengig av temperaturen. Ved fire grader vann vil eggene være omtrent 7 dager gamle når de skifter fra første til andre stadium (Russel 1976). Utviklingen går raskere i varmt vann og saktere i kaldt vann. Ved null grader vil det ta over 40 dager før egget klekkes, mens den tilsvarende hele prosessen tar ca 10 dager ved 10 grader. Egg av eldre stadier vil derfor kunne opptre langt borte fra der de er gytt og gi liten informasjon om hvor gytefeltet er. I kartleggingen av gytefelt brukes stadium 1 og 2 som indikasjon på hvor det foregår gyting. I løpet av den lange utviklingstiden vil det også være en forholdsvis høy eggdødelighet. Antallet egg av tidlige stadier vil derfor være størst og vil også være lite påvirket av geografisk differensiert dødelighet.

5.2 Signaler og mønstre i eggtettheter

Ett håvtrekk vil gi et antall egg som er en realisering av tettheten av egg i området der trekket tas. Gitt en homogen tetthet vil antallet av egg på hver stasjon i et gytefelt være gitt av en poissonfordeling. Siden tettheten av egg varierer geografisk vil antall egg i alle trekkene som tas opptre som en inhomogen poisson prosess hvor tettheten varierer fra trekk til trekk. Siden verdisettingen skal anslå hvilke gytefelt som er viktige er det et mål å estimere den underliggende tettheten. Med andre ord å skille hvilke trekk som er gjort i en høy tetthet og hvilke som er gjort i en bakgrunnstetthet.

Metoden som brukes tar utgangspunkt i å skille ut trekk med betydelig høyere antall egg enn forventet ut fra en homogen poisson prosess med et gjennomsnitt fra en bakgrunnstetthet. Det

er dermed antatt at det finnes en bakgrunnstetthet med egg som er tilfeldig som følge av spredning fra andre gytefelt.

For å finne hvilke trekk som er gjort i et gytefelt, velges først ut et område, med flere stasjoner, som er antatt representativt for bakgrunnstettheten. Dette området vil ha et lavt gjennomsnittlig antall egg, være i utgangspunktet homogent i forhold til underliggende eggtetthet og likevel bestå av et minimum antall stasjoner (i praksis ofte 10% av trekkene fra et gytefelttokt).

Gjennomsnittet av egg for dette området brukes for å lage en poissonfordeling og finne det øvre 95 % konfidensintervallet for denne fordelingen (Figur 13). Resultatet er et tall som angir, når trekk har flere egg enn dette, at det er mindre enn 5% sjanse for å observere det gitte antallet egg dersom trekket i virkeligheten er gjort i bakgrunnstettheten.

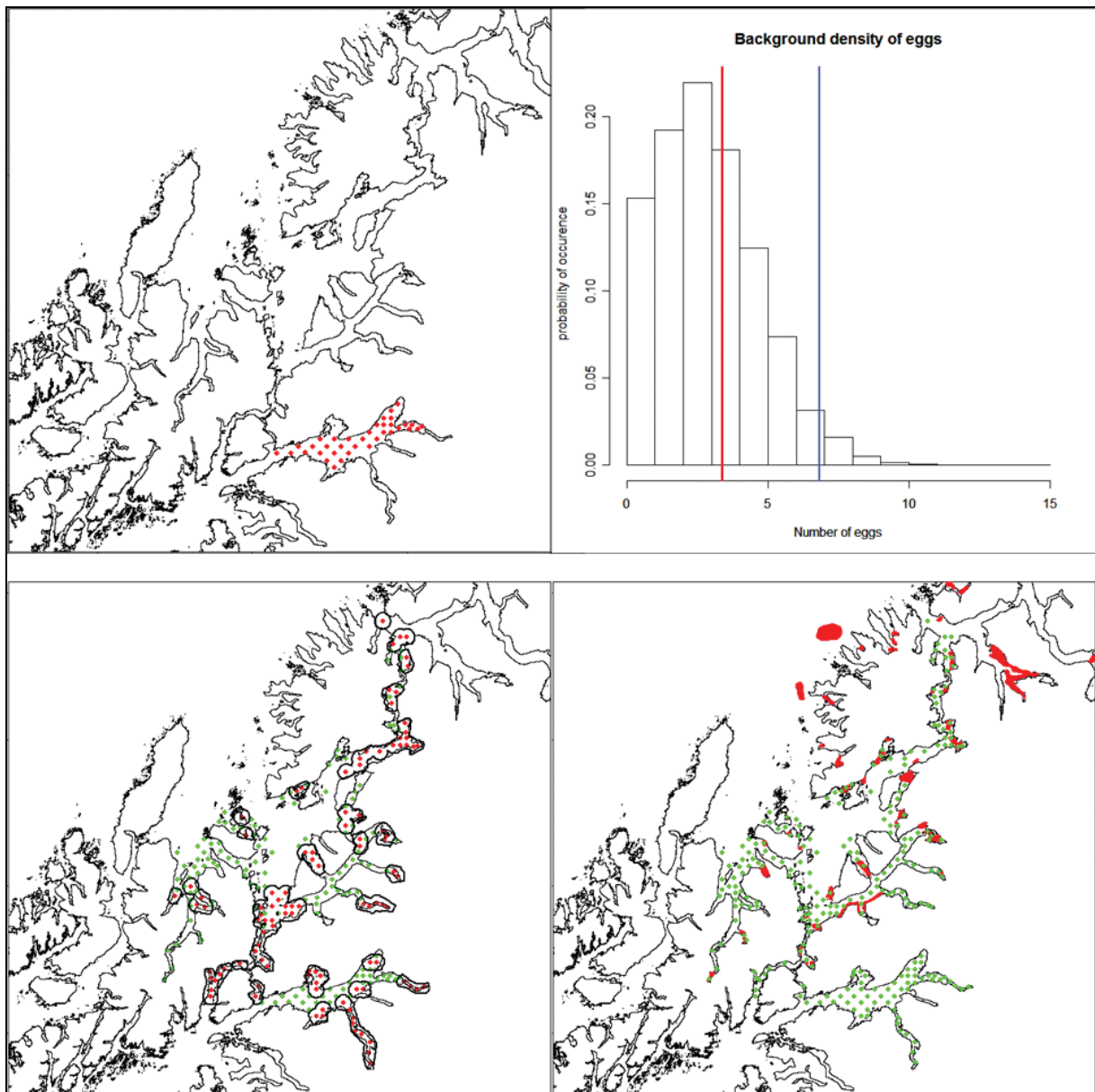
Dersom hvert gytefelt bare var representert med ett trekk ville det med bakgrunn i denne metoden vært forventet at omtrent 5 % av alle trekk gjort i bakgrunnstetthet ville gi nok egg til å bli vurdert som et gytefelt. Ved flere trekk fra hvert gytefelt vil sannsynligheten for å gjøre en slik feilklassifisering gå ned. Optimalt skulle hvert gytefelt være representert ved flere trekk, men av ressursmessige hensyn er antall trekk som er mulig å ta begrenset. Det eksisterer som regel heller ikke noe forhåndskunnskap om hvor store gytefeltene er med tanke på fordeling av egg. Resultatet er at et definert gytefelt vil være representert ved forskjellig antall trekk.

Det er likevel mulig å anslå i hvilken grad nærliggende stasjoner er samlet fra samme tetthet. Når forskjellen mellom par av stasjoner plottes mot den innbyrdes avstanden mellom stasjoner vil dette kunne gi en indikasjon på global rommelig autokorrelasjon i datasettet. Dersom denne forskjellen ikke går mot null for parene av stasjoner som ligger nærmest betyr det at det finnes en "nudge" effekt i datasettet der den rommelige oppløsningen på antall stasjoner ikke er fin nok til å løse opp all variasjon i datasettet. Likevel betyr det at dersom variansen mellom de nærmeste stasjonene er mindre enn forskjellen mellom stasjoner lengre fra hverandre tenderer nabostasjoner til å være mer like enn andre stasjoner, og derfor vil noe av variasjonen være på en skala større enn avstanden mellom stasjoner.

5.3 Potensielle gytefelt

Områder der antall egg på stasjonene ligger over det som er sannsynlig utkom fra en poissonfordeling basert på bakgrunnstettheten, blir vurdert til å være potensielle gytefelt (Figur 13 viser eksempel). Siden antallet stasjoner som tas i en feltsesong gjerne er mer enn 100 er det forventet at over 5 vil gi et signifikant høyere antall egg enn forventet ut fra poissonfordelingen. Resultatet er at en del av stasjonene som tas for å være fra et gytefelt godt kan være tatt i en bakgrunnstetthet av egg. Dette kompenseres noe for ved å slå sammen stasjoner med høyt antall egg. Likevel vil gytefelt basert på bare en stasjon være usikre.

5.4 Eksempel Nordland/Troms



Figur 13. Øverst til venstre vises område med stasjoner som ble antatt hadde en bakgrunnstetthet av egg. Øverst til høyre vises en statistisk fordeling av antall egg pr stasjon med samme gjennomsnitt som i bakgrunnsfordelingen (gjennomsnittet er merket med en rød vertikal linje). Y-aksen angir sannsynligheten for å finne det eksakte antallet egg som gitt på x-aksen. Den blå linjen angir grensen for 95 % konfidensintervallet for fordelingen. Stasjoner med 7 eller flere egg vil forekomme med mindre enn en samlet 5 % sannsynlighet. Nederst til venstre vises stasjoner i rødt som har mer enn 7 egg, som da kan være potensielle gytefelt. Grønne stasjoner er stasjoner med lavere tetthet av egg. Nederst til høyre vises intervjubaserte gytefelt i rødt og stasjoner hvor det ble gjort eggundersøkelser i grønt.

6 Analyser for verdisetting

Sammendrag

Som grunnlag for verdisetting av gytefeltene vurderes to forhold ved hvert gytefelt; mengde egg og i hvor stor grad eggene driver rundt eller blir værende på gytefeltet. Gytefelt hvor det er mindre egg enn bakgrunnstettheten (dette vil være gytefelt basert på intervjuundersøkelser hvor vi bare finner bakgrunnstettheter av egg) vil få en indeks på 0. Gytefeltene som har mer egg enn denne grensen blir gruppert i tre grupper, de som har lave tettheter, middels tettheter og gytefelt med høye tettheter av egg. Disse gytefeltene får en indeks på hhv. 1, 2 og 3. I hvor stor grad eggene blir værende på gytefeltet vurderes på tilsvarende måte, hvor ingen retensjon (alle eggene blir spredt bort fra gytefeltet) gir indeks 0. De øvrige får indeks 1, 2 eller 3 ettersom de har lite, middels eller høy grad av retensjon.

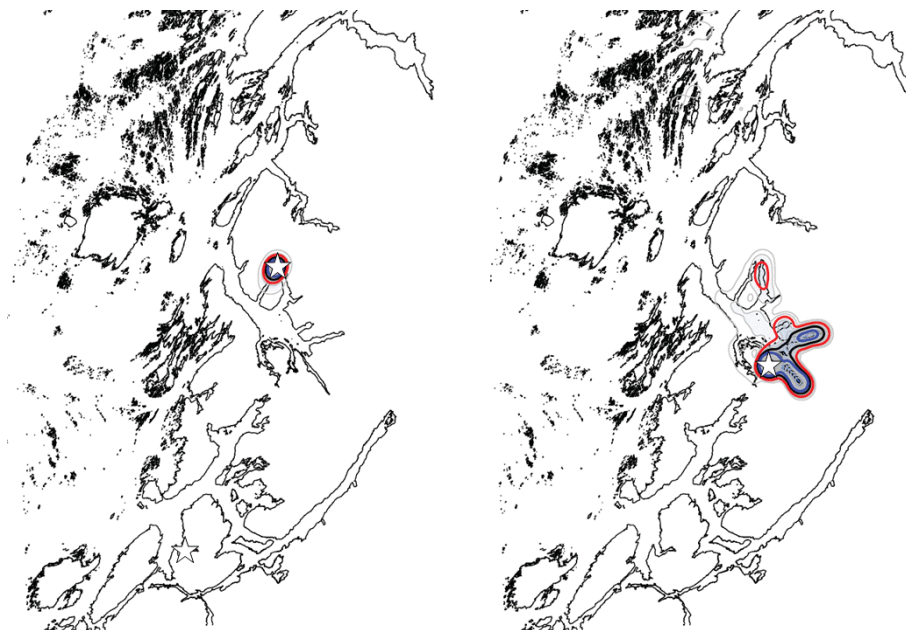
6.1 Grunnleggende analyse/ middeldrift

Drift av ett egg er utsatt for flere kilder til variasjon og to egg med samme utgangspunkt vil ikke nødvendigvis ende opp samme sted. Analyser av driften av egg må derfor ikke vurderes deterministisk, men probabilistisk. Av denne grunn er det ikke interessant å vurdere enkeltegg eller små mengder egg da de vil være utsatt for en stor grad av variasjon.

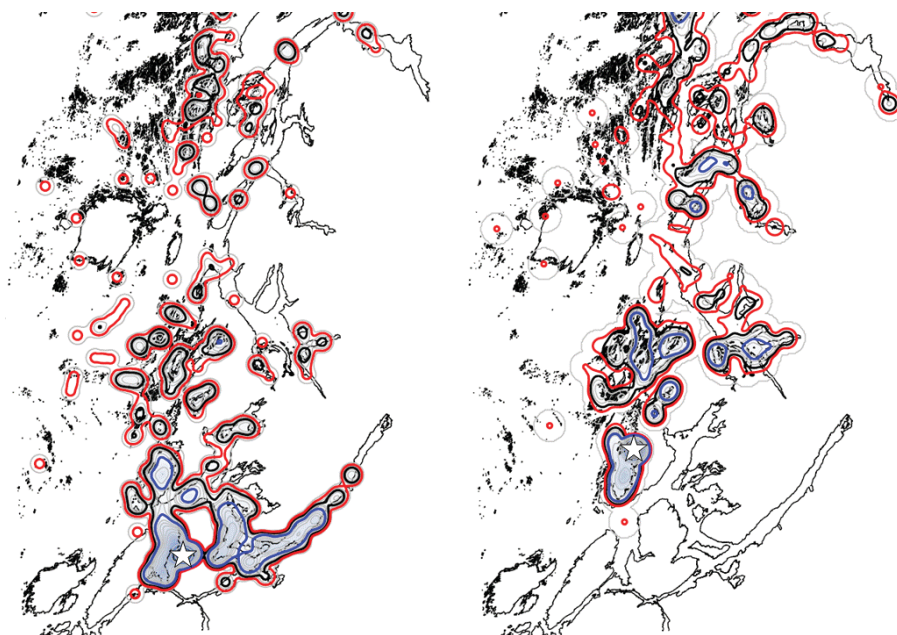
Som innledende analyse beregnes en middels forflytningsvektor for eggene. Dette beregnes som vektoren fra det aritmetiske gjennomsnittet av gytefeltet (gjennomsnittet av alle x og y verdiene for punktene der eggene er sluppet i modellen) til det aritmetiske gjennomsnittet av eggene etter 30 dager. Dersom vektoren er kort og ender innenfor området betegnet av utslippspunktene vil dette indikere at eggene har drevet en kort avstand og det er en høy grad av retensjon (dette kan også være resultatet om eggene driver langt, men i alle retninger). Om vektoren er relativt sett lang i forhold til gytefeltet i utgangspunktet er det betegnende på mye, retningsbestemt, drift. Om vektoren varierer mye i forhold til hvilken dato som brukes som startdatoen for eggdrift simuleringen er dette en indikasjon på at retensjonen /spredningen i området er ustabil og at det er uforutsigbart hvor egg sluppet i området vil havne.

6.2 Fordelingen av egg etter drift

For å vurdere hvordan fordelingen er av egg etter drift beregnes en kernel tetthetsfordeling av eggene etter drift. Dette gjøres ved å bytte ut hvert egg men en kjent matematisk fordeling (en epanechnikov kernel). Fordelingene av alle eggene summeres til den totale fordelingen av egg fra et gitt gyteområde. Denne fordelingen deles så på det totale antallet egg funnet slik at fordelingen summerer til 1. På denne måten kan den tolkes som en sannsynlighetsfordeling over hvor man vil forvente å finne egg fra det gitte gytefeltet 30 dager etter drift. For å vurdere drift og retensjon plottes og vurderes 50 % område (område som inneholder de høyeste tetthetene av egg som summerer til 50 % av den totale fordelingen), 75 % område og 95 % område (Figur 14 og 15 viser eksempel). Avgjørende for dette er modaliteten (hvor mange topper fordelingen har), den geografiske størrelsen på området og hvor disse områdene ligger i forhold til utgangspunktet for eggene.



Figur 14. Eksempler på retensjon i Nordland. Figuren viser fordelingen av egg etter en periode med drift i 30 dager. Grå polygoner dekker område som består av 100% av fordelingen av egg. Røde linjer tilsvarer 75 % av fordelingen. Svarte linjer er 50% fordelingen, mens blå linjer er området som inneholder 25 % av fordelingen. Eggene er sluppet ut på steder indikert med en hvit stjerne. Fjorden viser at så godt som alle eggene blir værende på gytefeltet der de ble gytt og i veldig liten grad driver rundt til andre områder. Dette vil da være gode kandidatområder for å oppdage lokale bestander av torsk.



Figur 15. Eksempler på spredning av egg fra 2 potensielle gytefelt i Nordland. Begge stedene ble plukket ut som mulige gytefelt basert på mengde egg, dvs det var mer egg i området enn det man ville forvente fra bakgrunns-tettheten i regionen. Grå polygoner dekker området som består av 100% av fordelingen av egg etter en periode på 30 dager med drift. Røde linjer tilsvarer 75 % av fordelingen. Svarte linjer er 50% fordelingen, mens blå linjer er området som inneholder 25 % av fordelingen. Eggene er sluppet ut på steder indikert med en hvit stjerne og i begge tilfeller viser modellen stor spredning av eggene (kategorien stor spredning (0)) og vil derfor ikke bli klassifisert som et gytefelt for stasjonære bestander av kysttorsk.

6.3 Relativ eggmengde

Det er antatt at gytefelt med mye egg skal få en høy verdi. Siden antallet egg på en stasjon er en realisering av tettheten av egg, og det er tettheten av egg som skal vurderes, er det fordelaktig om det er flere stasjoner på et gytefelt. Det vil være umulig å skille hva som er en tilfeldig variasjon rundt et gjennomsnitt og selve gjennomsnittet dersom et gytefelt er representert med bare en stasjon. Ofte er det likevel ikke mulig å få mange nok stasjoner på et gytefelt, både fordi det er en tidsbegrensning på hvor mange stasjoner som er mulig å ta kombinert med ønske om en god geografisk dekning, samt at en ikke kan vite på forhånd hvor store gytefeltene er. Dette gjør at ofte vil noen få stasjoner med mye egg være det eneste som kan direkte brukes til å vurdere den underliggende tettheten av egg i et gytefelt. Gytefelt som dekker flere stasjoner kan også inneholde områder med ulik tetthet av egg. Det kan finnes et viktig kjerneområde med veldig høy tetthet, mens områdene rundt har mye lavere tetthet. Gjennomsnittet vil da bli påvirket av i hvilken grad det inkluderes stasjoner med forholdsvis lav tetthet av egg (men som likevel er mer enn bakgrunnstettheten). Til sist vil et veldig stort område med en middels tetthet av egg kunne produsere mer yngel enn et veldig lite område med ekstrem høy tetthet. Dette betyr at størrelse på område til en viss grad vil påvirke verdien til et gytefelt, men ikke direkte men gjennom produksjonen av egg. Disse forholdene gjør at det vil være nødvendig både å vurdere den absolutte verdien av antall egg fra et gytefelt (blader det er få stasjoner), gjennomsnittet av egg i et gytefelt (som mål på tetthet av egg) og summen av egg som er samlet i et gytefelt.

For å vurdere alle disse tre faktorene (som seg imellom er korrelert) gjøres en enkel klynge- (cluster) analyse der verdiene av hver parameter først standardiseres til en verdi mellom 0 og 1. Målet er at gytefelt som ligner skal falle i samme gruppe som indikerer samme verdi. Det opereres i utgangspunktet med tre grupper i analysen som vil indikere lav, middels og høy egg tetthet. Dette vil også være bakgrunnen for å gi gytefeltene en indeks fra 0 til 3 der 3 tilsvarer høy egg tetthet, 1 er gruppen med lavest tetthet og 0 tilsvarer bakgrunnstetthet (siden gytefelt påtegnet gjennom intervju også vurderes som gytefelt, vil potensielle gytefelt kunne ligge i områder der det ikke opptrer en forhøyet tetthet av egg under feltinnsamling.)

6.4 Eggdrift – vurderinger av eggfordeling

For å vurdere retensjonen og spredningen av egg etter gyting tegnes den geografiske fordelingen av egg etter en periode på 30 dager med eggdrift. Sentralt for denne vurderingen er tre kriterier: modalitet (hvor mange topper fordelingen har), overlapp med utgangspunktet og areal av forskjellige deler av fordelingen. En høy grad av retensjon (figur 14), som vil gi indeks 3, er betegnet ved at fordelingen har en topp, denne toppen ligger i område der eggene er gytt og arealet av 50 % fordelingen er i samme størrelsesorden som størrelsen på det potensielle gytefeltet (utstrekningen av område med stasjoner med forhøyet tetthet av egg eller område der fiskere har påtegnet at det er gytefelt). Ingen retensjon (Figur 15), som vil gi en indeks på 0, er betegnet ved at fordelingen er flat med få eller ingen tydelige topper, dekker et stort område som ikke overlapper (eller bare i liten grad) med område der eggene var sluppet ut i driftmodellen. Områder med lite retensjon og stor grad av spredning kan også ha en fordeling som i stor grad er påvirket av hvilken dag eggene slippes i driftsmodellen. Når

eggene driver langt vil de i større grad være påvirket av variasjoner i vært og vind som kan være forskjellig i begynnelsen og slutten av innsamlingsperioden.

De to mellomliggende kategoriene settes basert på en vurdering av de tre overnevnte kriterier i forskjellige deler av fordelingen (10 %, 25 % og 50 %)

6.5 Avgrensning

Siden et gytefelt i denne sammenheng skal forstås som det område der fisken gyter og der eggene oppholder seg i den pelagiske perioden, vil en avgrensning av gytefeltet måtte ta hensyn til både hvor det gjøres observasjoner av egg i felt og hvor de driver i perioden etter gyting, samt hvor fiskere har påtegnet gytefelt. Når flere av disse områdene overlapper med hverandre vil det mest omfattende område av disse tre bli påtegnet som gytefeltet. Som regel vil dette være område der eggene oppholder seg etter gyting (retensjonsområde). Hva som skal oppfattes som område der eggene oppholder seg vil variere. Område som omfatter 100% av sannsynlighetsfordelingen av egg etter drift vil være et svært omfattende område som vil være sterkt påvirket av stokastiske prosesser (Figur 15). Når det gjelder et område med svært god retensjon (verdi 1) vil selv 95% område omfatte et område på samme størrelsesskala som det potensielle gytefeltet (Figur 14).

7 Diskusjon og konklusjon

7.1 Verdisetting – indeks og verdi

Verdisettingen av gytefelt er som tidligere nevnt i hovedsak basert på økologiske kriterier. De to egenskapene som blir tillagt vekt i denne verdivurderingen er **produksjon**, gjennom en antagelse om at denne er proporsjonal med tettheten av egg i et gytefelt, og en vurdering av **retensjonen**. Retensjonen er tatt med siden dette er en viktig populasjonsdynamisk mekanisme som enten vil binde gytefelt sammen, gjennom drift av egg, eller skape tydelige populasjonsstrukturer gjennom retensjon av eggene på gytefeltet. Et område med høy retensjon vil også ha større risiko for skade ved et direkte eller indirekte inngrep. Hver av disse faktorene er rangert og gitt en indeks fra 0 til 3. Når disse to summeres gir de en verdi fra 0 til 6. Videre vil et gytefelt med verdiindeks 6 få en kategori A – Nasjonalt viktig, et gytefelt med verdi 5 få kategori B – Regionalt viktig mens de øvrige 2-4 vil få kategori C. Et gytefelt med verdiindeks 1, som enten vil være lav retensjon og kun bakgrunnstetthet av egg, eller lav tetthet av egg, men ingen retensjon vil ikke bli vurdert som et gytefelt. Videre vil alle gytefelt som får en kategori 0 på retensjon (ingen retensjon) bli regnet som at de ikke er gytefelt for kysttorsk og ikke bli tegnet inn.

7.2 Konsekvenser og premisser for verdisettingen

Verdisetting av naturtyper er omstridt og ikke nødvendigvis enkel. Noe av utfordringen, og det omstridte, er å tilpasse en kompleks biologisk situasjon til en svært enkel skala. Bruken av begrepet ”verdi” gir også forventninger om hva verdisettingen skal gjenspeile og hva dette kan brukes til. Forventningene til verdibegrepet vil derfor kunne oppfattes forskjellig ut fra hvilke forutsetninger som ligger til grunn og hvilken innfallsvinkel brukeren har til naturtypen. Det er tidligere i denne rapporten nevnt at for gytefelt vil verdi lett kunne tolkes i en økonomisk forstand, mens bakgrunnen for verdisettingen nesten utelukkende er av biologisk karakter.

Verdisettingen gir også en falsk forsikring om at den er global, generell og allmenngyldig. Dette betyr at en naturtype av verdi A alltid vil være viktigere enn en naturtype av verdi C. Uten å ha kontroll på alle faktorene som spiller inn er det heller ikke mulig å sette en slik allmenngyldig verdi. Mengden egg som produseres i et gytefelt vil for eksempel ikke alltid være en god prediksjon på verken hvor stor foreldregenerasjonen som gyter er eller hvor stor neste generasjon blir, siden selve verdisettingen ikke tar hensyn til dødelighet i perioden mellom bunnslåing og rekruttering til fiskeriet.

På grunn av de nevnte forhold er det ikke i alle sammenhenger riktig å lese verdisettingen som en rent normativ skala, men mer som en beskrivelse av de biologiske premisene som er lagt inn i verdisettingen. For gytefelt er det bare to forhold som spiller inn, antatt produksjon av egg, under forutsetning om at dette er proporsjonalt med tetthet av egg og populasjonsstrukturerende mekanismer. Det er flere forhold som kan føre til at tetthet av egg ikke er proporsjonalt med produksjon av egg. I et svært strømrikt område kan det være vanskelig å fange opp riktig tetthet av egg før de spres bort fra selve gyteplassen. Av

mekanismer som skaper eller bryter ned populasjonsstruktur (konnektivitetsmekanismer) er retensjon av egg bare en. Andre faktorer som vil påvirke er bevegelse hos voksen fisk mellom gytesesonger, og dersom gytefeltene ligger tett, vil fisk kunne bevege seg mellom forskjellige gytefelt innen samme gytesesong.

Gytefelt med verdi A vil være de enkleste å behandle i forhold til premissene. Det vil være områdene med aller høyest egg tetthet, som regel på flere stasjoner, og med en klar og tydelig retensjon av egg på gytefeltet. De kan godt være koblet til andre gytefelt gjennom at andre gytefelt bidrar med egg til dette område, men egg som slippes i område vil med stor sannsynlighet bli værende i område. Usikkerheten knyttet til disse områdene vil være at de er vurdert i forhold til andre stasjoner tatt i samme felt sesong. Dette gjør at alle regioner vil få noen A områder uten at disse nødvendigvis er like viktige. Grunnen til at de ikke kan gjøres sammenligninger mellom forskjellige områder er at stasjoner som deler av forskjellige feltinnsamlinger vil være tatt på forskjellige tidspunkter i forhold til toppen av gytingen. Hva som er mye egg vil derfor bare være mulig å sammenligne relativt i forhold til stasjoner tatt samtidig.

Gytefelt med verdi B vil være gytefelt med enten svært høye tettheter av egg og noe mindre retensjon eller områder med høy tetthet av egg og svært god retensjon. Om førstnevnte er tilfelle kan områdene godt være populasjonsdynamisk knyttet til andre gytefelt i område gjennom en begrenset spredning av egg. I begge tilfeller vil område betegnes som viktig.

Den største usikkerheten knytter seg til C-områdene og i nasjonalt program for kartlegging av marine naturtyper er heller ikke disse prioritert å kartlegge, men siden kartleggingen har en geografisk spredning på stasjonene vil disse kunne kategoriseres likevel uten noe ekstra feltinnsats.

Gruppen av gytefelt av kategori C vil inneholde flere forskjellige typer gytefelt. Områder som er påtegnet gjennom intervju, med middels til godt potensial for retensjon (indeks 2-3), men uten at det er funnet noe særlig egg (indeks 0-1) blir kategorisert som et C gytefelt. Også kombinasjoner av områder med noe til middels egg (1-2) og forholdsvis god retensjon (indeks 2-3) så totalindeksen bare blir 4 eller lavere vil bli C gytefelt.

Alle disse C-områdene kan være viktige gytefelt, men som ikke dekkes av de premissene som ligger i gytefeltkartleggingen. Områdene kan ha vært bedre tidligere og de kan være bedre gytefelt på et annet tidspunkt i sesongen enn da feltinnsamlingen ble gjennomført. Mindre mengder egg kan reflektere små populasjoner som sammen med en forholdsvis god retensjon kan dette bety at de er et viktig gytefelt for denne populasjonen. Små populasjoner vil kunne være mer sårbare for inngrep som påvirker gytefeltet og genetisk påvirkning siden genetisk drift vil skje fortere i en liten populasjon. Samtidig er det en stor grad av usikkerhet knyttet til om disse områdene faktisk er slik som antatt eller om de er mindre viktige gytefelt for en større populasjon. Om et område med veldig høy tetthet av egg (indeks 3) har en middels god retensjon (for eksempel indeks 2) vil dette gytefeltet til en hvis grad kunne spre egg til omkringliggende områder. I så tilfelle kan disse blir registrert som egne gytefelt, men med

lavere tetthet av egg. På denne måten kan en del C-områder være reelle retensjonsområder for egg fra et større gytefelt uten at fisken gyter i disse områdene. Disse gytefeltene vil da kunne være deler av samme gytefeltkompleks men fortsatt være påtegnet som forskjellige gytefelt.

Noen områder som blir kartlagt viser høye og svært høye tettheter av egg (indeks 2-3), men uten at det skjer noe særlig retensjon i område. Eggene blir spredt over store områder og hvor de havner vil være tilfeldig basert på været i mellomtiden. Dersom det ikke er noe retensjon (indeks 0) vil disse områdene ikke bli registrert som gytefelt, og dersom det er lite retensjon (indeks 1) vil de kunne bli registrert som et C-område. Dette kan være viktige gytefelter for populasjoner med en annen livshistoriestrategi enn stasjonær kysttorsk hvor populasjonsstrukturen er basert på retensjon. Fisk som lever i områder der eggene blir spredt vil kunne ha en kompensierende bevegelse tilbake til sine fødegytefelt før de selv skal gyte og på den måten ivareta populasjonsstrukturen.

I noen tilfeller blir det funnet svært få egg i store områder i feltundersøkelsene. I så tilfelle vil det være vanskelig å avgjøre hva som er mye egg og hva som er lite egg. Forskjellene mellom stasjoner med høy og middels tetthet av egg kan i så tilfelle bare utgjøre noen få egg som vil være påvirket av en stor grad av tilfeldighet.

Til slutt er det også viktig å bemerke at kartleggingen av gytefelt gjør at andre områder blir mindre viktig. Områder som er registrert gjennom intervjuinformasjon som gode fiskeområder for gytemoden fisk kan ha en stor økonomisk betydning og være viktige å beskytte mot inngrep som kan ødelegge disse, uten at de er registrert som del av gytefeltene som er kartlagt under det nasjonale naturtypekartleggingsprogrammet. Både områder for gytemoden fisk og gytefelt (eggfelt), samt oppvekstområder for bunnslått yngel, er viktige områder for å sikre rekruttering av ny fisk.

8 Referanser

- Albretsen J, Røed LP (2010) Decadal long simulations of mesoscale structures in the North Sea and Skagerrak using two ocean models. *Ocean Dynamics* 60: 933–955. doi: 10.1007/s10236-010-0296-0.
- Albretsen J, Sperrevik AK, Staalstrøm A, Sandvik AD, Vikebø F, Asplin L (2011) NorKyst- 800 Report no. 1 - User manual and technical descriptions, Tech. Rep. Fisken og Havet 2/2011, Institute of Marine Research, P.O.Box 1870 Nordnes, N-5817 Bergen, Norway.
- Ciannelli L, Knutsen H, Olsen EM, Espeland SH, Asplin L, Jelmert A, Knutsen JA, Stenseth NC (2010) Small-scale genetic structure in a marine population in relation to water circulation and egg characteristics. *Ecology*, 91: 2918-2930.
- Egbert GD, Erofeeva SY (2002) Efficient Inverse Modeling of Barotropic Ocean Tides, *J. Atmos. Ocean. Tech.*, 19: 183-204.
- Espeland SH, Olsen EM, Knutsen H, Gjøsæter 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. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 372: 231-241.
- Espeland SH, Gundersen AF, Olsen EM, Knutsen H, Gjøsæter J, Stenseth NC (2007) Home range and elevated egg densities within an inshore spawning ground of cod. *ICES Journal of Marine Science*, 64: 920-928
- Haidvogel DB, Arango HG, Budgell WP, Cornuelle BD, Curchitser E, Di Lorenzo E, Fennel K, Geyer WR, Hermann AJ, Lanerolle L, Levin J, McWilliams JC, Miller AJ, Moore AM, Powell TM, Shchepetkin AF, Sherwood CR, Signell RP, Warner JC, Wilkin J (2008) Ocean forecasting in terrain-following coordinates: Formulation and skill assessment of the Regional Ocean Modeling System. *Jour Comp Phys* 227(7): 3595-3624.
- Knutsen H, Olsen EM, Ciannelli L, Espeland SH, Knutsen JA, Simonsen JH, Skreslet S, Stenseth NC (2007) Egg distribution, bottom topography and small-scale cod population structure in a coastal marine system. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 333: 249-255
- 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(2): 385-394.
- LaCasce JH, Røed LP, 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.
- Robichaud D, Rose G (2001) Multiyear homing of Atlantic cod to a spawning ground. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58: 2325-2329.
- Russel FS (1976) *The eggs and planktonic stages of British marine fishes*. Academic Press, London.
- Shchepetkin AF, McWilliams JC (2005) The Regional Ocean Modeling System (ROMS): a split-explicit, free-surface, topography following coordinate oceanic model. *Ocean Modeling* 9:347-404.
- Statens kartverk 2011. <http://www.statkart.no/Lengre+kyst+og+flere+%C3%B8yer.d25-SwZrY27.ips>. Januar 2013.
- Stenevik EK, Sundby S, Agnalt AL (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.
- Svedäng H, Righton D, Jonsson P (2007) Migratory behaviour of Atlantic cod *Gadus morhua*: natal homing is the prime stock-separating mechanism. *Marine Ecology Progress Series* 345: 1-12.
- Taylor IM, Fox C, Rico I, Rico C (2002) Species-specific TaqMan probes for simultaneous identification of (*Gadus Morhua* L.), Haddock (*Melanogrammus aeglefinus* L.) and Whiting (*Merlangius merlangus* L.). *Molecular ecology* 2: 599-601.
- Thorrold SR (2010) Natal Homing in a Marine Fish Metapopulation. *Science* 297: 10-13.
- Ådlandsvik B, Sundby S (1994) Modelling the transport of cod larvae from the Lofoten area. *ICES J. Mar. Sci. Symp.* 198: 379-392.

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

