

Effekter av lakseoppdrett på gyteadferd til vill torsk 2002-2003

Terje Svåsand¹, Pål-Arne Bjørn², Trine Dale², Arne Ervik¹, Pia Kupka Hansen¹,
Jon-Erik Juell¹, Ørjan Karlsen¹, Kathrine Michalsen¹, Ove Skilbrei¹, Bjørn-
Steinar Sæther² og Geir Lasse Taranger¹.

Samarbeidsprosjekt mellom Havforskningsinstituttet¹ og Fiskeriforskning².
Finansiert av Norges forskningsråd (Fiskeri- og havbruksnæringens
forskningsfond)

Februar 2004

Vedlegg 1 Oppnådde faglige resultater

Bakgrunn

Siden starten av 1980-årene har havbruksnæringen vokst til å bli like viktig som fiskeriene, og fiskeri og havbruk er utpekt som en av fremtidens bærebjelker når oljeinntektene på sikt vil avta. Skal denne utviklingen lykkes, må fiskeri og havbruk kunne utvikles side om side. Mulige konfliktområder må utredes og tiltak må settes i verk for å hindre negativ påvirkning.

Våre viktigste kommersielle fiskebestander har gyteområder langs kysten, i tillegg til en rekke stedeagne bestander. Dersom oppdrettsanlegg legges i tilknytning til slike områder, er det flere teoretiske muligheter for interaksjoner. Det er derfor uttrykt bekymring for at lakseoppdrett har negativ påvirkning på torskens fordelingsmønster i gytasesongen, og dermed muligens også på torskens reproduksjonssuksess.

For å finne ut mer om denne problemstillingen startet Havforskningsinstituttet i Bergen og Fiskeriforskning i Tromsø et 2-årig samarbeidsprosjekt i 2002, finansiert av Fiskeri- og Havbruksnæringens Forskningsfond gjennom Norges forskningsråd, og med en økonomisk ramme på 3 millioner kroner.

Ved oppstart var vitenskapelig kunnskap om mulige interaksjoner mellom kysttorskens vandring og lakseoppdrett svært mangelfull, og prosjektet måtte ta utgangspunkt i mer generelle problemstillinger, og fokusere på torskens adferd i forhold til de mer sannsynlige miljøvirkningene fra oppdrettsanlegg, for å klarlegge eventuelle sammenhenger. Nærpåvirkning kan omfatte fysiske barrierer, gjødsling og utslipp av ulike slag. Mange lakseanlegg bruker lys på merdene for å påvirke laksens biologiske rytmer og dermed redusere kjønnsmodningen og øke veksten. I nærområdet vil ekstralys registreres av torsken og teoretisk kunne påvirke atferd og kjønnsmodning. I dagens oppdrettsanlegg står store mengder fisk, og dersom torsk blir påvirket av kjemiske stimuli (som feromoner), vil vandringsmønsteret kunne påvirkes. Påvirkningen kan skje ved at torsk enten bli tiltrukket eller skremt bort. Disse forhold vil også påvirke plankton/byttedyr slik at effektene på torsk kan være indirekte.

Fjernpåvirkning over flere kilometers avstand kan også tenkes. Torsk gyter ofte i bakevjer, og dersom forurensing fra anlegg samles opp i disse retensjonsområdene, vil blant annet oksygenvikt kunne gi økt dødelighet på egg og larver. I tillegg er det ukjent om torskens vandring mot gyteområdet forstyrres når den passerer oppdrettsanlegg. Slike forstyrrelser kan skyldes både de før omtalte signalstoffene fra laksen eller oppløste eventuelt partikulære utslipp fra laksefôret eller ekskrementene fra laksen. Det er også kjent at bunnsedimenter som er sterkt organisk belastet frigjør en rekke ulike stoffer som kan være skadelige for fisk. Dersom oppdrettslokalitetene er sterkt belastet, er det derfor mulig at utslipp fra sedimentene kan påvirke torskens atferd.

For å finne svar på disse spørsmålene ble det gjennomført eksperimentelle forsøk både ved Havforskningsinstituttet og ved Fiskeriforskning, og feltstudier ble gjennomført i Øksfjorden i Finnmark fylke. Miljøforholdene ved oppdrettsanlegg i fjorden ble undersøkt, og torskens bevegelser mot gytefeltet i fjorden kartlagt. Feltforsøkene ble støttet opp med eksperimentelle studier av torskens adferd i forhold til lukt- og lyspåvirkning fra oppdrettsanlegg.

Hovedmål:

Å klarlegge om lakseoppdrett påvirker torskens adferd, gytevandring og bruk av gytefelt.

Delmål:

- Om torsk tiltrekkes/frastøtes av luktstoffer fra oppdrettsanlegg.
- Om torsk tiltrekkes/frastøtes av lys fra oppdrettsanlegg og om gonademodning og gytetidspunkt påvirkes.
- Om oppdrettsanleggene påvirker miljøforholdene på feltlokaliteten.
- Kartlegging av torskens vandring i fjordområde med oppdrettsaktivitet.

HOVEDRESULTATER

Tiltrekkes eller frastøtes torsk av luktstoffer fra oppdrettsanlegg

Adferdsbaserte responser på tilsetning av vann fra et kar med laks ble observert hos henholdsvis umoden og kjønnsmoden torsk i perioden november 2002 – april 2003. Vannet fra laksekaret simulerer endringene man forventer å finne rundt oppdrettsanlegg i fjordområder. Fisk har generelt et svært godt utviklet sanseapparat, spesielt smak og luktesans, og et fåtall molekyler fra organiske komponenter kan være tilstrekkelig til at fisk registrerer det (Hara 1994; Sorensen and Caprio 1998). Slike vannløselige komponenter kan for eksempel stimulere gyteadfærd (hormonelle feromoner), eller ha en frastøtende virkning ("alarmstoff"). Flere arter, inkludert Atlantisk laks, produserer vannløselige hormonelle feromoner, og disse artene kjennetegnes også av svært velutviklet luktesans.

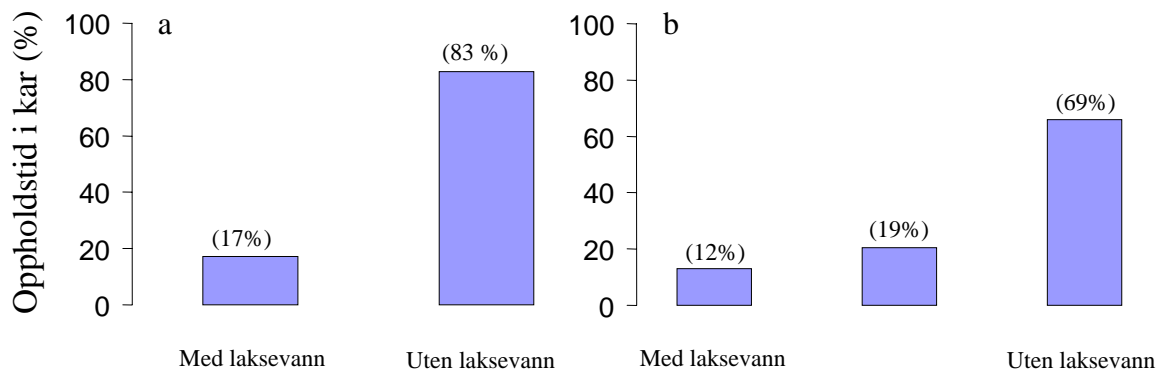
Luktekspesimerter med umoden torsk

Den umodne torken ble testet enkeltvis i et to-kammer-system som fisken kunne bevege seg fritt mellom, og der man kunne manipulere vannkvaliteten i det ene kammeret uten at det andre ble påvirket. I forsøket testet vi torskens preferanse i forhold til vanlig sjøvann, og vanlig sjøvann tilsatt vann fra en tank med laks som gikk under vanlige oppdrettsbetingelser (10 % av total innløpsmengde ble tilsatt gjennom felles vanninntak). Vannet fra laksekaret ble tatt fra midten av vannsøylen og ble silt (1 mm) for å stanse større partikler. Vannet var ellers identisk med vannet i preferansesystemet. Tilsetningen førte ikke til endringer i vannhastighet, oksygen-, saltinnhold eller visuell endring i vannkvalitet.

Før eksperimentet ble gjennomført, ble fisken akklimatisert til systemet over natten. Hvert forsøk varte deretter i fire timer og fisken ble videofilmet gjennom forsøket. For å etablere bakgrunnsdata over fiskenes individuelle adferd, ble fisken filmet den siste timen før behandlingen ble startet. Laksevann ble deretter tilsatt vekselvis til begge kamrene; først i en time på den ene siden, deretter fikk systemet renses seg og til slutt ble laksevann tilsatt til det andre kammeret i en time.

Resultatene fra totalt 10 forsøk viste at umoden fisk valgte å oppholde seg betydelig mer i kammeret som ikke var tilsatt laksevann (83 % av tiden i kammeret uten laksevann og 17 % i kammeret med laksevann, Figur 1a), uavhengig av hvilket kammer som tilsetningen ble gjort i. To av fiskene responderte imidlertid ikke på tilsetning, og foretrakk det ene kammeret. To andre viste en liknende tendens, men på langt nær nok til å overskygge behandlingseffekten. I korthet kan resultatene derfor sammenfattes slik: Uten vanntilsetning fra laksekaret, svømte fisken fram og tilbake i en relativt konstant bevegelse og de stoppet sjeldent å svømme. Når et av kamrene ble tilsatt laksevann, stoppet torken vanligvis å svømme mellom kamrene, og

stod stille i kammeret uten behandling kun avbrutt av korte og irregulære besøk i kammeret med vann fra laksekaret.



Figur 1. Oppholdstid hos villfanget torsk (a – umoden og b – kjønnsmoden) i kar med og uten tilsetning av vann fra kar med laks. Den midterste søylen i Figur b angir oppholdstid i kar uten direkte tilsetning av laksevann, men hvor en lav konsentrasjon er forventet som følge av fortynning.

Luktes eksperimenter med gytemoden torsk

Forsøkene med gytemoden torsk ble gjennomført som med umoden torsk, men i et nytt og mye større preferansesystem. Dette systemet bestod av tre sirkulære kar som ble koblet sammen til en rekke gjennom to korte rør med stor diameter, og fisken kunne bevege seg fritt mellom karene. Vannkvaliteten i ett av de ytterste karene kunne dermed manipuleres, uten at vannkvaliteten i karet i motsatt ende ble påvirket. I tillegg kunne vi studere effekten av fortynning siden midtkaret ble svært svakt påvirket av tilsetningen.

Resultatene fra totalt 15 forsøk, viste at kjønnsmoden fisk oppholdt seg lengre i tanken uten vann fra laksekaret i forhold til tanken som ble tilsatt vann fra laksekaret (69 % av tiden ble benyttet i karet uten tilsetning, mens 12 % av tiden ble brukt i karet med tilsetning og 19 % av tiden ble benyttet i midtkaret, Figur 1b). Disse resultatene var igjen uavhengig av hvilken av endekarene som ble behandlet med vann fra laksen. To av fiskene viste imidlertid ingen klar respons på tilsetning av laksevann. Resultatene fra testene av kjønnsmoden torsk, kan kort sammenfattes på følgende måte: I tre-kammer-systemet svømte torsk også kontinuerlig mellom karene før laksevann ble tilsatt. Nok en gang forandret denne atferden seg når vann fra laksekaret ble tilsatt til ett av endekarene. Fisken sluttet da med å vandre kontinuerlig mellom karene, og oppholdt seg nesten utelukkende i karet uten tilsetning kun avbrutt av korte besøk i karene med vann fra laksen.

Konklusjon og vurdering av resultatene

Samlet viser begge studiene at villfanget torsk oppholder seg i vann uten, eller med laveste konsentrasjon av, tilsetning av vann fra kar med laks. Denne endringen i adferd skyldes sannsynligvis vannbårne kjemiske komponenter fra laksekaret. Videre studier er nødvendig for å klarlegge hvilke komponenter dette dreier seg om, og hvilke konsentrasjoner de må opptre i for å gi de observerte effektene. Siden endringer i vannets gassmetning synes usannsynlig som forklaring, er kjemosensoriske stimulanter mest nærliggende årsak til adferdsendringene. I kjemosensoriske studier på fisk er det vist at luktstoffer, i større grad enn smaksstoffer, kan gi endringer i adferd lik de observerte (Sorensen and Caprio 1998).

Resultatene fra de eksperimentelle luktstudiene strider ikke mot fiskernes antagelser om at kysttorsken endrer adferd som følge av etablering av oppdrettsanlegg. De observerte adferdsendringene skyldes sannsynligvis vannbårne olfaktoriske komponenter. De eksperimentelle studiene må imidlertid valideres og videreføres i forsøk i laboratoriet, så vel som i felt, før konklusjoner om eventuell påvirkning på kysttorskens vandring i naturen kan trekkes.

Tiltrekkes eller frastøtes torsk av lys fra oppdrettsanlegg og om gonademodning og gytetidspunkt påvirkes

Kjønnsmodnende torsk ble fordelt i to 12x12x20 m merder, den ene ble holdt på naturlig lys mens den andre ble lyssatt med 1000 W kontinuerlig tilleggslys fra en metallhalogen lampe hengt sentrert over merden i perioden fra begynnelsen av november 2002. Hver av merdene hadde 540 torsk med en snittvekt på 4,6 kg.

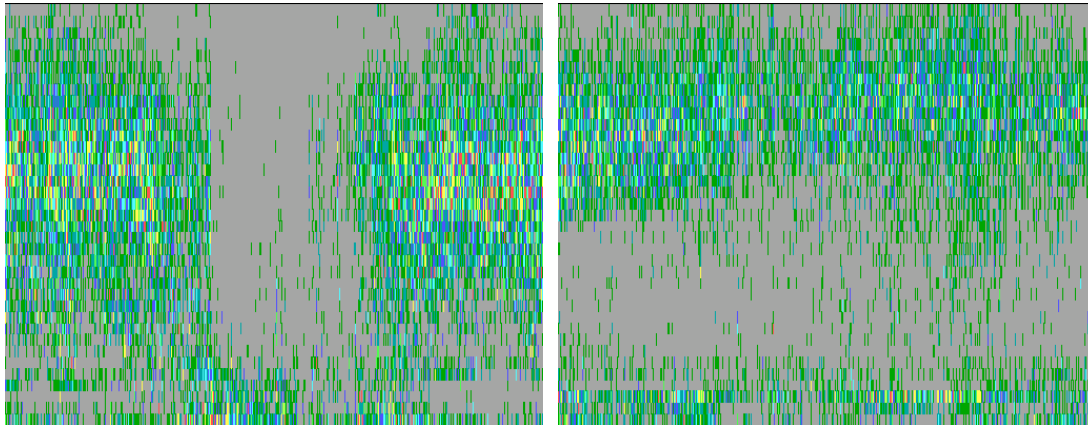
Atferdsobservasjoner

Visuelle observasjoner bekreftet at torsken var gytemoden ved at det ble observerte gyteadfærd (ca. 100 fisk pr natt) i begge nøtene (med og uten lys). De står i samme hjørne mot strømmen og samme dyp i begge merdene. Torsken ser ut til å foretrekke notveggen mot strømmen. Atferdsobservasjonene ble gjennomført med et ekkoloddsystemet "Merdøye" ved å plassere en 22°, akustisk svinger 5-6 meter under merdbunnen. Dette gir normalt et godt bilde av vertikale bevegelser hos fisken. Initielle observasjoner i januar 2003 med bruk av 1 KW overflatelyst viste at i begge nøtene trekker fisken ned om dagen, men i lysgruppen står fisken lavere om natten enn i noten uten lys, der fisken er spredt over en større del av vannsøylen.

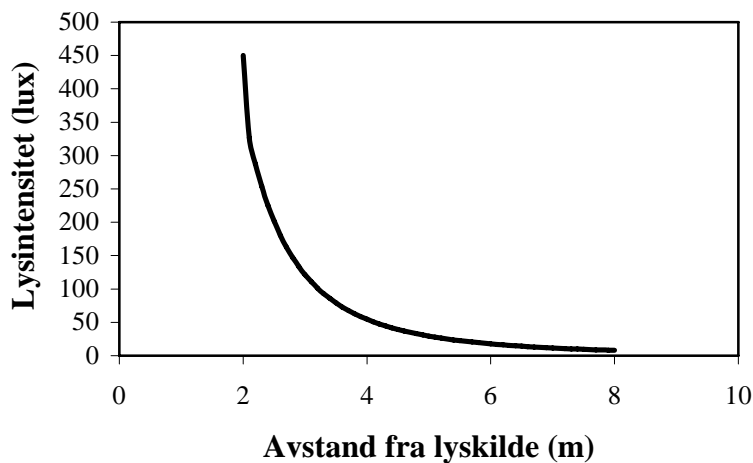
Overflatelystet ble deretter byttet ut med 500 W undervannslys. Bruk av lys hadde medført en atferdsforskjell mellom gruppene, og begge gruppene ble derfor holdt i mørke i en uke før lyset ble slått på. Videre observasjoner er basert på dette.

Akustiske observasjoner av svømmedyp i tidsrommet februar-mars 2003 viste at lyssetting endret torskens naturlige døgnvandring hvor den søkte ned i merden på dagtid (Fig. 2). Kunstig overflatebelysning førte til at torsken i mindre grad søkte ned om dagen, sannsynligvis fordi overgang mellom dag og natt ble mindre. Atferdsobservasjoner hvor 500 W undervannslys alternerende ble plassert høyt eller lavt i merden, viste at belysning ved merdbunn hadde tilsvarende effekt, men torsken svømte gradvis høyere i merden.

Teoretisk vil lysintensiteten avta med kvadratet av avstanden fra lyskilden (Ryer 1997). Målinger i laksemerder har bekreftet slike reduksjoner (Juell m. fl. 2003, Juell og Fosseidengen *in press*). Det teoretiske tapet av lys i klart vann er presentert i Fig. 3



Figur 2. Svømmedyp til gytemoden torsk uten kunstig lys (venstre bilde), hvor torsken unnviker dagslyset, og i merd med 500 W undervannslys plassert 17 m under overflaten (høyre bilde) hvor torsken står høyt i vannsøylen hele døgnet



Figur 3. Teoretisk tap av lysintensitet med økende avstand fra lyskilde i klart vann. Reelt tap vil være høyere hvis det er partikler i vannet og skyggeeffekt fra fisk i merden.

Hvis lysintensiteten i utkanten av merden f. eks er 1 lux vil denne være 0,0001 lux 100 m fra anlegget og 0,000001 lux (sannsynligvis ikke målbar) 1000 m fra anlegget. Resultatene indikerer altså at gytemoden torsk unnviker lys i kildens nærområde. Kunstig lys taper raskt sin intensitet i vann og effekten på frittsvømmende vill torsk må derfor tolkes med forsiktighet. Effekten av lyssetting på frittsvømmende vill torsk må sees i lys av det relativt begrensede område et lyssatt lakseanlegg påvirker.

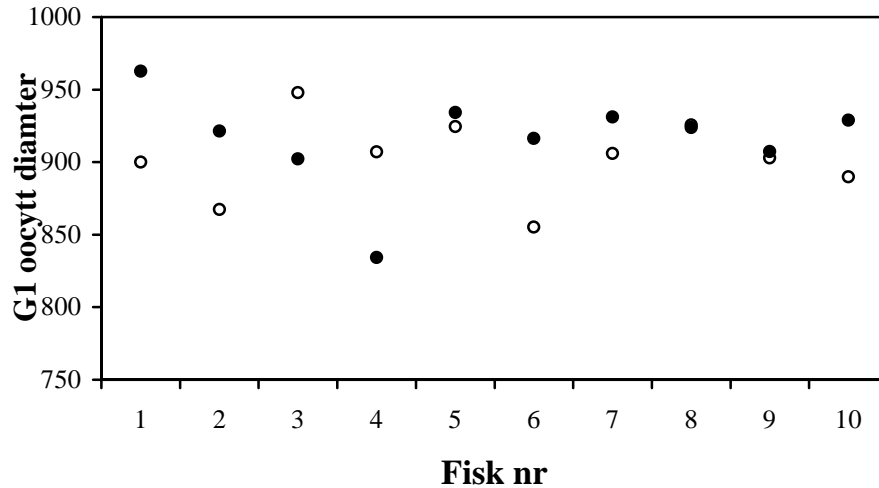
Effekter av lys på gytetidspunkt

Tidligere forsøk med lys har vist at i innendørs kar vil torsk som er holdt på naturlig lys frem til vintersolverv, for deretter å bli overført til kontinuerlig tilleggslis, respondere på

endringene ved å gyte tidligere, avslutte gytingen tidligere, og totalt sett produsere færre egg enn i en normal gyting (Hansen *et al.* 2001). Tilsvarende vil torsk som holdes på kontinuerlig lys frem til vintersolverv for deretter å overføres til naturlig lys igangsette modningen, men gytingen ble da tre måneder forsinket i forhold til naturlig gyting (Hansen *et al.* 2001). Disse forsøkene ble utført i innendørs kar med en svak naturlig belysning gjennom takvinduer. Tilsvarende finner en at kontinuerlig lys i lysstette utendørs kar vil utsette modningen med minst ett år (Karlsen *et al.* 2000). Tilsvarende er det vist at stamfisk kan manipuleres til å gyte uavhengig av ytre årsrytme ved å endre årstidsoppfattelsen ved at en første året forlenger eller forkorter årssyklusen (Norberg *et al.* 2004). Eksperimenter utendørs har tidligere ikke gitt tilsvarende entydige resultater, og ulike forsøk har indikert at dette skyldes at det naturlige lyset er så sterkt at det har vist seg vanskelig å overstyre den rytmen (Porter *et al.* 2000). I merder har en benyttet inntil 3200 W metallhalogen overflatelyst i 5 m dype merder, og en har gjennomført en serie av forsøk med ulike lysintensiteter i merder. Disse resultatene, hvor lyset har vært satt på senest i september har vist at en kan utsette modningen til torsken med 4-6 måneder (Taranger *et al.* manus, Karlsen *et al.* upublisert), men en har ikke vært i stand til å blokkere utviklingen. En observerer da også at en andel av fisken vil gyte på normalt tidspunkt, og således ikke bli påvirket av lyset. Basert på at det er forskjellen mellom det naturlige lysstimuli og det kunstige kontinuerlige lyset som vil avgjøre om torsken oppfatter endringer i daglengde, er det gjennomført to forsøk for å avklare hvor mye lys som er nødvendig for å arrestere gonadeutviklingen. Forsøkene er så nye at de ikke er ferdig analysert (Dahle *et al.* 2000, Karlsen *et al.* upublisert), men disse forsøkene indikerer at en trenger mellom 300 og 900 lux lysintensitet for å blokkere gonademodningen, mens svakere lys vil utsette modningen til en viss grad for en del av fisken. Lys vil derfor virke noe ulikt ved ulike lysintensiteter, og når lysbehandlingen er igangsatt i forhold til gonademodningen.

På Vestlandet starter inkorporeringen av næringssemner til de modnende eggkornene i november (vitellogenese), og eggene øker i størrelse frem mot gyting. Basert på størrelsene til de største eggene (G1 oocytene) kan en estimere hvor langt torsken er kommet i modningsprosessen, og ved kjente temperaturer kan en estimere når fisken vil gyte (Kjesbu 1994). For å avklare om benyttet lys hadde en effekt på tidsutviklingen ble det tatt prøver fra 10 hunnfisk i hver av disse behandlingene. Rognprøvene ble tatt fra midt i den høyre rognsekken, fiksert på bufret formalin og senere størrelsesmålt (Fig. 4).

Ingen av hunnene hadde hyaline egg, noe som indikerer at de ikke hadde startet gytingen. Det ble ikke funnet forskjell i rognstørrelsen mellom gruppene (Mann-Whitney U-test, $P = 0,16$), og en vil derfor heller ikke forvente at det er forskjell i gytetidspunkt mellom gruppene



Figur 4. G1 oocyt diameter i januar 2003 for hunntorsk holdt på naturlig lysrytme (Uten lys, åpne sirkler) og hunntorsk holdt på kontinuerlig tilleggsllys fra 1000 W metallhalogen overflatelys fra november 2003 (Lys, fylte sirkler)

Konklusjon og vurdering av resultatene

Forsøket viste at lyssetting av merder endret den naturlige døgnvandringen hvor gytemoden torsk stod høyt om natten, dypere om dagen. Ved bruk av overflatelys, eller undervannslys rett under overflaten stod torsk dypere om natten enn i gruppen uten lys. Ved bruk av undervannslys ved merdebunnen stod også torsken høyere om dagen. Det brukte lyset påvirket ikke målbart gonadmodningen. Da lysintensiteten fra et oppdrettsanlegg tapes raskt, er det lite sannsynlig at lys fra oppdrettsanlegg vil påvirke modningsprosessen hos torsk hvis den ikke står rett under oppdrettsanlegget hele tiden. Resultatene må tolkes med en viss forsiktighet da resultatene er basert på oppdrettstorsk på Vestlandet med en naturlig stor endring i lysintensitet mellom dag og natt. Hvordan dette vil være i andre regioner med andre stammer og mindre forskjeller i naturlig lysintensitet mellom dag og natt, er ikke undersøkt.

Blir miljøforholdene på feltlokaliteten påvirket av oppdrettsanlegg i fjorden

Miljøet på bunnen under og rundt de tre lakselokaliteter som er i bruk i den indre Øksfjord ble undersøkt ved hjelp av parametrene som inngår i norsk standard NS 9410 (NAS 2000): redokspotensial, pH, konsistens, lukt, farge, tilstedeværelse av dyr, samt følgende tilleggsparemetere: total organisk karbon og nitrogen, sink og total fosfor. Store deler av bunnen i den indre Øksfjord ble kartlagt med kartplottersystemet OLEX. Undersøkelsene gir et oversiktsbilde over miljøtilstanden under og ut fra de tre lakselokalitetene.

De tre lokaliteter ligger i skråninger på siden av fjorden som i sin indre del har en dyprene på ca. 150 m dyp. Hvor fjorden bøyer ligger et dyphull med et største dyp på 240 m (Fig. 5). Lokalitet 1 lå i skråningen ovenfor dyphullet og sedimentet under merdene bestod mest av fjellbunn. Ved en av merdene var det sandbunn og her fantes fekalier på bunnen ved merden, men bunnen viste ellers ingen tegn på å være påvirket. En transekt ble lagt fra merdene ut i dyphullet. Langs transekten var der fjellbunn inntill 236 m dyp. Prøver fra dyphullet viste at sedimentet bestod av fine partikler av sand og mudder og var et sedimentasjonsområde med forhøyde karbon verdier. Imidlertid var redokspotensialet positivt og andre parametre viste heller ingen tegn på at der var mye omsetning i sedimentet .

Lokalitet 2 lå på motsatt side av fjorden og lokaliteten var delvis dekket av fjellbunn. På to av ti målestasjoner under anlegget var redokspotensialet negativt, og det ble registrert fekalier på bunnen. Den ene stasjonen hadde høyt innhold av karbon og var sterkt påvirket av avfall fra anlegget. Halvdelen av prøvene luktet hydrogensulfid og nedbrytning av marint fett, og

sedimentet var mørkt og mykt. Lokalitetens tilstand lå i klasse 2 etter norsk standard NS9410, hvilket er påvirket uten å være kritisk. I et transekt fra merdene ut i dyprennen bedret sedimentmiljøet seg, og det var ingen tegn på organisk anrikning på den dypeste stasjon på 145 m.

Lokalitet 3 lå lengre inne i fjorden på samme side som lokalitet 1. Merdene lå over et større platå med fin sandbunn. Under en av merdene var redokspotensialet -143 mV, og det var fôr/fekalier på bunnen og sedimentet luktet sterk. I en transekt fra merdene ut over platået var det ingen lukt, redokspotensialet var positivt og andre parametere samsvarte med målinger i dyphullet.

Den ytterste lokalitet var ikke påvirket av oppdrettsvirksomheten, men lokaliteten hadde kun vært i bruk siden 2002. På lokalitet 2 og 3 var det målbare spor etter oppdrettsvirksomheten, men kun i mindre grad og det var begrenset til anleggets nærområde.

Kartlegging av torskens vandring i fjordområde med oppdrettsaktivitet

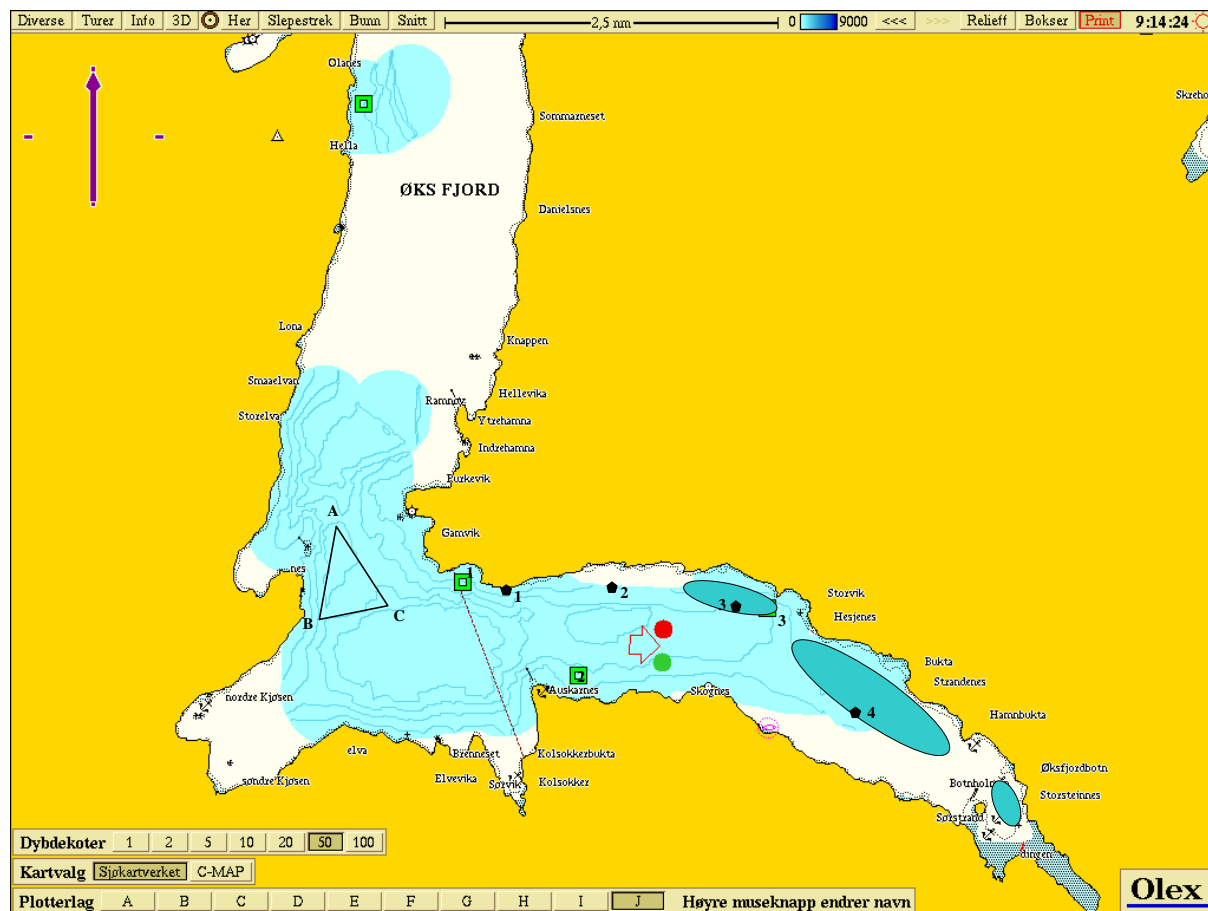
Akustiske merkeforsøk

Innfanging av fisk

Det viste seg å bli svært vanskelig å få tak i gytemoden torsk fra Øksfjorden. En innleid snurrevadbåt hadde problemer med bunnforholdene i midtre del av fjorden og aller innerst ble det ikke observert fisk før i slutten av mars 2003. For å sikre at vi i det hele tatt hadde fisk å merke, ble to garnfiskere leid inn. De satte sine garn i midtre del av Øksfjorden. Fiskene ble merket og lagret i en merd i ca 1-2 uker før de ble merket. Også snurrevadbåten leverte fisk fra de indre delene av fjorden til samme merd. Mange av disse fiskene døde imidlertid, slik at det var hovedsakelig garnfanget fisk fra de midtre delene av fjorden som ble brukt i forsøket. I tillegg ble det fisket med juksa under selve merkeforsøket. To av disse fiskene ble senere merket.

Merkemetodikk

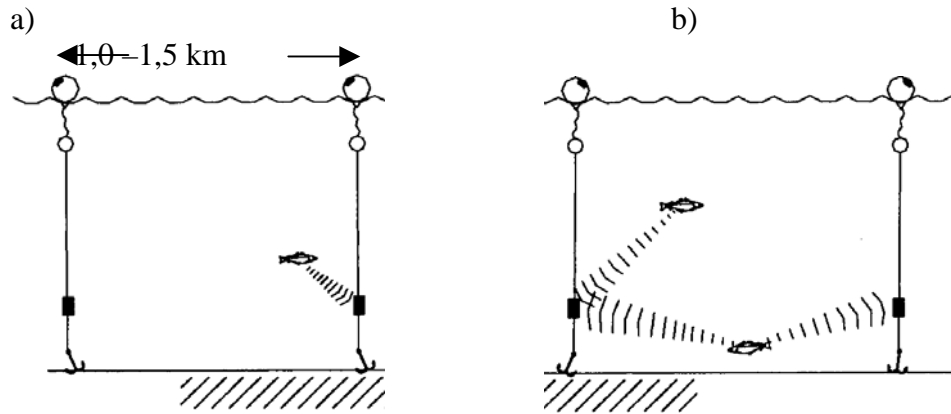
Siden vi ønsket å få detaljert informasjon om hvordan enkeltindivider av gytemoden torsk beveger når den er kommet inn i fjorden, valgte vi å bruke akustiske merker (16mm dia. x 74 mm lengde, 14 gram i vann). Disse merkene sender ut lyd (ca hvert 1500 millisek., med 158 desibel styrke) som blir oppfattet av tre Vemco posisjoneringsbøyer som ligger i overflaten (Fig. 5). Alle bøylene må motta signaler fra merket før man kan få oppgitt nøyaktig posisjon til hver enkelt fisk. Jo flere merker man har i systemet samtidig, jo lengre tid tar det før man får en oppdatering av posisjonen for hver av fiskene. For å kunne skille mellom ulike individer, sender merkene ut signaler med ulike frekvenser. Produsenten av merkene lager bare totalt 11 ulike frekvenser. Siden flere merker av samme frekvens vil blokkere for hverandre og føre til at systemet kollapser, kunne vi ikke merke flere enn 11 fisker. Vemco-bøylene ble plassert i en trekant med en distanse på 467-662 meter mellom hver bøye. Signalene fra merkene hadde en rekkevidde på 600-900 meter, avhengig av bunntopografi, og sjiktning i vannmassene som vil påvirke lydens gang gjennom vannet i form av refleksjon, støy og skyggeeffekt. Posisjoneringsbøylene ble plassert i nærheten av "Arneset" (Figur 5), men det var ikke mulig å få til en fullstendig dekning av hele fjordarmen.



Figur 5. Kart over Øksfjorden. Trekanten ved Arneset indikerer lokaliseringen av posisjoneringsbøyene, A, B, og C. Fylte, svarte symboler indikerer lokalisering av de fire lyttebøyene. Lokalisering av de tre oppdrettsanleggene er vist som firkanter, og tre gyteområder er inntegnet (mørkere områder).

I tillegg til dette posisjoneringssystemet, brukte vi merker og bøyler som bare gir informasjon om fisken er i nærheten av lyttebøyen eller ikke. Merkene sender ut lyd med varierende mellomrom og inneholder et ID-nummer som gjør det mulig å identifisere den fisken som oppholder seg i nærheten av de ulike bøyene (Fig. 6). Det ble merket 8 fisk med denne merketypen. Fire lyttebøyler ble plassert på østsiden i den indre delen av Øksfjorden, fra Steinsviknes til Øksfjordbotnen, med 1-1,5 km avstand mellom hver av bøyene. Siden det lå et oppdrettsanlegg ved Steinsvikneset og torskens gytefelt var lokalisert langs østsiden av denne delen av fjorden, ville vi både få en indikasjon på om torsken oppholder seg i nærfeltet til anleggene, og om noen av fiskene vandrer inn til de tidligere observerte gytefeltene i den indre delen av fjorden (Fig. 5). Lyttebøyene stod ute i ca 1 måned, fra 8 april til 7 mai 2003 (begrenset av levetiden på batteriene i lyttebøyene).

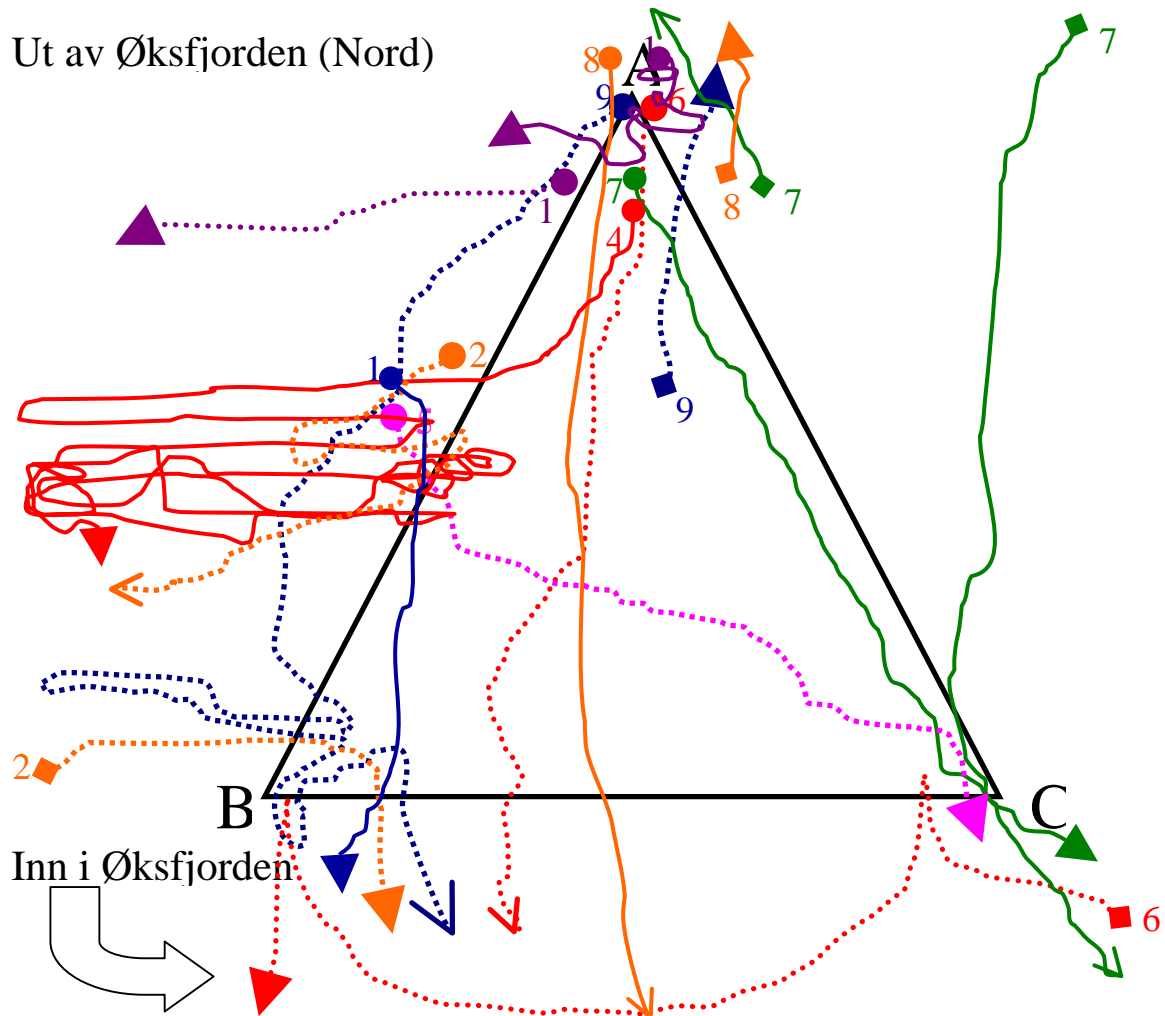
I forbindelse med merkingen ble fisken bedøvet, buken sprettet, merkene plassert og såret sydd igjen. Deretter gikk fisken i et kar til observasjon. Dagen etter ble de merkede fiskene sluppet ut, en etter en. Genetiske prøver ble tatt av all merket fisk, modningsstatus ble sjekket og fisken ble behandlet forsiktig og i tråd med reglene for håndtering av fisk i forsøk.



Figur 6. Skjematisk fremstilling av forankring og virkemåte for lyttebøyene: a) og b) viser hvilken effekt ulike posisjoner av fisken vil ha for registreringen av lyttebøyene.

Resultater fra posisjoneringsforsøket

Av de 11 fiskene som ble satt ut, vandret bare to av fiskene ut av fjorden, åtte fisker vandret sørvest eller sørøst, videre inn i fjorden (Fig. 7). Ett merke var trolig defekt og ble ikke registrert av bøyene i det hele tatt. En av fiskene som vandret ut av fjorden ble gjenfanget i Havøysund noen uker senere. Av de 11 fiskene var seks av dem hanner, de resterende fiskene var det vanskelig å bestemme kjønnet på, noe som tyder på at de også mest trolig var umodne (Tabell 1). Fiskene var til observasjon i alt i fra 0,6 til 53 timer.

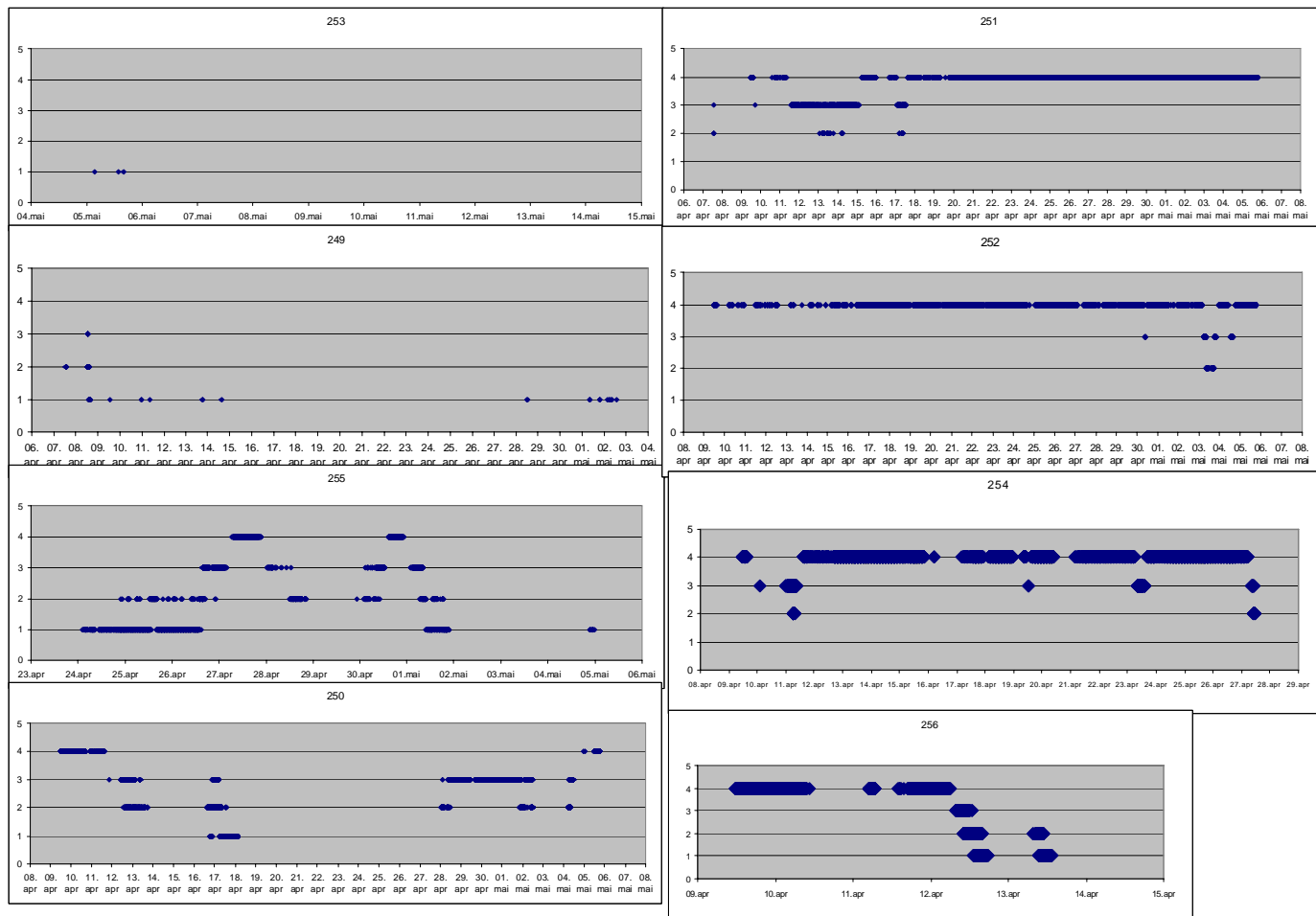


Figur 7. Skjematisk fremstilling av posisjoneringsbøyene A, B og C. Distanse mellom bøye A og B=662m, mellom bøye A og C=607m og mellom bøye B og C=467m. De nummererte linjene representerer vandringene til de ulike fiskene. Mer informasjon om hver fisk finnes i Tabell 1. Åpne piler indikerer at fisken går utenfor rekkevidden til bøyene, men at fisken vil komme inn igjen senere. Fylte piler indikerer avsluttede vandringer (dvs. at vi har mistet signalet fra merket). Posisjoneringsstrekanten ble plassert ved Arneset.

Resultater fra lyttebøyeforsøket

All de 8 fiskene som ble satt ut, ble registrert av en eller flere av lyttebøyene som stod langs østre del av fjorden, i et område med identifiserte gytefelt (Fig. 5 og 8). De to fiskene som ble fanget på juksa ved Arneset, ble merket (merke nr 253 og 249) og sluppet ut i det samme området som de ble fanget. Dette var i det samme området som posisjoneringsforsøket foregikk. Den umodne hannen, med merke nr. 253, gikk mest sannsynlig sørvestover og ble ikke registrert på østsiden av fjorden før i begynnelsen på mai 2003. Da tok den seg en tur bort til oppdrettsanlegget (bøye nr 1, Fig. 5). Denne fisken ble gjenfanget på vestsiden av fjorden 07.10.03. Den gyteklare hunnfisken som også ble fanget på juksa og satt ut igjen i samme området, opptok et noe annet vandringmønster. Denne fisken har nok, som de fleste andre fiskene satt ut i samme område, vandret sørvestover mot Kjøsen, før den har krysset fjorden og blitt registrert ved bøye nr 2. Deretter har den vandret frem og tilbake langs østre del av fjorden. I begynnelsen på mai har den oppholdt seg en stor del av tiden ved

oppdrettsanlegget (bøye nr 1). Den siste av fiskene som ble satt ut ved Arneset ble fanget på garn lengre ute i fjorden. Også denne fisken har vandret frem og tilbake langs østsiden av fjorden og var kanskje den av fiskene som viste høyest aktivitetsnivå. Fisken oppholdt seg i lengre perioder i nærheten av oppdrettsanlegget (bøye nr. 1). De fem fiskene som ble fanget med snurrevad inne i Øksfjordbotnen, ble alle satt ut i tilnærmet samme område, altså ved bøye nr. 4. Tre av disse fiskene (merke nr. 251, 252 og 254) tok seg noen små turer utover i fjorden (frem til bøye nr 2, aldri ut til bøye nr. 1), men så ut til å oppholde seg mesteparten av tiden inne i Øksfjordbotnen (ved bøye nr. 4). To av fiskene tok seg imidlertid noen lengre turer og har trolig passert oppdrettsanlegget (bøye nr. 1) og dratt lengre ut i fjorden.



Figur 8. Registrering av de åtte merkede fiskene ved de fire lyttebøyene. Tallene fra 249-256 angir merke nr, mens 1-4 angir bøye nr. (Y-akse). Bøyene ble plassert ut slik at bøye nr 1 lå lengst ut i fjorden, ved siden av oppdrettsanlegget på Steinsviknes, mens de resterende bøyene lå med 1-1,5 km avstand langs østsiden av fjorden (se Fig. 5).

Konklusjon og vurdering av resultatene

Skreien (norsk-arktisk torsk) kommer inn fra Barentshavet i desember/januar og følger trolig overgangslaget mellom kystvann og Atlantisk vann (4 - 6 °C) på sin gytevandring sørover. I Lofoten foregår gytingen i sjiktet mellom 4 og 6 °C (Bergstad *et al.* 1987). Et særtrekk for gyteområdene er at de enten finnes i små bukter langs kysten eller ute på bankområdene hvor oppholdestiden er forholdsvis lang (Wiborg 1948). Torsken er en porsjonsgyter og hunnene gyter 15 -20 porsjoner i løpet av gytesesongen (Kjesbu 1994).

Kysttorsken oppholder seg i fjorder og kystnære områder året rundt og hører ikke til samme bestand som torsken i Barentshavet (Bergstad *et al.* 1987, Svåsand *et al.* 2000). Man tror at ulike gytefelt, gytetidspunkt og oppvekstområder fører til liten grad av utveksling mellom populasjoner. Dette bildet kompliseres noe av at kysttorsken med stor sannsynlighet består av mange ulike grupper, der noen komponenter er svært stedbundne mens andre vandrer ut av fjorden om våren/sommeren, men kommer inn i fjorden for å gyte (oseanisk komponent). All torsk er pelagisk den første levetiden, men undersøkelser har vist at avkom fra kysttorsk bunnslår tidligere og på grunnere vann enn avkom fra skrei. I mange områder gyter også kysttorsken langt senere enn skreien gjør i Lofoten (mars-april). Det er ikke uvanlig at kysttorsk gyter langt ut i juni måned i enkelte fjorder.

De tre ulike komponentene av torsk kan alle ha vært til stede i Øksfjorden i det tidsrommet merkeforsøket ble gjennomført. Dette skapte store metodiske problemer fordi forholdsvis få merker skulle fordeles på flere ulike grupper av fisk. I tillegg var det svært vanskelig å fange inn tilstrekkelig antall fisk til at vi kunne konsentrere oss om kun en av komponentene. Vi valgte derfor å merke den oseaniske komponenten med posisjoneringssmerker, for å se om fisken i det hele tatt ville vandre inn i fjorden. For å kunne si noe om adferden til torsk som lever i fjorder med oppdrettanlegg, valgte vi å merke den stedbundne komponenten med id-merker. Denne fisken kan ha en annen adferd en fisk som kommer inn i fjorden for å gyte. Dette forsøket gav derfor en del kunnskap om vandringsmønsteret til fisk i et område med oppdrettsaktivitet, men kan vanskelig benyttes til å vurdere effekten av lakseoppdrett på gyteadferden til de ulike komponentene av kysttorsk evt. skrei.

For å oppsummere resultatene fra forsøket så ser det ikke ut til at de merkede fiskene verken prøver å unngå oppdrettsanlegget ved Steinsvikneset eller Øksfjorden i sin helhet. Bare to av 19 fisker vandret ut av Øksfjorden, de resterende fiskene så ut til å holde seg i fjorden. En av fiskene ble også gjenfanget i fjorden i oktober 2003. Fisken som ble fanget og merket inne i Øksfjorden så ut til å være mer stedbunden enn fisk fanget lengre ute i fjorden. Genetiske prøver av fisken er foreløpig ikke analysert og vi kan dermed ikke si med sikkerhet om variasjonen i vandringsmønster kan skyldes forskjeller mellom om ulike populasjoner av torsk. Siden fisken oppholdt seg forholdsvis kort tid innenfor rekkevidden til posisjoneringssmerkene gav forsøket med lyttebøyene mest informasjon om vandringsmønsteret til de ulike fiskene. Utplassering av flere slike lyttebøyer og over et lengre tidsrom, ville derfor kunne gi oss ytterligere informasjon om oppholdsestid ved oppdrettsanlegg.

Tabell 1. Informasjon om forsøksnr, innfangning, merking, fiskedata, posisjonering og kommentarer fra posisjoneringsforsøket.

Forsøk nr	Innfanging	Merking			Fisken			Posisjonering			Retn. på vandring	Kommentar
		Øksfjord Redskap	Blått t-merke	Gult t-merke	Vemco	Frekvens	Lengde	Kjønn	Start tidspunkt	Stopp tidspunkt		
1	ytre del garn	9308	26103	1856	63	75	-	04.04.03 12:00	04.04.03 13:30	1,5	SV	
2a	ytre del garn	9322	26101	1858	72	70	hann	04.04.03 16:30				
2b								05.04.03 06:00	05.04.03 08:00	15,5	SV	
3	ytre del garn	9333	26104	1857	66	78	hann	04.04.03 19:45				Ingen signal, trolig defekt
4	ytre del garn	9322	26102	1855	60	66	hann	04.04.03 20:00	06.06.03 12:00	40,0	SV	
5	ytre del garn	9329	26100	1862	84	72	-	05.04.03 12:30	05.04.03 15:00	4,5	SØ	
6a	ytre del garn	9317	26131	1853	54	77	hann	05.04.03 17:15				
6b								06.04.03 13:30	06.04.03 16:15	23,0	S	
7a	ytre del garn	9303	26128	1859	75	69	-	05.04.03 21:00				
7b								06.04.03 14:45	06.04.03 18:00			
7c								06.04.03 23:00	07.04.03 02:00	53,0	SØ	
8a	ytre del garn	9327	26129	1860	78	67	hann	05.04.03 21:00	05.04.03 22:30			
8b								07.04.03 15:30	07.04.03 20:30	47,0	N	Gjenfanget i Havøysund
9a	ytre del garn	9323	26133	1852	51	70	hann	06.04.03 14:50	06.04.03 18:30			
9b								06.04.03 21:20	06.04.03 22:00	7,8	N	
10	ytre del garn	9325	26132	1854	57	73	-	06.04.03 22:00	06.04.03 23:00	1,0	SØ	
11	ytre del garn	9313	26130	1861	81	63	-	06.04.03 22:00	06.04.03 22:35	0,6	SØ	

Konvensjonelle merke-gjenfangstforsøk

Innfanging og merkemethodikk

I tillegg til akustiske merkeforsøk ble det gjennomført konvensjonelle merke/gjenfangstforsøk i Øksfjord. Hensikten med disse var å undersøke i hvilken grad torsk som befinner seg i fjorden utenom gytesesongen er stasjonær. Torsk ble merket i Øksfjord i perioden fra 6 september til 14 oktober 2002. To fiskere ble opplært i merketeknikk. De samme fiskerne ble utstyrt med henholdsvis 7 og 8 havteiner hver. Den ene fokuserte innsatsen tett ved torskeoppdrettsanlegget ved Olanes (8 teiner), mens den andre fisket på tradisjonelle fiskeplasser fordelt rundt i fjorden (7 teiner). Fangstlokaliteter, og antall torsk merket på de ulike lokaliteter er vist i Fig. 9.

Resultater

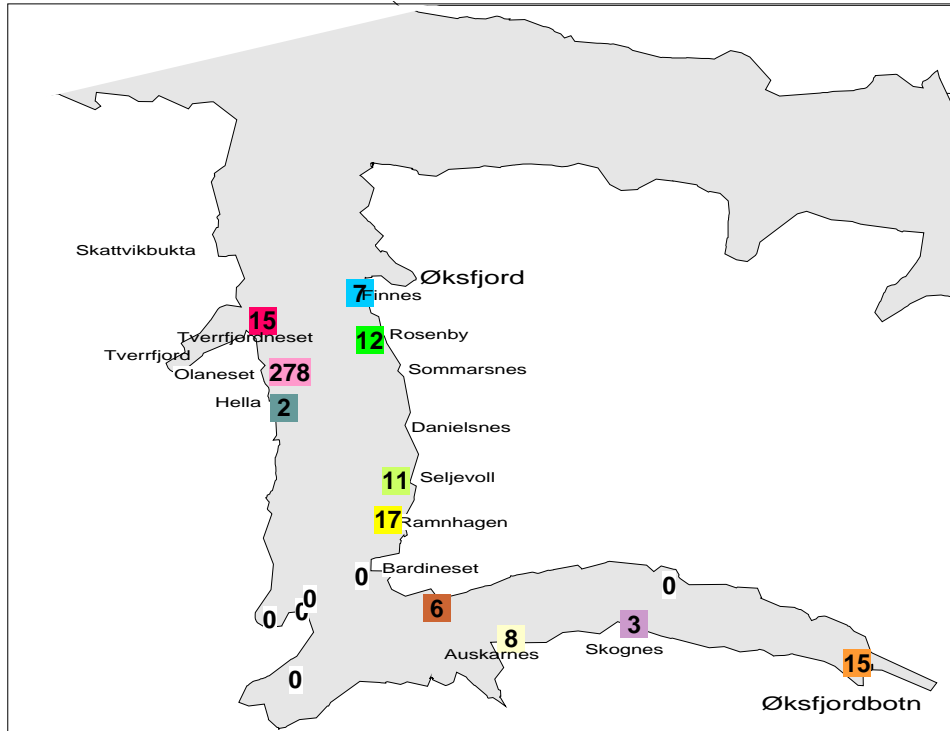
Ett år etter merking var gjenfangstprosenten litt i overkant av 10%, hvorav den største andelen er gjenfanget i Øksfjord (~86%). Fisken som ble gjenfanget i Øksfjord ble gjenfanget i relativt kort distanse fra merkestedet (Fig. 9). Den øvrige gjenfangsten var spredt ut over et stort område fra Vesterålen til Russergrensen. Den relativt lave gjenfangsten kan indikere at en stor andel merket fisk ikke oppholder seg i fjorden på permanent basis. På den annen side har gjenfangsten utelukkende foregått gjennom regulært fiske. Fangstinnsatsen i Øksfjorden er generelt svært lav, med bare 2-3 fiskere som fisker på regelmessig basis. Disse fisker med garn og juksa fra små båter.

Konklusjon og vurdering av resultatene

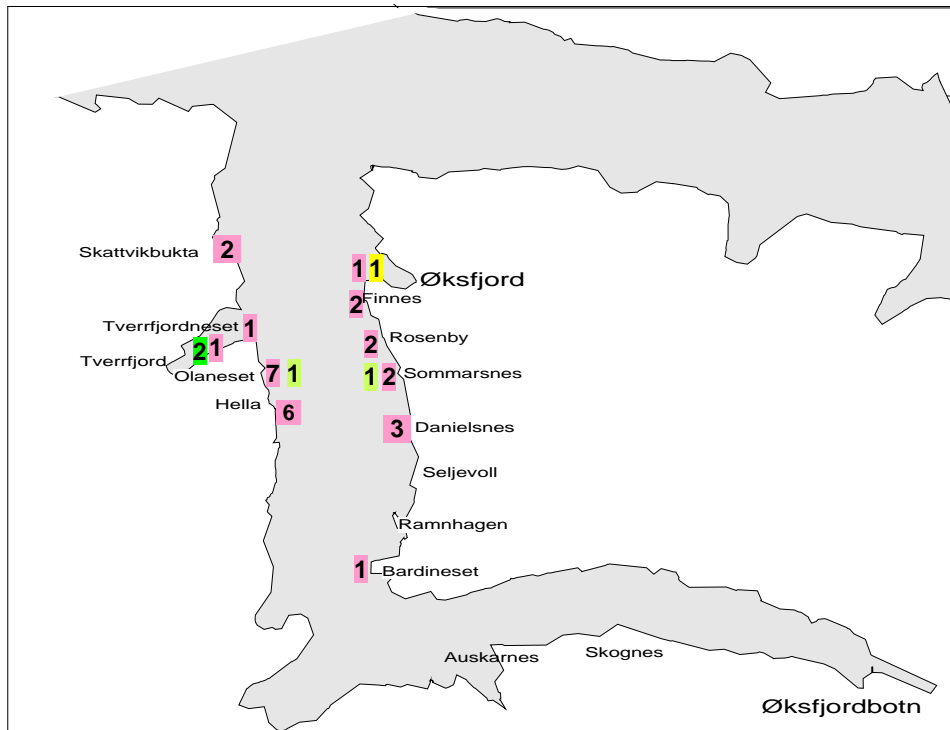
Med basis i data fra dette forsøket er det vanskelig å dra noen sterk konklusjon på hvorvidt fisk som oppholder seg i fjorden utenom gyteperioden er fisk som stort sett lever stasjonært i fjorden. Faktisk gjenfangst, tildels langt fra merkeområdet, viser at noe fisk vandrer ut av området. På den annen side viser fordelingen av gjenfangst gjennom året at det fortsatt fanges merket fisk i Øksfjord ett år etter merking (Fig. 10). Fordelingen av gjenfangst gjennom sesongen er påvirket av mange faktorer. Ser man imidlertid på fordelingen av gjenfangst gjennom sesong i sammenheng med data over gjenfangstposisjoner, indikerer disse det finnes en "stamme" med torsk som synes å være stasjonær.

Våre data tillater oss ikke å beregne fangst per enhet innsats (CPUE) for hver enkelt lokalitet i merkingsperioden. Vi vet imidlertid den totale tiden teinene stod ute (ble trukket og satt ut igjen samtidig), totalt antall teiner anvendt og totalt antall fisk som ble merket. Dette gir oss en grov ide om hvordan fisken fordelte seg i fjorden. En slik grov beregning indikerer at det var betydelig høyere tetthet av torsk rundt torskeoppdrettsanlegget på Olanes enn i fjorden for øvrig i september og oktober. Det kan derfor se ut som om oppdrettsanlegget tiltrekker seg fisk. Det ble ikke fisket i umiddelbar nærhet av oppdrettsanlegget utover selve merkingsperioden. Vi vet derfor ikke om det er en forhøyet tetthet av torsk rundt anlegget gjennom hele året. Ansatte på anlegget rapporterer at det i deler av året har vært "betydelige mengder" merket fisk rundt merdene.

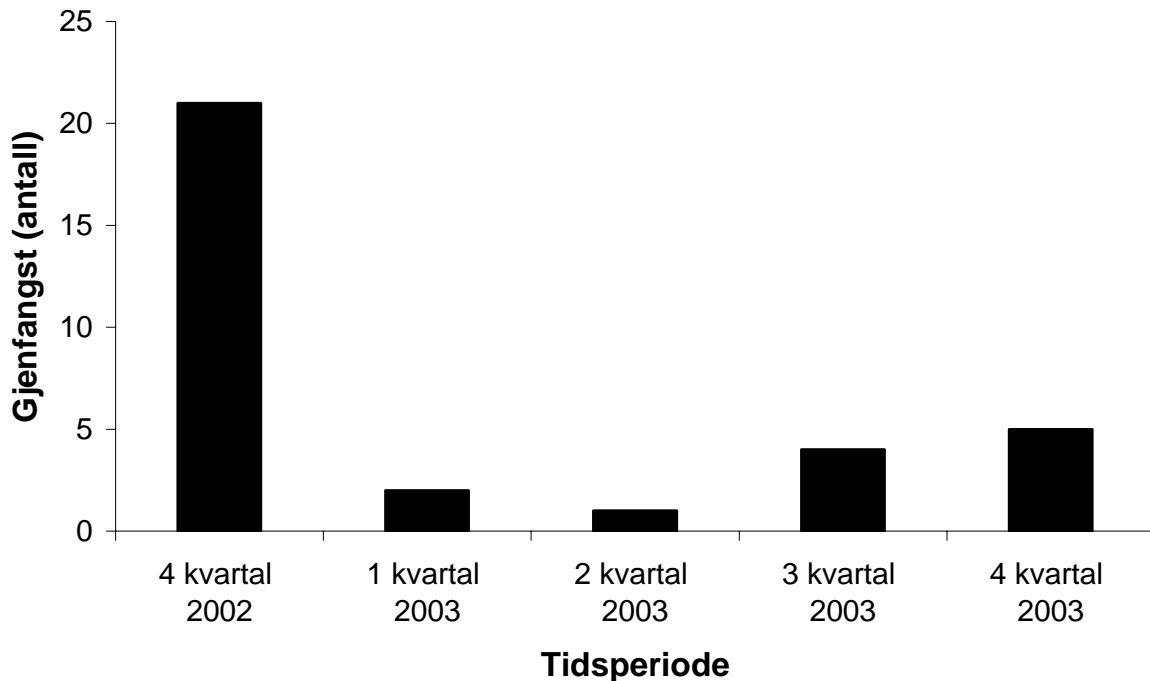
A.



B.



Figur 9. Viser posisjoner for merking (A) og gjenfangst (B) under konvensjonelle merke/gjenfangstforsøk gjennomført i 2002/2003. Tallet inni de fargede boksene markerer antall fisk merket (A) eller gjenfanget (B) på den gitte posisjon. Fargekoden brukt i kart B refererer til merkeposisjon med samme farge i kart A.



Figur 10. Kvartalsvis fordeling av gjenfangst gjennom forsøksperioden. Det er bare data fra Øksfjord som er inkludert.

Samlet konklusjoner og vurdering av resultatene

Prosjektet er gjennomført med de økonomiske rammene som ble avsatt, og planlagte forsøk og studier ble i hovedsak utført i henhold til plan. Et mangelfullt kunnskapsgrunnlag ved oppstart av prosjektet medførte imidlertid at ressursene måtte spres på mange områder med det resultat at innsatsen ble for liten til å gi utvetydige svar for flere av delmålene. Prosjektet har likevel bidratt til å øke kunnskapsbasen betydelig, og vil gjøre oss i stand til å lage spissere problemstilling og utforme nye relevante testbare hypoteser.

Om torsk tiltrekkes/frastøtes av luktstoffer fra oppdrettsanlegg

Samlet viser begge de gjennomførte studiene at villfanget torsk oppholder seg i vann uten, eller med laveste konsentrasjon av, tilsetning av vann fra kar med laks. Denne endringen i adferd skyldes sannsynligvis vannbårne kjemiske komponenter fra laksekaret. Videre studier er nødvendig for å klarlegge hvilke komponenter dette dreier seg om, og hvilke konsentrasjoner de må opptrê i for å gi de observerte effektene. Siden endringer i vannets gassmetning synes usannsynlig som forklaring, er kjemosensoriske stimulanter mest nærliggende årsak til adferdsendringene. I kjemosensoriske studier på fisk er det vist at luktstoffer, i større grad enn smaksstoffer, kan gi endringer i adferd lik de observerte. Resultatene fra de eksperimentelle luktstudiene strider ikke mot fiskernes antagelser om at kysttorsken endrer adferd som følge av etablering av oppdrettsanlegg. De observerte adferdsendringene skyldes sannsynligvis vannbårne olfaktoriske komponenter. De eksperimentelle studiene må imidlertid valideres og videreføres i forsøk i laboratoriet, så vel som i felt, før konklusjoner om eventuell påvirkning på kysttorskens vandring i naturen kan trekkes.

Om torsk tiltrekkes/frastøtes av lys fra oppdrettsanlegg og om gonademodning og gytetidspunkt påvirkes

Forsøk som ble gjennomført viste at lyssetting av merder endret den naturlige døgnvandringen hvor gytemoden torsk stod høyt om natten og dypere om dagen. Ved bruk av overflatelys, eller undervannslys rett under overflaten, stod torsk dypere om natten enn i gruppen uten lys. Ved bruk av undervannslys ved merdbunnen stod også torsken høyere om dagen. Bruk av lys i forsøket påvirket ikke målbart gonademodningen. Da lysintensiteten fra et oppdrettsanlegg tapes raskt, er det lite sannsynlig at lys fra oppdrettsanlegg vil påvirke modningsprosessen hos torsk hvis den ikke står rett under oppdrettsanlegget tilnærmet hele tiden. Resultatene må tolkes med en viss forsiktighet da resultatene er basert på oppdrettstorsk på Vestlandet med en naturlig stor endring i lysintensitet mellom dag og natt. Hvordan dette vil være i andre regioner, med andre stammer og mindre forskjeller i naturlig lysintensitet mellom dag og natt, er ikke undersøkt.

Om oppdrettsanleggene påvirker miljøforholdene på feltlokaliteten

Tre lakseoppdrettslokaliteter er i bruk i Øksfjorden og miljøet på bunnen under, og rundt disse, ble undersøkt ved hjelp av parametrene som inngår i norsk standard NS 9410 (NAS 2000): redokspotensial, pH, konsistens, lukt, farge, tilstedeværelse av dyr, samt følgende tilleggsparemetere: total organisk karbon og nitrogen, sink og total fosfor. Store deler av bunnen i den indre Øksfjord ble kartlagt med kartplottersystemet OLEX. Undersøkelsene gir et oversiktsbilde over miljøtilstanden under og ut fra de tre lakselokalitetene. Lokalitet 1 lå i en skråning og sedimentet under merdene bestod mest av fjellbunn. Ved en av merdene var det sandbunn og her fantes fekalier på bunnen ved merden, men bunnen viste ellers ingen tegn på å være påvirket. En transekt fra anlegget ut i et dybdebasseng på ca. 235 m dyp, viste ingen tegn på at der var påvirkning fra anlegget. Lokalitet 2 var delvis dekket av fjellbunn, og på to av ti målestasjoner under anlegget var bunnforholdene noe dårlig og tre andre målestasjoner var påvirket. Men i en transekt fra merdene ut i en dyprenne på 145 m dyp var det var ingen tegn på organisk anrikning. Lokalitet 3 bestod av et større platå med fin sandbunn. Under en av merdene var bunnforholdene noe dårlig, men i en transekt fra merdene ut over platået var der ingen påvirkning. Lokalitet 1 var ikke påvirket av oppdrettsvirksomheten, men lokaliteten hadde kun vært i bruk siden 2002. På lokalitet 2 og 3 var det målbare spor etter oppdrettsvirksomheten, men kun i mindre grad og det var begrenset til anleggets nærområde.

Torskens vandring i fjordområde med oppdrettsaktivitet

Forsøket med akustisk merket torsk tydet på at de merkede fiskene verken prøvde å unngå oppdrettsanlegget ved Steinsvikneset eller Øksfjorden i sin helhet. Bare to av 19 fisker vandret ut av Øksfjorden, de resterende fiskene så ut til å holde seg i fjorden. En av fiskene ble gjenfanget i fjorden i oktober 2003. Fisken som ble fanget og merket inne i Øksfjorden så ut til å være mer stedbunden enn fisk fanget lengre ute i fjorden. Siden fisken oppholdt seg forholdsvis kort tid innenfor rekkevidden til posisjoningsbøyene gav forsøket med lyttebøyene mest informasjon om vandringsmønsteret til de ulike fiskene. Utplassering av flere slike lyttebøyer og over et lengre tidsrom, ville derfor kunne gitt oss ytterligere informasjon om oppholdsestid ved oppdrettsanlegg. Med basis i data fra forsøket med tradisjonelle merker er det vanskelig å dra en entydig konklusjon på hvorvidt fisk som oppholder seg i fjorden utenom gyteperioden er fisk som stort sett lever stasjonært i fjorden. Faktisk gjenfangst, tildels langt fra merkeområdet, viser at noe fisk vandrer ut av området. På den annen side viser fordelingen av gjenfangst gjennom året at det fortsatt fanges merket fisk i Øksfjord ett år etter merking. Fordelingen av gjenfangst gjennom sesongen er påvirket av mange faktorer. Ser man imidlertid på fordelingen av gjenfangst gjennom sesong i sammenheng med data over gjenfangstposisjoner, indikerer disse det finnes en "stamme" med

torsk som synes å være stasjonær. Våre data tillater oss ikke å beregne fangst per enhet innsats (CPUE) for hver enkelt lokalitet i merkingsperioden. Vi vet imidlertid den totale tiden teinene stod ute, totalt antall teiner anvendt og totalt antall fisk som ble merket. Dette gir oss en grov ide om hvordan fisken fordelte seg i fjorden. En slik grov beregning indikerer at det var betydelig høyere tetthet av torsk rundt torskoppdrettsanlegget på Olanes enn i fjorden for øvrig i september og oktober. Det kan derfor se ut som om oppdrettsanlegget tiltrekker seg fisk. Det ble ikke fisket i umiddelbar nærhet av oppdrettsanlegget utover selve merkingsperioden. Vi vet derfor ikke om det er en forhøyet tetthet av torsk rundt anlegget gjennom hele året. Ansatte på anlegget rapporterer at det i deler av året har vært ”betydelige mengder” merket fisk rundt merdene.

Andre forhold

I starten av prosjektet arbeidet vi for å få tak i historisk fangststatistikk. Dette viste seg imidlertid så vanskelig at vi måtte vurdere andre alternativ, og en intervjuundersøkelse ble igangsatt i samarbeid mellom Fiskeriforskning og Fiskerihøgskolen i Tromsø. Denne undersøkelsen ble gjort som et eget prosjekt og vil bli rapportert for seg.

Forhold til Forskningsrådet

Samarbeidet med Forskningsrådet har vært godt gjennom hele prosjektperioden

Referanser

- Bergstad, O.A., Jørgensen, T. and Dragesund, O. (1987) Life history and ecology of the gadoid resources of the Barents Sea. *Fisheries Research* **5**, 119-161.
- Dahle, R., Taranger, G.L. and Norberg, B. (2000). Sexual maturation and growth of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) reared at different light intensities In: Norberg, B., Kjesbu, O.S., Taranger, G.L., Andersson, E. and Stefansson, S.O. (eds.). Proceedings of the 6th International Symposium on the Reproductive Physiology of Fish, Bergen, July 4 - 9, 1999. p. 336.
- Hansen, T., Karlsen, Ø., Taranger, G.L., Hemre, G.I, Holm, J.C., and Kjesbu, O.S. (2001). Growth, gonadal development and spawning time of Atlantic cod (*Gadus morhua*) reared under different photoperiod regimes. *Aquaculture* **203**, 51-67.
- Hara, T.J. (1994). The diversity of chemical stimulation in fish olfaction and gustation. *Rev. Fish. Biol. Fish.* **4**, 1-35.
- Juell, J.E. and Fosseidengen, J.E. (2003). Use of artificial light to control swimming depth and fish density of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in production cages. *Aquaculture* (In press).
- Juell, J-E, Oppedal, F, Boxaspen, K. and Taranger, G.L. (2003). Submerged light increases swimming depth and reduces fish density of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in production cages. *Aquaculture Research* **34**, 469-477.
- Karlsen, Ø., Taranger, G.L., Dahle, R. and Norberg, B. (2000). Effect of exercise and continuous light on early sexual maturation in cod. In: Norberg, B., Kjesbu, O.S., Taranger, G.L., Andersson, E. and Stefansson, S.O. (eds.). Proceedings of the 6th International Symposium on the Reproductive Physiology of Fish, Bergen, July 4 - 9, 1999. 3pp.
- Kjesbu, O.S. (1994). Time of start of spawning in Atlantic cod (*Gadus morhua* L) females in relation to vitellogenic oocyte diameter, temperature, fish length and condition. *J. Fish Biol.* **45**, 719-735.
- NAS (2000). Norsk Standard: Retningslinjer for miljøovervåking av bunnpåvirkning fra marine matfiskanlegg. NS 9410

- Norberg, B., Brown, C.L., Halldorsson, A., Stensland, K. and Bjornsson, B.T. (2004). Photoperiod regulates the timing of sexual maturation, spawning, sex steroid and thyroid hormone profiles in the Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Aquaculture* **229**: 451-467.
- Porter, M.J.R., Stefansson, S.O., Nyhammer, G., Karlsen, Ø., Norberg, B. and Bromage, N.R. (2000). Environmental influences on melatonin secretion in Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) and their relevance to commercial culture. *Fish Physiol. Biochem.* **23**, 191-200.
- Ryer, A.D. (1997). Light measurement handbook. International Light Inc., Newburyport, MA.
- Sorensen, P.W. and Caprio, J. (1998). Chemoreception. In: Evans, D.H. (Ed.), *The Physiology of Fishes*, 2nd ed. Marine Sciences Series. CRC Press, Boca Raton, Florida, 519 pp.
- Svåsand, T., Kristiansen, T.S., Pedersen, T., Salvanes, A.G.V., Engelsen, R., Nævdal, G. and Nødtvedt, M (2000). The Enhancement of cod stocks. *Fish and Fisheries* **2**, 173-205.
- Wiborg, K.F. 1948. Investigations on cod larvae in coastal waters of northern Norway. *Fisk.Dir. Skr. Ser. HavUnders.* **9** (3): 1-27.