

Vitenskapelig bakgrunnsmateriale for forvaltningsplan for raudåte

Cecilie Broms, Espen Strand, Kjell Rong Utne, Solfrid Hjøllo, Svein Sundby og Webjørn Melle



PROSJEKTRAPPORT



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

Tromsø	Flødevigen	Austevoll	Matre
9294 TROMSØ	4817 HIS	5392 STOREBØ	5984 MATREDAL
Tlf. 55 23 85 00	Tlf. 55 23 85 00	Tlf. 55 23 85 00	Tlf. 55 23 85 00
Fax 77 60 97 01	Fax 37 05 90 01	Fax 56 18 22 22	Fax 56 36 75 85

Rapport: FISKEN OG HAVET	Nr. - År 8-2016
Tittel (norsk/engelsk): Vitenskapelig bakgrunnsmateriale for forvaltningsplan for raudåte	
Forfatter(e): Cecilie Broms, Espen Strand, Kjell Rong Utne, Solfrid Hjøllo, Svein Sundby og Webjørn Melle	

Distribusjon: Åpen
Havforskningsprosjektnr.:
Oppdragsgiver(e): Nærings- og fiskeridepartementet
Oppdragsgivers referanse:

Dato: Oktober 2016
Program: Norskehavet
Faggruppe: Plankton
Antall sider totalt: 37

Sammendrag (norsk):

I tråd med bestillinger fra Nærings- og fiskeridepartementet har Havforskningsinstituttet (HI) og Fiskeridirektoratet (F.dir.) laget en forvaltningsplan for raudåte. Arbeidet foreligger som en bakgrunnsrapport med råd fra HI og en forvaltningsplan for raudåte fra F.dir. og HI. Bakgrunnsrapporten omhandler viktige aspekter ved et fiske slik som biologiske forhold, bestandsenhet, raudåtas livssyklus og økologi, bestandsendringer over tid, utbredelse, overvåkning, biomasse og produksjon, økologiske effekter av fiske, høstingsregler og til slutt kvoteråd. Det pekes også på viktige kunnskapshull som må fylles dersom en i framtiden skal kunne forbedre våre råd. Selve forvaltningsplanen er den første som er utarbeidet for en planktonbestand og viser ønsket en har om å utvikle forvaltningen av våre bestander i en økologisk retning.

Vi har valgt å lage denne forvaltningsplanen for Norskehavet med tilliggende områder. Det er både fordi det er der fisket nå skjer og fordi det er fra dette området vi har det beste datagrunnlaget. En kan tenke seg at dette området utvides ved framtidig oppdatering av planen. Selve forvaltningsplanen er Fiskeridirektørens forvaltningsplan for raudåte og er framkommet som et samarbeid mellom F.dir. og HI.

Summary (English):

A management plan for *Calanus finmarchicus* has been completed by the Institute of Marine Research and the Directorate of Fisheries, in line with orders from the Ministry of Trade, Industry and Fisheries. The work is presented as a background report with advice from IMR and a management plan for *C. finmarchicus* from the Directorate of Fisheries and IMR. The background report discusses important aspects of a fishery such as biological conditions, population definition, life cycle and ecology, population variation in time, distribution, monitoring, biomass and production, ecological effects of fishery, harvesting advice and ultimately quota advice. Important knowledge gaps that must be filled to improve future advices is highlighted. This is the first management plan that has been prepared for a plankton population and shows the desire to develop the management of our populations in an ecological direction.

The management plan cover the Norwegian Sea and its adjacent areas. This is because this is the area where the current fishing is taking place and where we have the best data basis. This area can be expanded if the plan is updated in the future. The plan is the Director General of Fisheries' management plan for *Calanus finmarchicus* and has emerged as a collaboration between the Directorate of Fisheries and IMR.

Emneord (norsk):

1. Forvaltningsplan
2. Raudåte
3. Høsting av dyreplankton

Subject heading (English):

1. Management plan
2. *Calanus finmarchicus*
3. Zooplankton harvesting

Cecilie Broms
prosjektleder

Kjell Gundersen
faggrupeleder

Innholdsfortegnelse

1	Beskrivelse av biologiske forhold.....	3
1.1	Bestandsdefinisjon.....	3
1.2	Raudåta sin livssyklus og rolle i økosystemet.....	3
1.2.1	Raudåtas biologi – kort oversikt	3
1.2.2	Sesongmessig produksjonssyklus.....	5
1.2.3	Overvintring.....	6
1.2.4	Predatorer	7
1.3	Endringer i raudåtebestanden fra midten av 1990-tallet til i dag	10
1.4	Utbredelse	13
1.5	Overvåkningsprogrammet for raudåte i Norskehavet.....	15
2	Bestandsvurdering og økologiske effekter av fiske.....	16
2.1	Biomasse og produksjon av raudåte	16
2.2	Økologiske effekter av fiske	17
2.2.1	Effekter på andre arter pga. bifangst.....	17
2.2.2	Effekter på raudåtebestanden og predatorbestander	20
2.3	Fiske av dyreplankton / høstingsregler	22
2.4	Kvoteråd – høstingstilråding	23
2.5	Sesong- og områdebegrensninger med hensyn til bifangst	24
3	Kunnskapshull.....	29
4	Referanser	31

1 Beskrivelse av biologiske forhold

1.1 Bestandsdefinisjon

En bestand er en gruppe individer av samme art innenfor et avgrenset geografisk område. Bestandene kjennetegnes ved at det er større grad av genflyt innenfor bestandene enn mellom bestandene. Utveksling av individer mellom bestandene gjør det ofte vanskelig å sette klare bestandsgrenser.

Calanus finmarchicus, eller raudåte som er det norske trivialnavnet, er utbredt over hele det nordlige Atlanterhavet. Raudåta overvintrer i dypet, og høye tettheter av arten synes å være knyttet til steder med dype overvintringsområder. I Nord-Atlanteren har raudåta flere bestandssentre, definert som områder hvor overvintringsbestanden er større enn 15 000 individer per kvadratmeter (Heath et al. 2004). Det er antatt at raudåtas to hovedovervintringsområder, og dermed hovedsentre, er den subpolare gyren i Labrador-/Irmingerhavet og gyren i det sørlige Norskehavet (Melle et al. 2014). Disse to dyphavsbasengene fungerer som bestandsreservoarer og fordelingsentre. Genetiske analyser har vist at det finnes to til fire populasjoner av raudåte, og at de største genetiske forskjeller nettopp er imellom nordvestlige/sentrale og nordøstlige deler av Nord-Atlanteren (Unal og Bucklin 2010). Modellstudier viser likevel at det er betydelig grad av utveksling mellom fordelingsentrene (Speirs et al. 2006). Høye konsentrasjoner av raudåte i områder som ligger nært Norskehavet er sannsynligvis avhengige av tilførsel fra Norskehavsbasenget. Dette gjelder for Nordsjøen, Barentshavet og tilhørende kontinentalsokler. I tillegg har disse områdene en egenproduksjon av raudåte.

1.2 Raudåtas livssyklus og rolle i økosystemet

1.2.1 Raudåtas biologi – kort oversikt

Plankton er en samlebetegnelse for planter og dyr som driver fritt i vannmassene og som har liten eller ingen horisontal egenbevegelse i forhold til havstrømmene. Fordelingen av plankton er dermed nært knyttet til havstrømmene. Dyreplanktonets rolle i økosystemet er å være et bindeledd mellom planteplankton (primærprodusentene) og høyere ledd i næringskjeden, som fisk, hval og annet dyrespisende dyreplankton. Dyreplankton som beiter på planteplankton kalles herbivore dyreplankton. Herbivore dyreplankton omdanner primærproduksjonen til dyreplanktonbiomasse og kalles derfor også sekundærprodusenter.

Raudåta er et dyreplankton som hører til gruppen hoppekreps (copepoda). Raudåta utgjør hoveddelen av den totale dyreplanktonbiomassen i våre farvann, og er en viktig sekundærprodusent. Raudåtas fordeling er avhengig av havstrømmene, men også lokale produksjonsforhold spiller en viktig rolle med hensyn til hvor mye raudåte som blir produsert, og dermed hvor stor biomasse som finnes til enhver tid. Raudåtas livssyklus er tilpasset slik at den blant annet skal kunne utnytte planteplanktonproduksjonen om våren og sommeren mest mulig optimalt, samtidig som den skal minimalisere høy dødelighet i lyset nær havoverflata. I løpet av livet utvikler raudåta seg fra egg, via seks naupliestadier (NI–NVI) og seks kopepodittstadier (CI–CVI), til voksen (det sjettede kopepodittstadiet) (Melle et al. 2004).

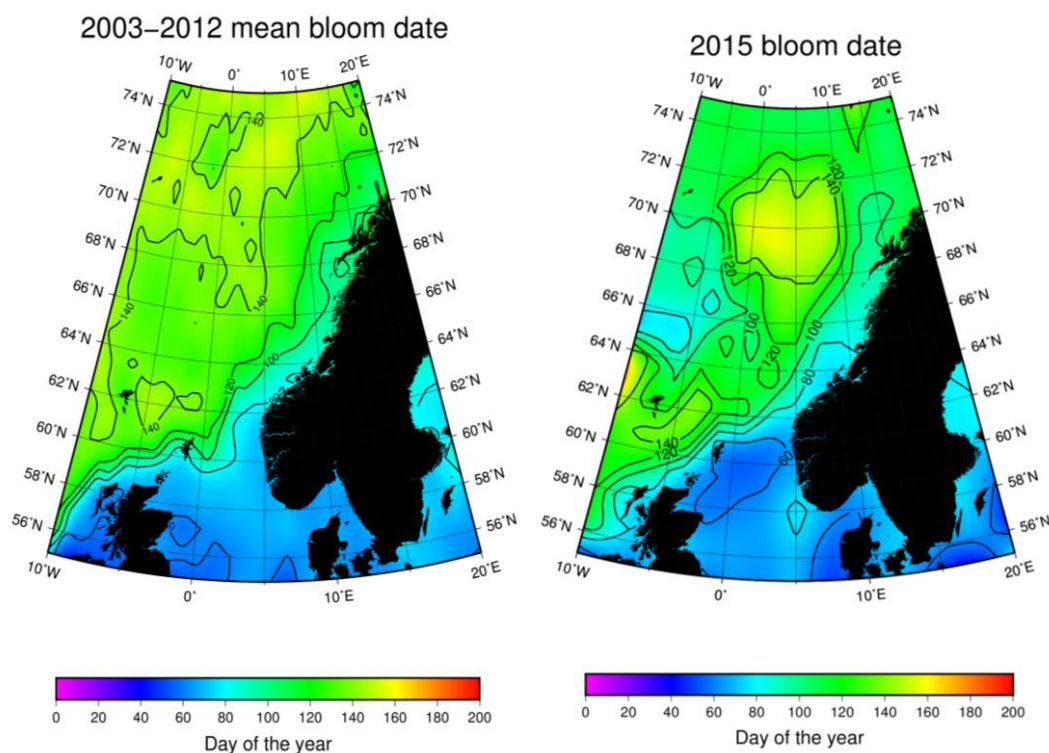
Raudåta overvintrer på store dyp hovedsakelig i kopepodittstadium V, og stiger til overflaten sen vinter/tidlig vår og utvikler seg til voksne dyr. Dette kalles overvintringsgenerasjonen. De voksne dyrene gyter og produserer dermed det som kalles en ny – eller første generasjon. For produksjonen av den nye generasjonen er det viktig at raudåta har gode matforhold, noe som betyr at raudåtas sesongutvikling i tid må treffe sesongutviklingen til planteplanktonproduksjonen og våroppblomstringen. Når den nye generasjonen har utviklet seg til kopepodittstadium V i løpet av sommeren/tidlig høst, vandrer den ned igjen for å overvintrere. Dette gjør at raudåta generelt har en ettårig livssyklus (Broms et al. 2007, Bagøien et al. 2012). I sørlige og østlige deler av Norskehavet kan derimot den nye generasjonen utvikle seg til voksne nær overflaten og produsere en eller flere generasjoner samme sesongen.

Raudåta er en viktig næringskilde for mange arter. Dyrespisende dyreplankton (karnivore dyreplankton) som for eksempel amfipoder (*Themisto* spp.) og krill, beiter på raudåta. Raudåta utgjør en stor del av dietten til de pelagiske fiskeartene sild, makrell og ung kolmule. Yngre stadier av raudåte er viktig mat for larver og yngel av blant andre torsk og sild. Samtidig som amfipoder og krill er konkurrenter til sild, makrell og kolmule, fordi de alle beiter på raudåta, så er amfipoder og krill også selv mat til de pelagiske fiskeartene. Slik inngår raudåta som en viktig del av et komplekst næringsnett (se Skjoldal et al. 2004).



1.2.2 Sesongmessig produksjonssyklus

Produksjonssyklusen til raudåta er i tid nært knyttet til produksjonen av planteplankton (Melle et al. 2004). Raudåta overvintrer i dype vannmasser, og overvintringsgenerasjonen stiger mot overflaten på senvinteren og tidlig vår, og finnes i store mengder i overflatevannet fra mars–april. Der utvikler de seg fra overvintringsstadiet, som hovedsakelig er kopepodittstadium V, til voksne individer av hunner og hanner. Gonademodning og trolig også den tidligste gytingen skjer basert på fettreservene individene bygde opp sesongen før, men hunnene er avhengige av å beite på planteplankton for å kunne produsere egg over lengre tid (Irigoiien et al. 1998; Niehoff et al. 1999; Hirche et al. 2001). Raudåtas eggproduksjonsrate, antall egg per gyteepisode og proporsjonen av gytende hunner varierer i forhold til mattilgangen og planteplanktonets blomstringsfase. Før eller tidlig i våroppblomstringen er den individuelle eggproduksjonen næringsbegrenset (Niehoff et al. 1999), men fordi denne fasen varer lenge og det på dette tidspunktet er flest hunner i vannmassene, er den samlede eggproduksjonen stor (Stenevik et al. 2007). Raudåtas individuelle eggproduksjon er størst under planteplanktonets våroppblomstring da næringsforholdene er gunstige. Da tidspunktet for våroppblomstringen varierer mellom ulike områder i Norskehavet (Paasche 1960; Rey 2004), vil også tidspunktet for raudåtas gyteperiode variere mellom områder.



Figur 1. Dato (dag i året) for første planteplankton klorofyll maksimum, gjennomsnittlig for 2003–2012 (til venstre) og for 2015 (til høyre), avledet ved bruk av MODIS satellittdata (figurer av Stuart Larsen).

Generelt vil planteplanktonets våroppblomstring og raudåtas sesongutvikling begynne i sørøstlige deler av Norskehavet og opptre senere mot nordvest i havet (Broms & Melle 2007; Bagøien et al. 2012). Tidspunktet for våroppblomstringen varierer fra år til år (figur 1). Hvor fort raudåta vokser gjennom de ulike utviklingsstadiene varierer med temperaturen. Etter tredje naupliestadie, der de begynner å spise, har også mattilgangen betydning for veksten. Både høyoppløste tidsserier fra stasjon M og undersøkelser som omfatter hele Norskehavet har vist en nær sammenheng mellom tidspunktet for når de unge kopepodittstadiene opptre i vannmassene og planteplanktonets våroppblomstring (Melle et al. 2004). I arktiske vannmasser er det observert en forsinket utvikling hos unge stadier av raudåta i forhold til planteplanktonoppblomstringen (Broms & Melle 2007). Dette kan skyldes lave temperaturer og er en mulig årsak til at raudåta finnes i lavere konsentrasjoner i disse vannmassene.

1.2.3 Overvintring

Raudåta overvintrer hovedsakelig som kopepodittstadium V, men kan også overvintre som stadium IV og voksen. I deler av Norskehavet hvor vannmassene er arktiske, overvintrer en større andel av individene som stadium IV, og til og med noen få i stadium III kan finnes. Dette kan skyldes kaldere vann og at individene ikke rekker å utvikle seg til stadium V før overvintring (Broms & Melle 2007). Før overvintring akkumuleres store fettreserver ved beiting på alger nær havets overflate. Trolig har stadiene yngre enn stadium V dårligere evne til lagring av fett. Derfor kan også deres evne til å overleve vinteren være dårligere. Nedvandringen skjer hovedsakelig på sensommeren i juli og august. Sørlege og østlige deler av Norskehavet har en noe tidligere nedvandring, mens nordlige og vestlige områder har senere nedvandring (Melle et al. 2004). Vi vet ikke hva som bestemmer når raudåta vandrer ned. Mulige forklaringer kan være at en viss mengde fett må være akkumulert eller at vekstforholdene blir ugunstige i de øvre vannlagene (Irigoiien 2004). Når raudåta overvintrer går den inn i en såkalt diapause eller hvilefase. Den har da nedsatt respirasjon og stans i utviklingen.

I Norskehavet overvintrer raudåta i vann med temperatur under 2 °C, og hovedsakelig i temperaturer mellom 0,5 og -0,5 °C. Overvintringsdypet varierer geografisk i Norskehavet, og er generelt dypere i nord og øst enn i sør og vest. Det henger sammen med at raudåta overvintrer under det atlantiske overflatevannet, og står i Arktisk-intermediære vannmasser. Arktisk-intermediært vann opptre under 500 meter i sørøstlige Norskehavet, under 700 meter i østlige Lofotenbassenget, og hever seg til nær overflaten i vestlige deler av Norskehavet. Raudåta er funnet å overvintre mellom 600 og 1000 m dyp i sørøstlige Norskehavet, hovedsakelig rundt 800 m ved Stasjon M (2°Ø, 66°N), hovedsakelig mellom 700 og 800 m i Lofotenbassenget og mellom 800 og 1200 m vest for Tromsøflaket (Dale et al. 1999; Halvorsen et al. 2003, Melle et al. 2004).

I Færøy–Shetland-kanalen er overvintringen hovedsakelig funnet å være i de øvre lagene av Norskehavsdypvannet mellom 600 og 1200 m (Heath et al. 2000). Vi vet ikke hva som bestemmer overvintringsdypet til raudåta eller hvorfor den hovedsakelig oppholder seg i

Arktisk-intermediært vann, men det finnes flere hypoteser. Temperaturen kan være en viktig faktor ved valg av overvintringsdyp, og raudåta kan stå i det dypet hvor temperaturen er gunstigst i forhold til å redusere metabolismen. Overvintringsdypet kan også være en respons for å unngå predatorer, og raudåtas overvintringsdyp i Norskehavet samsvarer med dyp hvor det finnes lite mesopelagisk fisk (Dale et al. 1999). En annen hypotese er at raudåta overvintrer i dyp hvor den har nøytral oppdrift (Visser & Jónasdóttir 1999). På senvinteren og tidlig vår, i januar og februar, begynner raudåta oppvandringen mot overflatevannet. Det er manglende kunnskap om variasjonene i oppvandringstidspunktet i ulike deler av Norskehavet, men oppvandringen virker generelt å være mer synkron enn nedvandringen. Vi vet ikke hva som avslutter raudåtas diapause og bestemmer tidspunktet for oppvandring til overflaten, men viktige faktorer kan være lysintensitet, daglengde, en genetisk ”indre klokke” eller sansing av økt planteplanktonproduksjon (Miller et al. 1991; gjennomgått av Hirche 1996; Hind et al. 2000; Speirs et al. 2005).

1.2.4 Predatorer

Bestandsutvikling pelagisk fisk

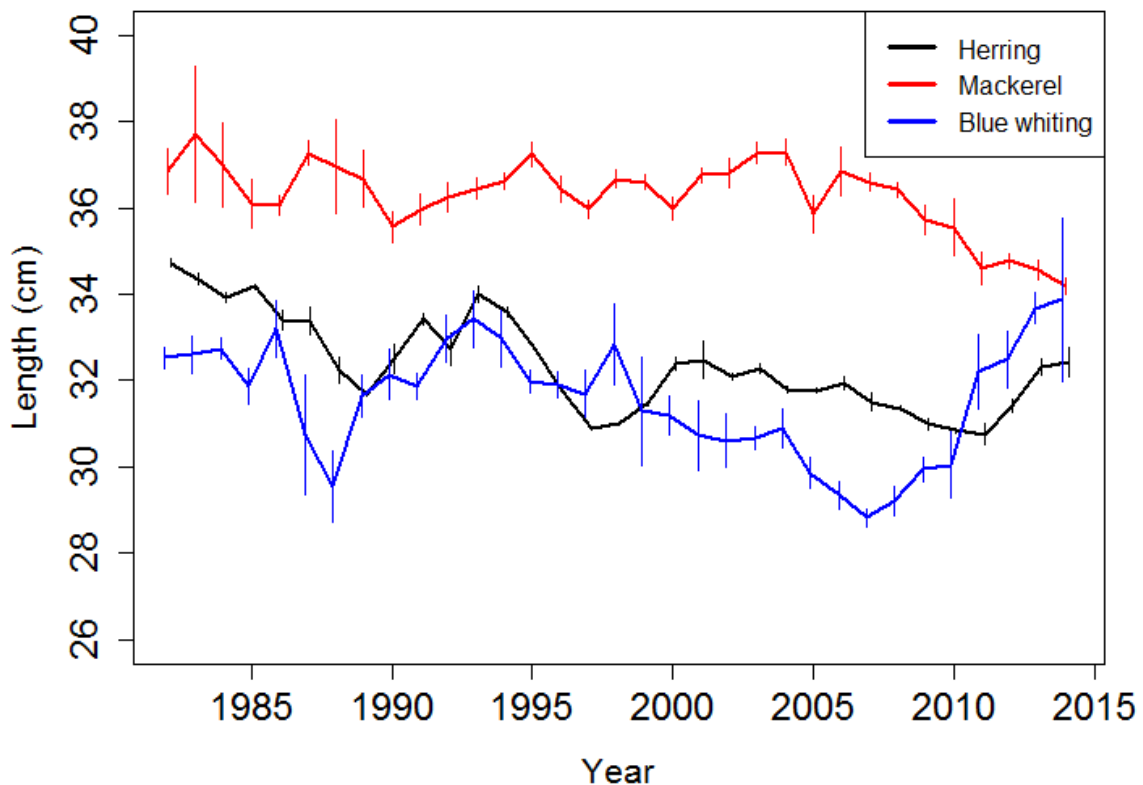
Størrelsen på bestandene av norsk vårgytende sild (nvg-sild), kolmule og makrell har historisk sett variert mye, hovedsakelig pga. svært variabel årlig rekruttering og tidvis for stort uttak i fiske. Bestanden av nvg-sild er på vei ned etter å ha vært i god forfatning i flere år, og gytebestanden i 2014 er estimert til å være ca. 4 millioner tonn. Det ble funnet mye sildeyngel i Barentshavet høsten 2013, men resultatet fra undersøkelser i 2014 tyder på at 2013-årsklassen av nvg-sild er forholdsvis svak. Det har dermed ikke vært god rekruttering av nvg-sild siden 2004. Det ventes en ytterligere nedgang i bestanden og situasjonen betraktes som alvorlig.

Kolmulebestanden var svært liten i 2008–2010, men har nå tatt seg kraftig opp igjen, og gytebestanden var i 2014 på ca. 5,5 millioner tonn. Tokt vest for De britiske øyer i mars og i Norskehavet i mai har vist at bestanden hovedsakelig består av ung fisk. Det er derfor forventet at kolmulebestanden skal holde seg høy i årene som kommer.

Makrellbestanden er i likhet med kolmulebestanden i svært god forfatning. Gytebestanden er estimert til å være nærmere 4,5 millioner tonn, men flere fiskeriuavhengige datakilder antyder en enda høyere gytebestand. Makrellbestanden har økt de siste årene og bestanden inneholder flere årsklasser, men tråltoktet sommeren 2014 estimerte at 3- og 4-åringene utgjorde over 50 % av bestanden i antall. Det er for øvrig stor usikkerhet i hvor mange 1- og 2-åringer det er i bestanden, da disse aldersgruppene ikke blir fanget skikkelig opp verken av forskningstokt eller i fiskeriene.

For mer informasjon om utviklingen i bestandsstørrelse for nvg-sild, kolmule og makrell, se ICES (2014a).

Fiskens individuelle vekst er en god indikator på næringsgrunnlaget til fisken. Ved manglende byttedyrstilgang vil konsumert energi bli brukt fortløpende og fisken vil ikke ha nok energi til å vokse. For kolmule og nvg-sild var det en nedgang i lengde ved alder midt på 2000-tallet. De siste årene har det derimot vært en økning i lengde ved alder, og individveksten er nå bra for disse to artene (figur 2). For makrell var lengde ved alder forholdsvis stabil i mange år, men i de siste årene har den blitt redusert og er nå det laveste man har målt. I tillegg til at lengdeveksten er redusert, har kondisjonsfaktoren blitt lavere de siste årene (ICES 2014b).



Figur 2. Gjennomsnittlig lengde ved alder 6 år for nvg-sild, makrell og kolmule. Vertikale streker representerer ett standardavvik.

For makrell er dette et klart signal på tetthetsavhengig vekst der konkurranse om mat innad i bestanden er hemmende på individveksten. Utvikling i vekst, her uttrykket som lengde ved alder, indikerer at byttedyrstilgangen for nvg-sild og kolmule er bra, mens makrell sliter med å finne nok mat. En viktig forskjell mellom sild og makrell er tidspunktet for hovedbeiteperioden. Mens sild hovedsakelig beiter sent om våren og da spiser raudåte som har overvintret fra året før, beiter makrell hovedsakelig fra juli og utover på den nye raudåtegenerasjon.

Konsum pelagisk fisk

En rekke ulike arter fisk og krepsdyr spiser raudåte i ett eller flere stadier av livet. De største konsumentene av raudåte i Norskehavet er nvg-sild, kolmule og makrell. Raudåte er det viktigste byttedyret til disse artene, men andelen raudåte i dietten varierer mellom artene, sesonger og størrelse på fisken. De tre artene vil delvis gyte og overvintre utenfor Norskehavet, men vandrer inn dit for å beite om våren og sommeren. I områder eller perioder med lite raudåte ser man at dietten til den pelagiske fisken er dominert av andre dyreplankton som amfipoder og krill, men også mesopelagisk fisk og fiskelarver blir konsumert.

Siden det er store forskjeller i tid og rom i hvor mye og hva fisken spiser, er det vanskelig å beregne nøyaktig det totale årlige konsumet av raudåte. Beregninger av årlig konsum av byttedyr i våtvekt for sild er i størrelsesorden 3–7 ganger sin egen kroppsvekt (Dommasnes 2004). Det er gjort forholdsvis få studier på hvor mye kolmule og makrell spiser i løpet av et år. For beregninger av det totale konsumet av raudåte er det tatt utgangspunkt i modellert konsum av Utne et al. (2012). Denne studien estimerte at 9,8 millioner tonn nvg-sild, 3,2 millioner tonn kolmule og 2,7 millioner tonn makrell konsumerte totalt 82 millioner tonn byttedyr i 1997. Av dette var 35 millioner tonn raudåte. Ved å bruke forholdstallene fra denne studien kan man estimere det totale konsumet for flere år. For sild og makrell er det tatt utgangspunkt i at nesten 50 % av dietten er raudåte, mens det er drøyt 20 % for kolmule. Beregninger for de siste ni årene viser at mengden raudåte konsumert av nvg-sild, kolmule og makrell har vært i størrelsesorden 26,8–50,7 millioner tonn årlig (tabell 1). Det er forholdsvis stor usikkerhet knyttet til disse tallene, men denne usikkerheten er ikke tallfestet. Det reelle konsumet av raudåte konsumert av pelagisk fisk kan altså både være høyere og lavere enn oppgitt i denne rapporten.

Tabell 1. Biomasse pelagisk fisk (ICES 2014a) beitende i De nordiske hav, årlig totalkonsum (TK) av byttedyr og årlig raudåte-konsum (RK) for årene 2005-2013. Alle tall er oppgitt i millioner tonn.

År	Sild			Makrell			Kolmule			Sum	
	SSB	TSB	TK	TK	TK	RK	RK	RK	Sum TK	RK	
2005	5,5	3,1	10,9	28,3	15,5	61,2	13,7	7,5	13,6	105,0	34,8
2006	5,6	3,4	8,8	28,8	17,0	49,7	14,0	8,2	11,0	95,6	33,2
2007	6,3	3,7	8,2	32,4	18,4	46,0	15,7	8,8	10,2	96,8	34,8
2008	6,9	4,4	6,1	35,5	22,0	34,2	17,2	10,6	7,6	91,7	35,4
2009	7,9	4,8	4,6	40,7	23,9	25,9	19,7	11,5	5,8	90,5	37,0
2010	7,4	5,1	3,6	38,1	25,6	20,5	18,5	12,3	4,6	84,2	35,4
2011	6,3	5,8	4,1	32,4	28,9	23,3	15,7	13,9	5,2	84,6	34,8
2012	5,5	5,5	5,2	28,3	27,7	29,2	13,7	13,3	6,5	85,3	33,6
2013	4,7	5,6	6,2	24,2	28,0	34,6	11,7	13,5	7,7	86,9	32,9

Konsum evertebrater og mesopelagisk fisk

I tillegg til at raudåte blir spist av de pelagiske fiskeartene, beiter også evertebrater og mesopelagisk fisk på raudåte. Det er gjort få beregninger av det totale årlige konsumet til evertebratene og de mesopelagiske fiskene i våre farvann. Tallene for noen hovedarter og -grupper som oppgis nedenfor er hentet fra Skjoldal et al. (2004) og er beregnet for en viss del av Norskehavet. Der blir det årlige konsumet beregnet ut fra den årlige produksjonen, og det blir antatt en veksteffektivitet på 20 %. Det betyr at konsumet beregnes ved å multiplisere produksjonen av hovedartene og -gruppene med fem, og er et indirekte estimat. I tillegg er produksjonen et indirekte estimat, beregnet ved å bruke empiriske forhold mellom produksjon og biomasse. Det er derfor stor usikkerhet i disse tallene for konsum. Noen evertebrater er herbivore, andre er karnivore, og mange er begge deler. Her oppgis den karnivore delen av konsumet.

Themisto spp. er de vanligste amfipodene i våre farvann. *Themisto spp.* er nesten utelukkende karnivore, og raudåte er ett av hovedbyttedyrene deres. De er estimert å ha det høyeste karnivore konsumet i Norskehavet på over 190 millioner tonn. Krill er i Skjoldal et al. (2004) oppgitt å være 25 % karnivore, og beiter på annet dyreplankton, bl.a. små hoppekreps. Den karnivore delen av dietten til krill er oppgitt å være 69 millioner tonn. Blekkspruten *Gonatus fabricii* spiser blant annet pelagiske krepsdyr (krill og amfipoder utgjør ca. 50 % av dietten) og fisk. Juvenile dyr spiser hoppekreps. Den delen av det karnivore konsumet til *G. fabricii* hvor raudåte inngår, er beregnet til 55 millioner tonn. Pilorm og hoppekrepsen *Euchaeta* beiter hovedsakelig på hoppekreps. Geléplankton (maneter, meduser) er hovedsakelig karnivore, og hoppekreps er en viktig del av dietten. Totalt er det beregnet at evertebratene i Norskehavet har et karnivort konsum på 698 millioner tonn.

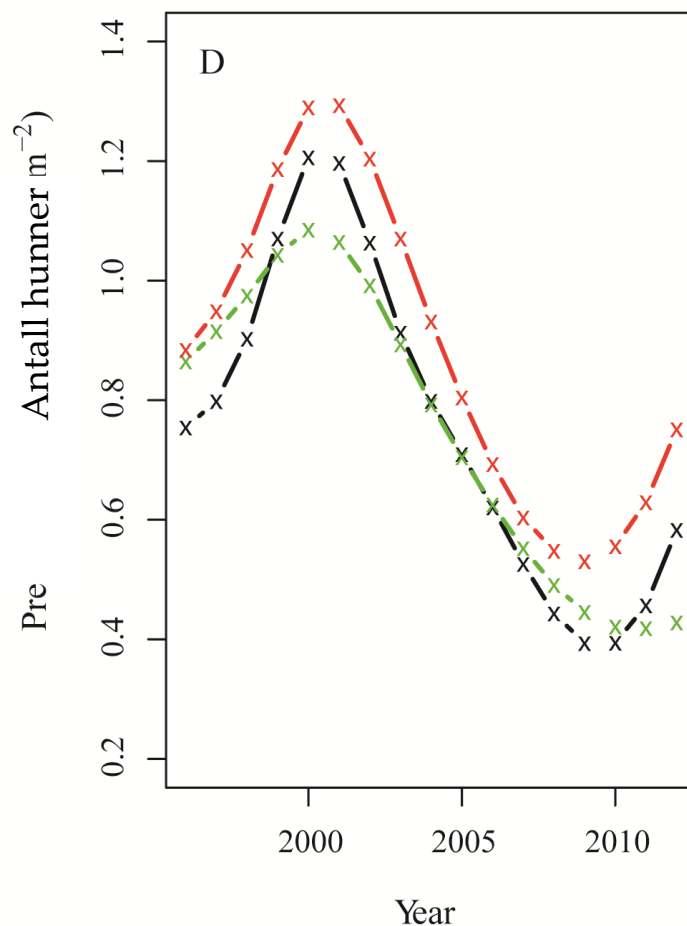
Det er liten informasjon om dietten til mesopelagisk fisk i Norskehavet, men det har vært flere studier av dietten i norske fjorder (Giske et al. 1990). De mesopelagiske fiskeartene (vanligst er nordlig lysprykkfisk og laksesild) spiser hovedsakelig plankton, og hoppekreps utgjør hoveddelen av dietten. Konsumet til mesopelagisk fisk er beregnet til ca. 45 millioner tonn (Skjoldal et al. 2004).

1.3 Endringer i raudåtebestanden fra midten av 1990-tallet til i dag

Siden tidlig på 2000-tallet har dyreplanktonbiomassen i Norskehavet i mai, der raudåta utgjør minst 50 %, vist en nedadgående trend. Siden 2009 har denne trenden snudd, og det har vært en økning i biomassen frem til 2014 (ICES WGINOR 2014). Det har hittil ikke vært fremstilt tidsserier som viser endringene i raudåtebestanden i Norskehavet fra overvåkningsdataene. En ny undersøkelse (Dupont et al., innsendt) viser at endringene i mengden raudåte fra Svinøysnittet følger de samme trendene som totalbiomassen (figur 3). I denne undersøkelsen er data fra Havforskningsinstituttets overvåkningstokt benyttet, og det er bare sett på overvintringsgenerasjonen.

En utfordring med mengdedataene for raudåte er at den sesongmessige tidsutviklingen endrer seg fra år til år. For eksempel vil tidspunktet for gyting variere mellom år, og videre vil tidspunktet for når egg og nauplier kan overleve (avhengig av mattilbudet) og danne neste generasjon, variere mellom år. Utviklingstiden fra ett stadium til det neste avhenger av havtemperaturen (Corkett et al. 1986), og vil derfor også variere. Samlet betyr dette at sesongutviklingen for bestanden er forskjellig fra år til år, noe som medfører at maksimalt antall i bestanden eller biomassetoppen inntreffer til ulik tid. I tillegg varierer tidspunktene for toktene og innsamlingsposisjonene noe fra år til år.

I modellene til Dupont et al. (innsendt), er det forsøkt tatt hensyn til disse tidsvariasjonene i raudåtas utvikling i forhold til varierende innsamlingstidspunkt. Figur 3 viser hvordan den modellerte absolutte mengden av raudåte varierer fra 1996 til 2012. Fra 1996 til 2000 er bestanden nær ved å doble seg, for så å minke til et minimum rundt 2010. Dette utgjør en reduksjon i den voksne overvintringsgenerasjonen med en faktor på 2,3 over ni år. De to senere årene øker bestanden igjen. Undersøkelsen går bare til 2012, men biomassedata til og med 2014 antyder en videre økning i raudåtebestanden. Det er foreløpig ikke klart hva som er årsakene til endringene i mengden raudåte. Endringene kan skyldes flere påvirkningsfaktorer som klimatiske og oseanografiske forhold, eventuelle endringer i planteplanktonproduksjonen, og beiting fra rovdyr som evertebrater og fisk.



Figur 3. Tre ulike GAM-modeller for voksne individer av overvintringsgenerasjonen. Kurvene er gitt som antall per kvadratmeter overflate. I modellen markert med den svarte kurven inngår variablene år, dag, stasjon. Modellen markert med grønn linje inkluderer i tillegg en såkalt interaksjonsterm mellom dag og år, og i den røde linjen introduseres i stedet gjennomsnittlig utviklingsstadium for raudåta ved tidspunktet for innsamling. For detaljert beskrivelse, se Dupont et al. (innsendt).

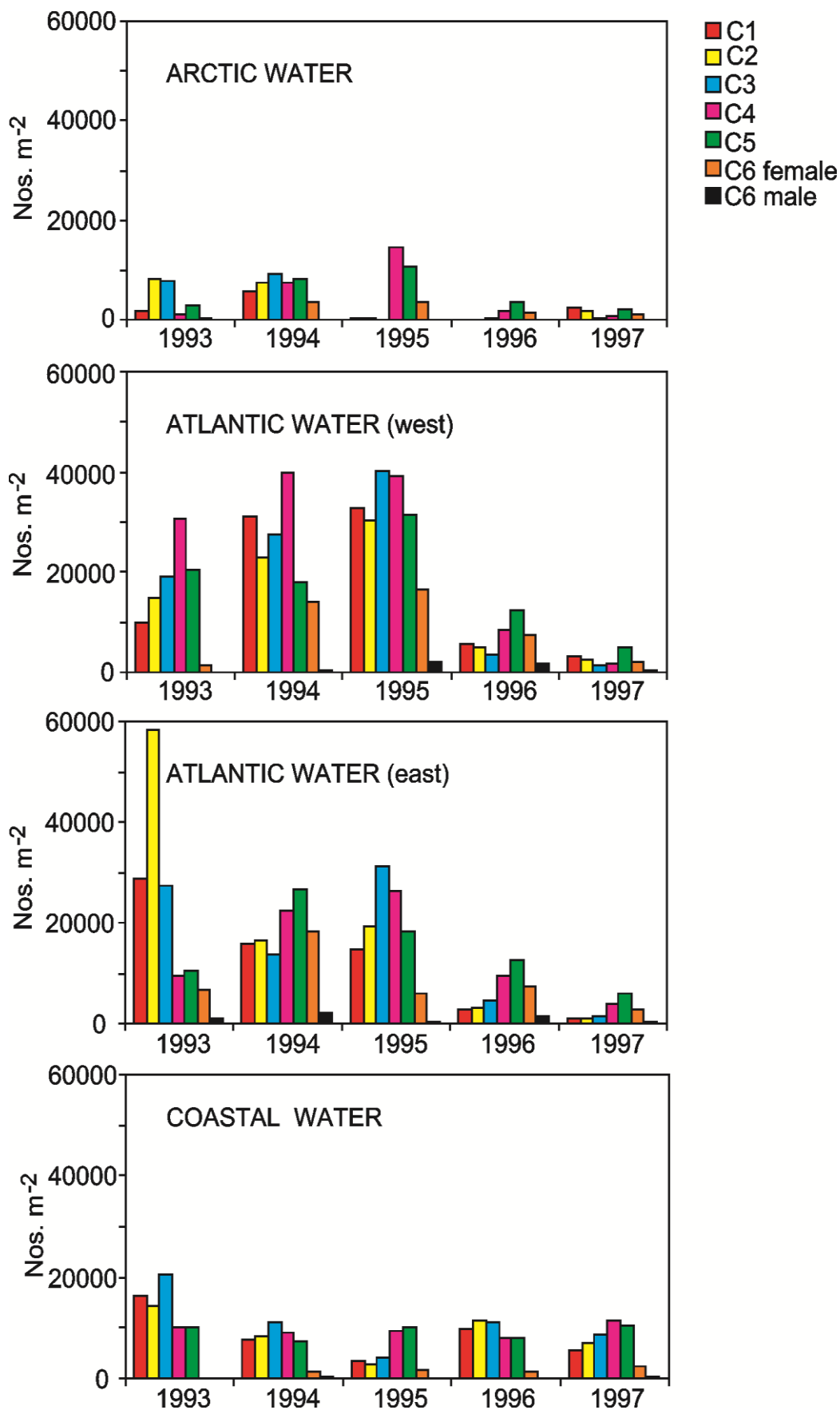
Endringer i klimatiske og fysiske forhold kan påvirke raudåteproduksjonen direkte, som ved endringer i temperaturen, og/eller indirekte via endringer i planteplanktonproduksjonen. Både felt- og modellstudier (Hjøllo et al. 2012) har vist viktigheten av at tidspunktet for våroppblomstringen av planteplankton og produksjonen av yngre stadier av raudåte er sammenfallende i tid. Klimatiske endringer kan føre til en forskyvning av plante- og/eller raudåteproduksjonen, og dermed gi et misforhold i tid mellom dyreplanktonet og dets mattilbud. Temperaturen kan også endre den totale primærproduksjonen i et havområde. Mueter et al. (2009) fant at i de subartiske havområdene er primærproduksjonen høyere i de varme regionene (Gulf of Maine og Nordsjøen) enn i de kaldere (Grønlandshavet, Norskehavet og Barentshavet). I tillegg var primærproduksjonen i de kalde områdene høyere i varme år. Hvorvidt raudåta kan dra fordel av kombinasjonen høy temperatur og høy primærproduksjon vil nok avhenge av om temperaturen i et spesifikt havområde i utgangspunktet er over eller under raudåtas optimale trivselstemperatur under beitesesongen. Ut ifra observasjoner i raudåtas utbredelsesområde synes den å ligge på rundt 6 °C (Sundby 2000). I de varmeste områdene kan den befinne seg opp mot 14 °C, og i de kaldeste ned mot 0 °C.

En nedgang i mengden planteplankton eller endringer i artssammensetningen vil kunne gi dårligere beiteforhold for raudåta (Hjøllo et al. 2012). Modellstudier foreslår også at endringer i tidspunktet for når raudåta avslutter sin overvintringsfase i dypet og stiger opp til øvre vannmasser, kan ha stor betydning for produksjonen. Olsen et al. (2007) har foreslått at mengden sild ett år vil påvirke mengden dyreplankton året etter. En annen undersøkelse viser at predasjonstrykket fra pelagisk fisk (basert på predasjonstrykket gitt i 1997) påvirker sesongens fordeling av raudåte, men ikke reduserer mengden av neste generasjon (Utne et al. 2012). Modellstudier av raudåte har vist at en sterkt redusert bestand i begynnelsen av året kan bli nesten fullstendig gjenopprettet i løpet av ett år dersom mattilgangen er god (Hjøllo et al. 2012).

1.4 Utbredelse

Raudåta har vid utbredelse i atlantisk og subarktisk vann i det nordlige Atlanterhavet. Den finnes i store mengder i Labradorhavet mellom Canada og Grønland, langs østkysten av USA, i Irmingerhavet mellom Island og Grønland, i Norskehavet og tilstøtende havområder og kontinentalsokler (Melle et al. 2014). Raudåtas kjerneområder regnes å være den subpolare gyren i Labrador- og Irmingerhavet og gyren i Norskehavsbassenget i sørlige og sentrale Norskehavet (Helland-Hansen og Nansen 1909; Sundby 2000). Begge gyrene er syklonske (går mot klokka) med atlantisk vann som strømmer nordover i øst og arktisk vann som strømmer sørover i vest. Raudåtas utbredelse er nært knyttet til havstrømmenes sirkulasjonsmønster.

I våre farvann blir raudåta ført med strømmene fra kjerneområdet i Norskehavsbassenget til kystvannet over kontinentalsoklene og til fjordene (Samuelsen et al. 2009). Raudåta overvintrer hovedsakelig i de dype bassengene, men overvintring i dype fjorder er viktig for lokale bestander, og disse fjordene har en egenproduksjon av raudåte i tillegg til tilførsel fra atlantisk vann i Norskehavet. På grunn av lave tettheter av raudåte på kontinentalsokkelen etter vinteren er det blitt stilt spørsmålsteget ved om raudåta kan overvintre på sokkelen (Slagstad og Tande 1996). Individuer som går ned for å overvintre på sokkelen vil ha et grunnere overvintringsdyp og sannsynligvis høyere dødelighet pga. predasjon enn individer som overvintrer i dypet i bassengene og fjordene (Bagøien et al. 2001). Det er også foreslått at individene på sokkelen blir skylt bort med vannstrømmene fra sokkelen om vinteren.



Figur 4. Antall raudåte per m² overflate i ulike vannmasser i Norskehavet (Melle et al. 2004).

I Norskehavet finnes raudåta i kystvann, atlantisk vann og blandet atlantisk/arktisk vann (Bagøien et al. 2012). En undersøkelse av raudåtas fordeling i 1995, et år hvor Havforskningsinstituttets overvåkning av raudåta hadde god dekning, viste at de høyeste konsentrasjonene av raudåte ble funnet i atlantisk og blandet atlantisk/arktiske vannmasser. Konsentrasjonen i norsk kystvann var noe lavere (Broms et al. 2009). I rent arktisk vann er konsentrasjonen av raudåte lav. Fordeling av raudåte per vannmasse er oppsummert i figur 4.

1.5 Overvåkningsprogrammet for raudåte i Norskehavet

Raudåte inngår i Havforskningsinstituttets overvåkningsprogram som en del av dyreplanktonovervåkingen. Det blir samlet inn og analysert prøver fra alle våre havområder hvor raudåte er utbredt (Nordsjøen, Norskehavet og Barentshavet) etter standardiserte metoder (Hassel et al. 2013). Innsamling med regional dekning (økosystemtoktene) foretas årlig, i tillegg blir faste snitt og stasjoner samlet inn flere ganger i året. I Norskehavet skjer den første regionale dekningen i mai hvor store deler av havområdet blir dekket. Dette toktet er et ICES-koordinert tokt, hvor båter fra Norge, Færøyene, Island og Danmark (EU) deltar. Også Islandshavet dekkes. Dyreplanktonet blir samlet med WP2-håv fra 200 m dyp (eller bunnen der bunnen er grunnere enn 200 m) og opp til overflaten. På utvalgte stasjoner blir det i tillegg samlet plankton med flerposet Mocness ned til 700 meter. Prøvene fra de regionale toktene blir ikke rutinemessig opparbeidet til art, men de norske prøvene blir inndelt i flere størrelsesfraksjoner og biomassen blir målt for hver enkelt fraksjon. Ut fra størrelsen kan man anta hvilken biomassefraksjon de ulike raudåtestadiene tilhører.

Siden 2004 er det utviklet et økosystemtokt som gjennomføres i juli og august. Også dette er koordinert av ICES. Innsamlingsprogrammet for dyreplankton gjøres med WP2-håver til 200m for at resultatene skal kunne sammenlignes med mai-toktet. Begge toktene har som hovedmål å mengdemåle de pelagiske fiskebestandene samt overvåke plankton og hydrografi. De faste snittene "Svinøy", "Gimsøy" og "Bjørnøya-vest" blir dekket 4–5 ganger i året og opparbeidet til biomasse. I tillegg blir "Svinøy-" og per i dag delvis "Gimsøy-snittet" opparbeidet til art. Dataene lagres hos Norsk marint datasenter (NMD) ved Havforskningsinstituttet. Dataene rapporteres årlig gjennom ICES (Det internasjonale havforskningsrådet), "Havforskningsrapporten" og "Miljøstatus.no". I tillegg brukes dataene i Miljødirektoratets "Naturindeks for Norge (NI)" og "Den helhetlige forvaltningsplanen for Norskehavet" samt annet forvaltningsarbeid. Det gjennomføres også egne overvåkningsprogram for dyreplankton i de andre norske havområdene hvor raudåta er utbredt: i Barentshavet og Nordsjøen.

Den regionale dekningen av Norskehavet startet i 1995 og prøvetakingen langs snittene i 1990 (Melle et al. 2004). Disse dataene utgjør dermed tidsserier i dag. Tidsseriene er av stor verdi når det gjelder overvåkingen av raudåte og forskning på bl.a. konsekvenser av klimaendringer og mattilbudet for pelagisk fisk. Dataene brukes også i arbeidet med å utvikle modeller for raudåtebestanden i Norskehavet. Ved et fiske på raudåte, vil de historiske dataene kunne brukes som et grunnlag for å vurdere eventuelle konsekvenser av fisket. For å

få gode estimater av raudåteproduksjonen samt konsekvenser av ytre påvirkning, kreves det imidlertid data på artsnivå fra et område som representerer hele Norskehavet. Dersom en skal vurdere konsekvensene av et fiske på raudåtebestanden, anbefales det derfor å opparbeide utvalgte historiske og fremtidige prøver fra de regionale dekningene til artsnivå.

2 Bestandsvurdering og økologiske effekter av fiske

2.1 Biomasse og produksjon av raudåte

For å kunne vurdere eventuelle effekter av et raudåtefiske på raudåtebestanden og på predatorbestander, samt å kunne gi anbefalinger om et totalt årlig uttak av raudåte, er det viktig å ha gode estimater på raudåtebestandens størrelse. Det presenteres her estimater av både raudåtebiomassen og av raudåteproduksjonen. Det eksisterer ingen fast definisjon på hvilket areal Norskehavet utgjør, og det vil derfor bli opplyst om hvilket areal som ligger til grunn for de forskjellige beregningene.

Den årlig gjennomførte overvåkingen av mengden dyreplankton i Norskehavet er tradisjonelt basert på beregninger av biomasse av forskjellige størrelsesgrupper av dyreplankton (jf. kap. 1.5), og ikke forekomster og biomasse på arts- og stadienivå. Dette har sammenheng med kostnadene forbundet med opparbeidelse av prøver til artsnivå. Det finnes noe tilgjengelig data på artsnivå, men antall og geografisk utbredelse av prøver bør vurderes økt for mer nøyaktige estimater i fremtiden. Det beste datagrunnlaget for estimering av raudåtebiomasse ved bruk av artsspesifikke opparbeidede prøver er fra 2009 hvor ca. 25 prøver fordelt over rimelig store deler av Norskehavet er opparbeidet. Den totale biomassen, basert på et vektet gjennomsnitt i mai 2009, ble beregnet til 40,8 millioner tonn våtvekt i de øvre 200 meterne i et område på total 1,1 millioner km². Omregning fra antall individer av forskjellige raudåtestadier til vekt ble gjort på grunnlag av data fra Hygum et al. (2000).

Samme år ble det også fortatt målinger ved hjelp av en optisk partikkelteller (Optical Plankton Counter, OPC) påmontert en tauet farkost. En OPC teller tettheten av partikler av forskjellige størrelser mens den dras gjennom vannmassene. Ved å bruke disse dataene sammen med beregninger av andelen raudåte i de biologiske prøvene (nevnt over), kunne det lages et estimat på biomassen av raudåte fra den optiske planktontelleren. Biomassen i mai ble estimert til å være 36,7 millioner tonn våtvekt. Selv om total estimert biomasse ved de to metodene er forholdsvis like, ser vi forskjeller mellom metodene innad i dataene. Et større datagrunnlag og mer inngående analyse av forskjellene vil være nødvendig i fremtiden.

Eldre estimater av raudåtebiomassen inkluderer Skjoldal et al. (2004) som fant 48,3 millioner tonn våtvekt Calanus-arter (areal 1,1 millioner km²) hvor hoveddelen utgjøres av raudåte (Skjoldal et al. (2004), tabell 17.1 side 483). Biomassen av raudåte er også beregnet ved hjelp av modellering. I Hjøllo et al. (2012) er biomassen av raudåte beregnet basert på en individbasert modell for raudåte. For nærmere beskrivelse av modellen: se kap. 2.2.2. Med denne modellen ble den gjennomsnittlige biomassen i perioden mai–juli beregnet til 45 millioner tonn våtvekt. Modellen omfatter norskehavsbestanden av raudåte og dekker dermed

et variabelt, men generelt større areal enn hva de andre beregningene nevnt over gjør (se Hjøllø et al. (2012) figur 2).

Raudåte har i hovedsak en ettårig livssyklus, og biomassen vil derfor variere betydelig i løpet av et år, avhenging av hvor i syklusen hovedvekten av raudåta befinner seg. Det er derfor nødvendig å se også på den årlige totale biomasseproduksjonen.

Raudåteproduksjonen er blitt beregnet basert på både økologiske betraktninger og ved modellering. Skjoldal et al. (2004) benytter biomasseestimatene nevnt over for å beregne produksjonen ved å anta at forholdstallet mellom produksjon og biomasse er 6. Basert på denne fremgangsmåten er den årlige produksjonen av raudåte estimert til 290 millioner tonn våtvekt. Dersom modellen til Hjøllø et al. (2012) legges til grunn, er den totale årlige produksjonen av norskehavsbestanden av raudåte (variabelt areal) estimert til 193 millioner tonn våtvekt. Modellen finner derimot at forholdet mellom produksjon og biomasse er lavere med en verdi på 4,3. Produksjonsestimatene viser at ulike metoder vil kunne gi ulike resultater, og det er knyttet usikkerhet til estimatene.

2.2 Økologiske effekter av fiske

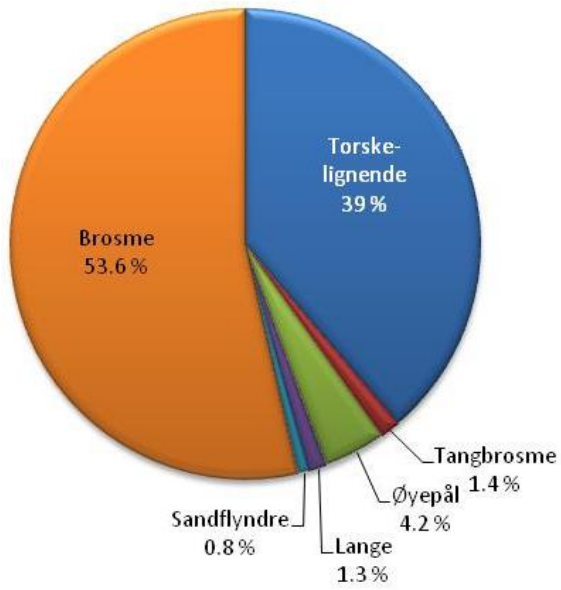
2.2.1 Effekter på andre arter pga. bifangst

Forsøksfangst av raudåte har vært gjort med finmasket trål som taues i sakte fart i de øvre vannmassene. Høstingen har vært geografisk spredt fra Mørekynten til Tromsøflaket fra slutten av april til begynnelsen av august.

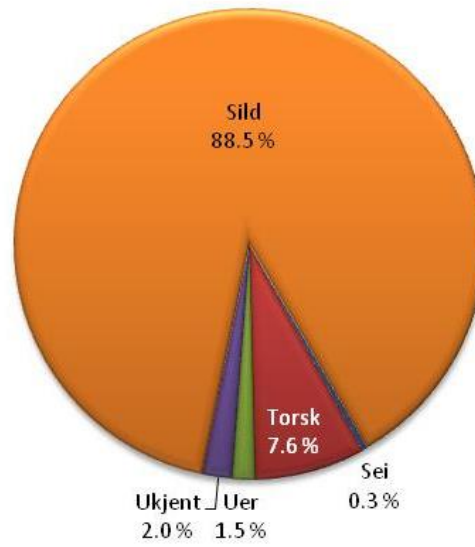
Figurene og tallene under er basert på høstingssesongen 2014. Figur 5 viser fordelingen av fiskeegg og larver som ble tatt som bifangst. Brosme og torskelignende egg utgjorde de største andelene (til sammen 93 %) av egg fanget som bifangst (figur 5a). Egg av øyepål, tangbrosme, lange og sandflyndre utgjorde bare en liten del av bifangsten. De fleste eggene ble tatt sør for 70°N (figur 6). Det ble tatt mest brosmeeegg tidlig i høstsesongen, mens andelen torskelignende egg økte utover i høstsesongen. Det ble ikke funnet egg i bifangsten på slutten av høstsesongen i juli og dette kan forklares ved at de fleste eggene er klekket til larver på denne tiden.

Bifangsten av larver (figur 5b) var dominert av sild, som utgjorde 88 %. Det ble også tatt noe torskelarver (8 %), mens sei, uer og andre larver som ikke var mulig å artsbestemme, utgjorde en liten del av bifangsten. Det ble tatt flest larver av sild og sei sør for 70°N, og flest larver av torsk, uer og ukjente larver nord for 70°N (figur 6). Silde larvene dominerte bifangsten gjennom store deler av høstsesongen. Mot slutten av sesongen, da høstingen foregikk på Tromsøflaket, bestod bifangsten av en variasjon av flere arter: torsk, uer, sei, sild, samt uidentifiserte larver. Da høstingen av raudåte hovedsakelig begynte i sør og ble avsluttet i nord, kan det ikke skilles mellom effekter av eggene og larvenes sesongutvikling og geografiske forskjeller i fordeling.

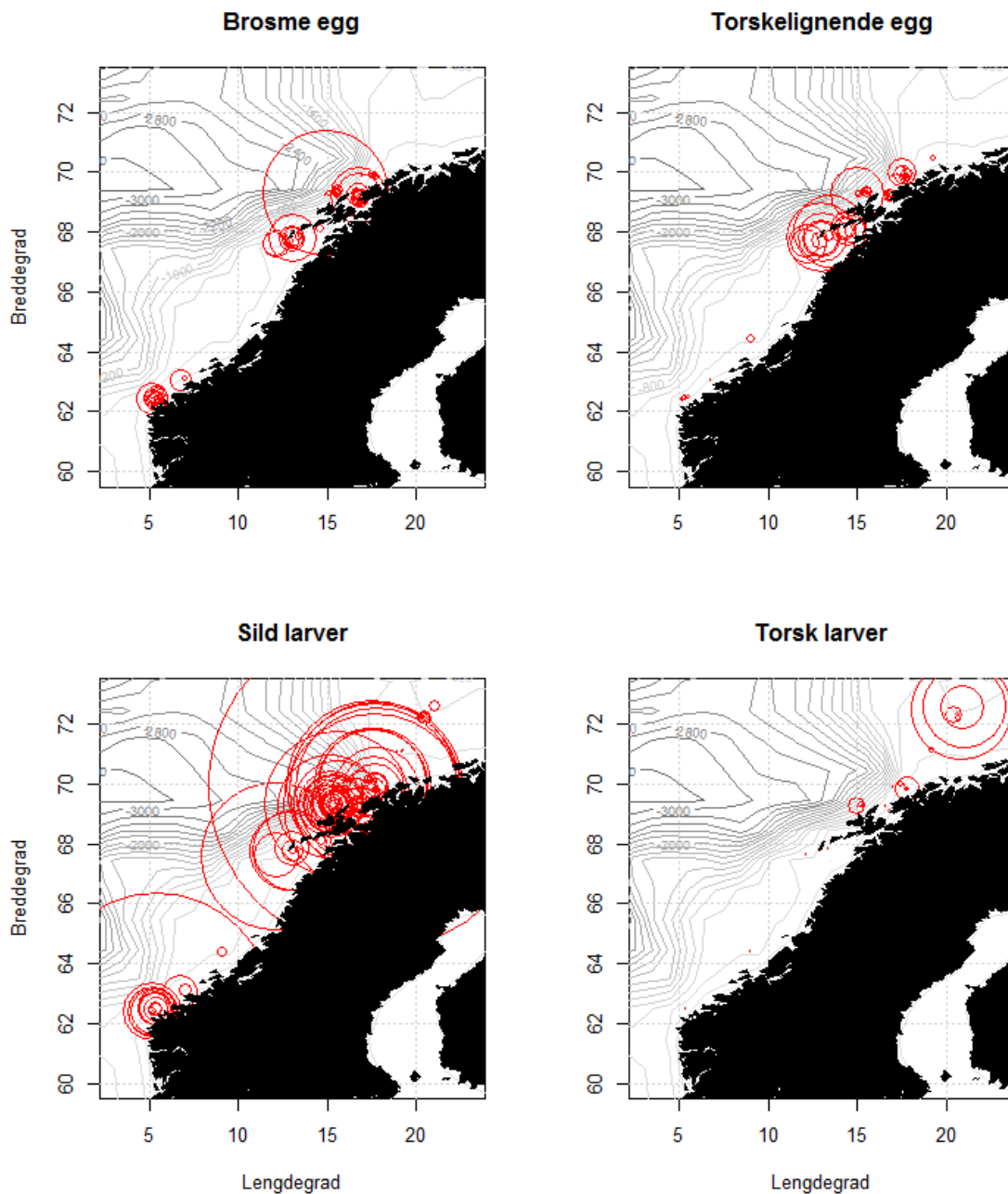
a) Bifangst av fiskeegg



b) Bifangst av fiskelarver



Figur 5. Fordeling av bifangst av egg (a) og larver (b) basert på høstesesongen 2014.



Figur 6. Relativ bifangst per time trålt for de to største gruppene av egg og larver basert på høstesesongen 2014.

For å kunne vurdere effektene av bifangst på fiskeartene er det under gitt noen eksempler der bifangsten er relatert til rekruttering hos viktige fiskearter. Det er først beregnet hvor mye reelle bifangster av egg og larver vil utgjøre for rekrutteringen til voksen fisk gitt kunnskap om dødelighet i utviklingen. Torsk er brukt som eksempel fordi dødeligheten av ulike stadier fra egg til voksen fisk er best undersøkt for denne arten. I beregningene er det ikke skilt mellom nordøstarktisk torsk og norsk kysttorsk. Beregningene under er basert på høsting av 204 289 kg raudåte, hvor det som bifangst ble fanget totalt 2,5 millioner torskelignende egg og 2,3 millioner torskelarver. For å få et inntrykk av hva et slikt uttak av fiskelarver vil si for

torskestammen, er tapte egg og larver fremskrevet ved hjelp av kjente verdier for dødelighet hos egg, larver, juvenile og 0-gruppe (Sundby et al. 1989; Langangen et al. 2013). Av de 2,5 millioner eggene skulle 117 347 klekket til larver. Videre skulle en forvente at av de 2,3 millioner larvene skulle 50 782 ha blitt juvenile, og at 2494 av disse igjen skulle nådd 0-gruppe (det antas da at de larvene/ungel som ble registrert som bifangst er inntil 90 dager gamle). 700 dager etter rekruttering til 0-gruppe, vil ytterligere 1336 ha forsvunnet. Det kan dermed antas at 1158 torsk ville ha nådd 3-årsalder. Dersom dette fisket oppskaleres til høstingskvoten i 2014 på 1000 tonn, vil estimatet bli at 5669 færre torsk rekrutterte som 3-åringer i 2017, eller av størrelsesorden 5 tonn mindre torsk som 3-åringer. Til sammenlikning var det i 2012 estimert å være 693 millioner 3-åringer av torsk (ICES <http://standardgraphs.ices.dk/ViewCharts.aspx?key=6567>). Beregningene viser altså at å høste 1000 tonn raudåte vil ha en neglisjerbar effekt på rekruttering hos torsk, gitt de overnevnte nivåene av bifangst.

Under høstingen i 2014 ble det tatt mest sildelarver som bifangst. Basert på raudåtefangst på 204 tonn raudåte (~20% av kvoten) ble det fanget rundt $26,5 \cdot 10^6$ sildelarver. I et normalår blir det produsert et antall sildelarver i størrelsesorden $1-100 \cdot 10^{12}$. Bifangsten av sildelarver vil da utgjøre rundt 0,00005 % av det totale antallet sildelarver (Stenevik & Nash 2008). Videre ble det under høstingen i 2014 tatt mest brosmegg som bifangst, og ca. 3,5 millioner brosmegg ble fisket. Til sammenlikning kan en gjennomsnittlig hunnbrosme legge opptil 2 millioner egg.

Følgende beregninger er gjort i et "worst case scenario". På de mest konsentrerte områdene i Vestfjorden i mai kan man forvente å påtreffe torskelarvekonsentrasjoner på opp mot 30 individer per kvadratmeter overflate (Ellertsen et al. 1987) eller opp mot 1000 larver ved dagens tettheter (Svein Sundby, pers. kom.). Om man antar at 90 % av torskelarvene i vannsøyla blir fanget i redskap med tilsvarende effektivitet som det høstes med per i dag, vil man hindre 15–500 torsk fra å rekruttere som 3-åringer per kilo fisket raudåte. For bestanden av torsk er ikke dette alvorlig, og et fiske gjennomført på denne måten er heller ikke et sannsynlig scenario, men det viser at bifangst av larver potensielt kan påvirke andre bestander ved større kvoter enn dagens.

Generelt for fiskebestandene vil bifangsten av fiskeegg og -larver basert på dagens kvote på 1000 tonn ha ubetydelig effekt.

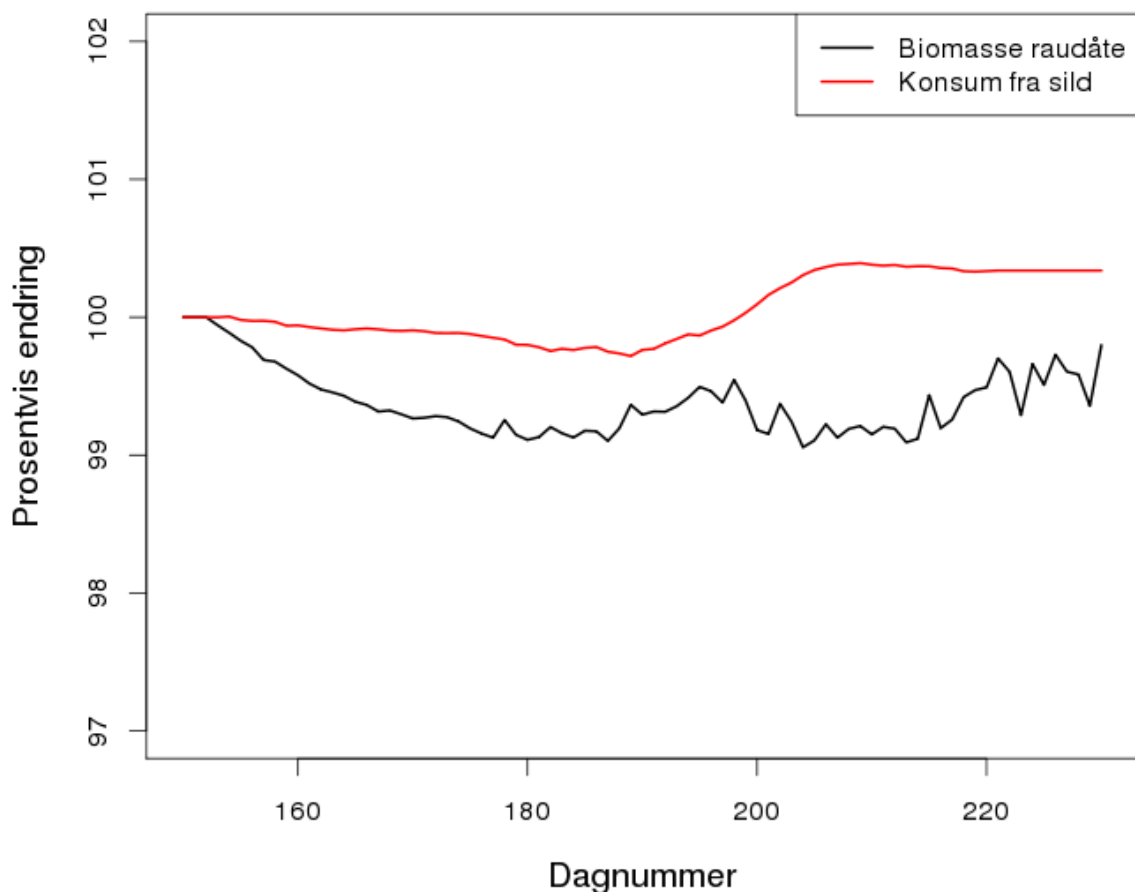
2.2.2 Effekter på raudåtebestanden og predatorbestander

Raudåtebestand i Norskehavet er modellert med økosystemmodellen norwecom.e2e (Hjøllo et al. 2012), som er et koblet 3-dimensjonalt modellsystem med havsirkulasjon (fysikk) og primærproduksjon. Raudåtemodellen kjører på toppen av denne modellen og simulerer atferd, vekst, drift, reproduksjon og mortalitet av raudåte samt vekselvirkningene mellom disse tre modulene. Flere modeller for andre arter dyreplanktonarter er under utvikling, men disse er ikke benyttet i dette arbeidet. Oppløsningen på de fysiske drivkreftene er ca. 20 km.

Det er også utviklet modeller for sild, makrell og kolmule som er koblet til (Utne et al. 2012). Dette er individbaserte modeller med god oppløsning i tid og rom som inkluderer alle livsstadier fra egg til voksen fisk. Resultatene for den voksne fisken ble publisert i Utne et al. (2012), men det modellerte larvestadiet må kvalitetssikres før disse resultatene kan brukes inn mot forvaltning. I de aktuelle modellkjøringene ble det dermed fokusert på voksen fisk. Modellen inkluderer vandring, dødelighet, beiting og vekst. Modellen kjøres over flere år der fisken har sesongavhengig adferd med gyting om våren, en beiteperiode som strekker seg over våren og sommeren, og så vandring til overvintringsområdene sent på høsten. Modellen ble kjørt for 1997 og er initiert med ca. 9,8 millioner tonn sild, 3,2 millioner tonn kolmule og 2,7 millioner tonn makrell. Denne biomassen blir noe redusert i løpet av året pga. dødelighet. I beiteperioden spiser den pelagiske fisken raudåte og andre byttedyr. Det er full kobling mellom fisken og raudåten i modellen. Det vil si at raudåten som blir spist av fisk, blir øyeblikkelig fjernet i modellen. Hvis fisken ikke finner høye nok konsentrasjoner av raudåte, vil den beite på de andre byttedyrene. Hvis fisken aldri finner raudåte, og dermed må spise andre byttedyr, vil den overleve, men ha et lavere totalkonsum og dermed redusert vekst.

Det ble kjørt to simuleringer der hver kjøring gikk over to år. I den første simuleringen ble det ikke høstet raudåte. I den andre simuleringen ble det tatt ut 500 000 tonn karbon under fiske, noe som tilsvarer ca. 3 335 000 tonn våtvekt raudåte. Det simulerte fisket fjernet raudåte jevnt fordelt over hele Norskehavet i tidsrommet 1. juni til 10. juli. Fiskens konsum av raudåte og biomasse raudåte fra de to kjøringene ble sammenlignet for å få et estimat av hvilken effekt et raudåtefiske i denne størrelsesorden vil ha på både den pelagiske fisken og raudåtepopulasjonen.

Modellkjøringene viser at et simulert raudåtefiske på 3,35 millioner tonn fordelt utover Norskehavet i perioden 1. juni til 10. juli ikke vil ha noen betydelig effekt på den pelagiske fiskens vekst og konsum. Man får en reduksjon i raudåtebestanden mens fisket pågår og i en kort periode etter at fisket er avsluttet (figur 7). Reduksjonen i raudåtebiomasse blir likevel minimal, da det blir bedre vekstvilkår for individene som ikke høstes. I modellen var det totalt sett ikke en reduksjon i fiskens konsum av raudåte ved et raudåtefiske. Det var en minimal reduksjon i en kort periode mens fisket pågikk, men en liten økning i konsumet etter at fisket var avsluttet (figur 7). Endringene er for øvrig så små at det ikke har noen praktisk betydning. Det er like mye raudåte på slutten av året og følgelig ingen kaskadeeffekter i påfølgende år.



Figur 7. Endring i raudåtebiomasse (svart linje) og sildens konsum (rød linje) som følge av et direkte raudåtefiske.

2.3 Fiske av dyreplankton / høstingsregler

Kommersiell høsting av mindre dyreplankton er på verdensbasis en lite utbredt aktivitet i motsetning til fangst på større arter krepsdyr (*Crustacea*) som reker, kreps, krabbe og hummer. Det største større fiskeriet av dyreplankton per dags dato er fangst av antarktisk krill (*Euphausia superba*) i Sørishavet i områdene rundt den antarktiske halvøya, Sør-Orknøyene og Sør-Georgia. Dette fisket er siden 1982 regulert gjennom CCAMLR og er en del av Antarktistraktaten. Det er satt et internasjonalt anerkjent tak på den totale fangsten, basert på føre-var-prinsippet, men også begrensninger på hvor mye av kvoten som kan fiskes innenfor gitte soner og undersoner (trigger-levels). I 2010 var den totale kvoten 40 ganger større enn den totale fangsten, men for første gang ble et underområde (subarea 48.1) stengt for fiske da man nådde det bestemte trigger-level for fangst (Nicol et al. 2012).

En forvaltning av raudåtefiskerier basert på ofte anvendte høstingsregler slik som ”maksimalt bærekraftig utbytte” vil mest sannsynlig innebære målbare effekter på andre kommersielt utnyttede fiskearter som direkte og/eller indirekte har raudåte som matkilde. Skulle det en gang i fremtiden skje at et fiskeri på raudåte blir mer ettertraktet enn våre tradisjonelle fiskerier, vil man kunne vurdere ”maksimalt bærekraftig utbytte” som høstingsregel. Per dags

dato er nok et forvaltningsregime likt det CCALMR bruker i forvaltningen av antarktisk krill mer formålsnyttig for raudåte, hvor total kvote og inndeling av fiskeområder i soner med trigger-levels er satt slik at påvirkning oppover i næringskjeden er minimal.

2.4 Kvoteråd – høstingstilråding

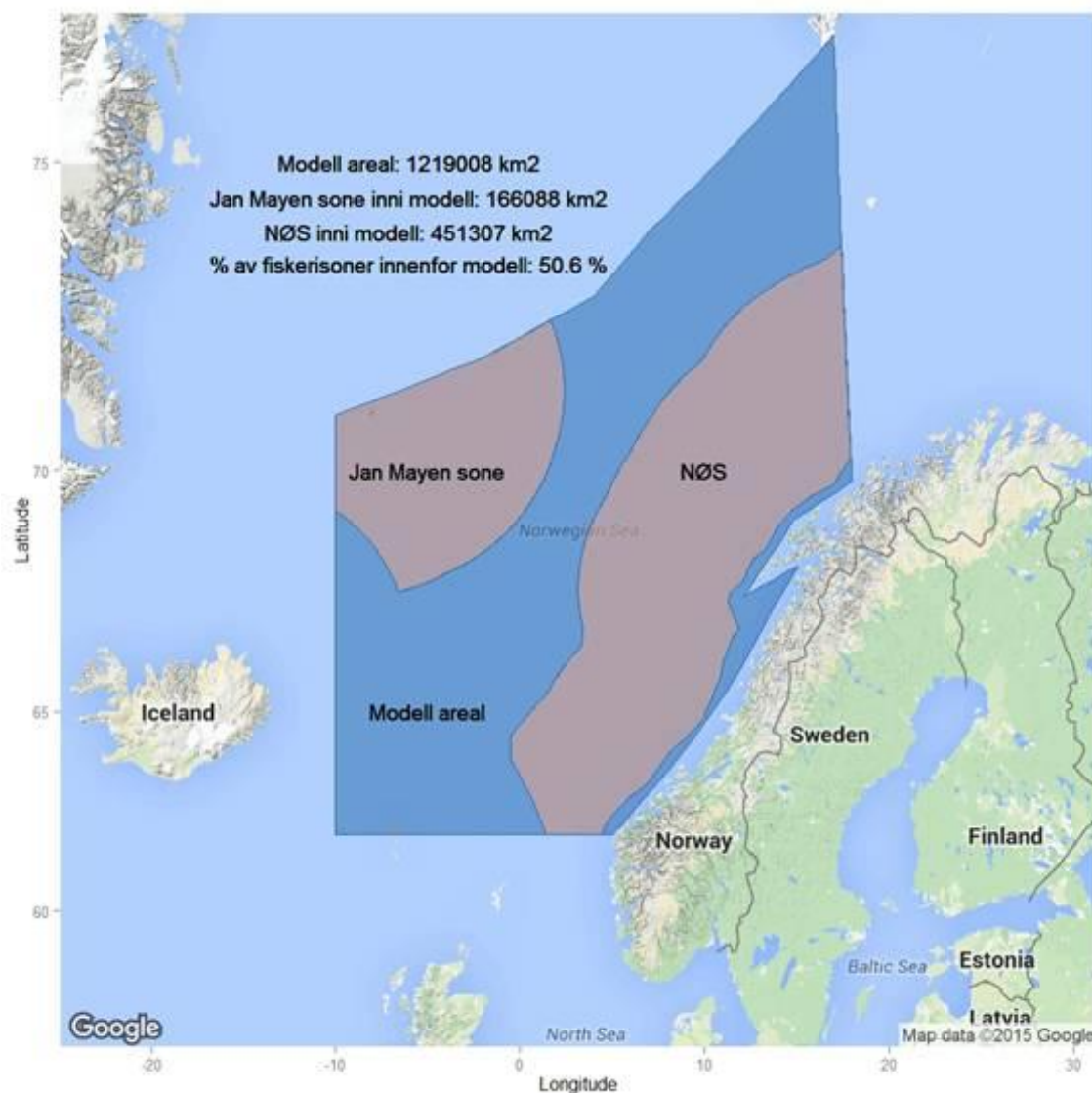
Som nevnt over er modellområdet i Hjøllo et al. (2012) variabelt og omfatter hele norskehavsbestanden av raudåte. I et nyere, men ennå ikke publisert arbeid med den samme raudåtemodellen, er modellområdet avgrenset for et område på 1,2 millioner km² (figur 8) av Norskehavet (Hjøllo et al., under utarbeidelse). Estimerte biomasser av raudåte innenfor dette avgrensede området vil bli lagt til grunn for en arealbetraktning for fastsetting av kvoteråd.

Resultatene baserer seg på modellsimuleringer av raudåtebestanden i perioden 1995–2007. I simuleringene er produksjonstoppen av raudåte rundt 1. juli og vi har tatt utgangspunkt i denne datoen for biomasseestimatene. Gjennomsnittlig total biomasse innenfor modellområdet er rett i overkant av 5 millioner tonn karbon, tilsvarende 33 millioner tonn våtvekt. Arealet av NØS innefor modellområdet er 478 697 km² og tilsvarende utgjør Jan Mayen-sonen 166 000 km². Totalt utgjør disse to fiskerisonene rundt 50 % av arealet i modellen (figur 8).

CCAMLRs kvoteråd for antarktisk krill er basert på en modell hvor vekst, dødelighet og rekruttering inngår, og som beregner hvor stor del av totalpopulasjonen som kan høstes innen for et føre-var-prinsipp. Dette rådet har i lengre tid ligger på rundt 10 % av gytebiomassen. Raudåte har raskere vekst, kortere generasjonstid og høyere dødelighet enn antarktisk krill og burde derfor kunne beskattes hardere. Vi anbefaler likevel ikke å gå ut over et fiske på 10 % av biomassen frem til tilsvarende forvaltningsrettede modeller for raudåte har blitt utviklet og undersøkt. Med et uttak på 10 % av biomassen kommer en da frem til følgende maksimale kvote som kan høstes av raudåte i NØS og Jan Mayen-sonen i Norskehavet (figur 8):

33 millioner tonn våtvekt * 10 % fangst * 50 % arealbegrensing = 1,65 millioner tonn våtvekt raudåte.

I modellsimuleringene som så på effekter av et fiske var det ikke tatt hensyn til fiskerisonene, og uttaket av raudåte var derfor dobbelt så stort og over hele modellområdet. Effektene av fisket på raudåte og predatorbestandene var likevel små eller ubetydelige.



Figur. 8. Modellareal for raudåtemodellen (Hjøllo et al., under utarbeidelse) i blått. Areal av NØS og Jan Mayen-sonen innenfor modellområdet er skravert.

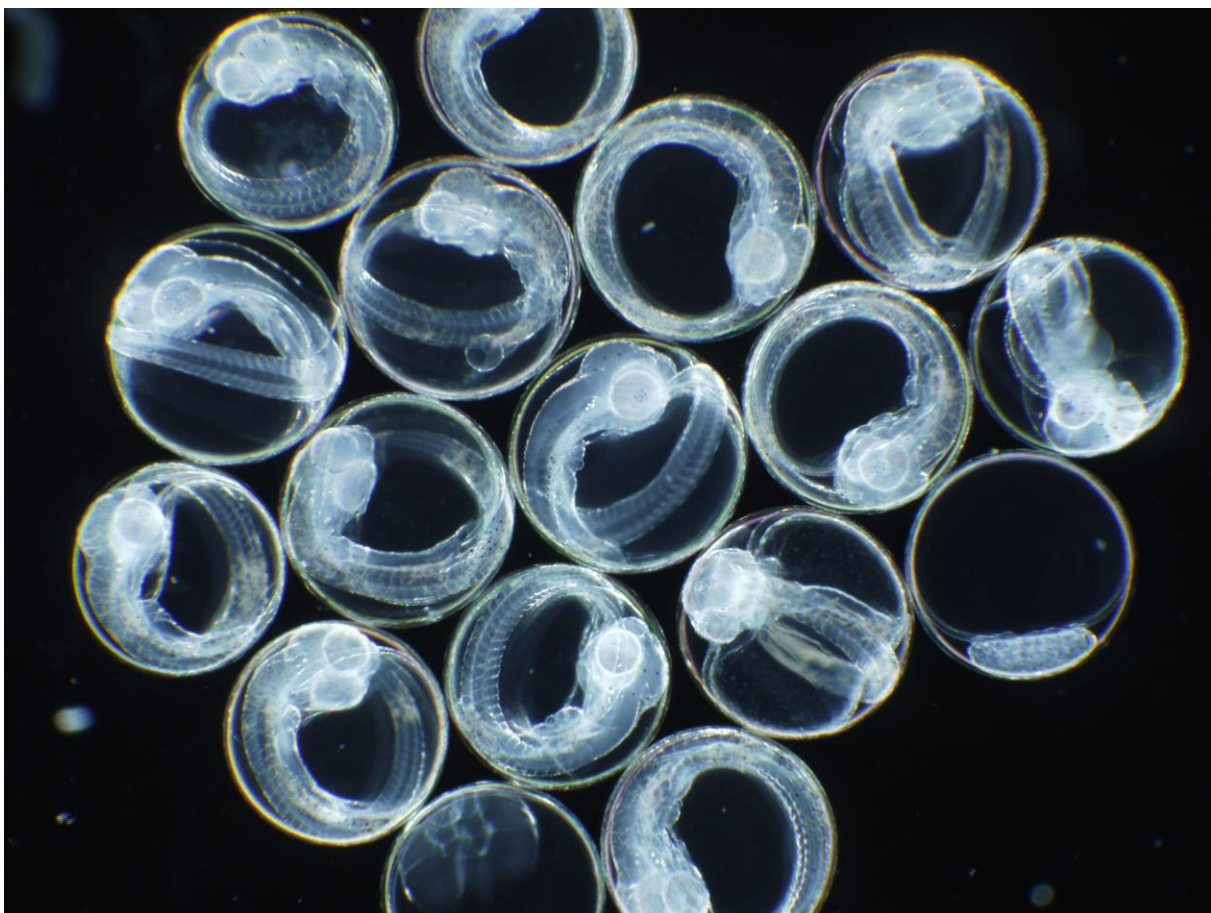
2.5 Sesong- og områdebegrensninger med hensyn til bifangst

Selv om dagens høstingsintensitet av raudåte i denne rapporten er anslått til å være ubetydelig, bør det tas høyde for at høstingen kan øke betydelig i årene som kommer. Da bør man unngå høsting på de sentrale gytefeltene for de viktige kommersielle fiskebestandene. Samtidig må man unngå å høste raudåte nedstrøms gytefeltene langs de viktigste transportårene for larver og pelagisk yngel. I tillegg er det ønskelig å unngå å drive raudåtefangst i dybdelagene med høyeste konsentrasjoner av larver og yngel, det vil si mellom 10 og 30 m dyp.

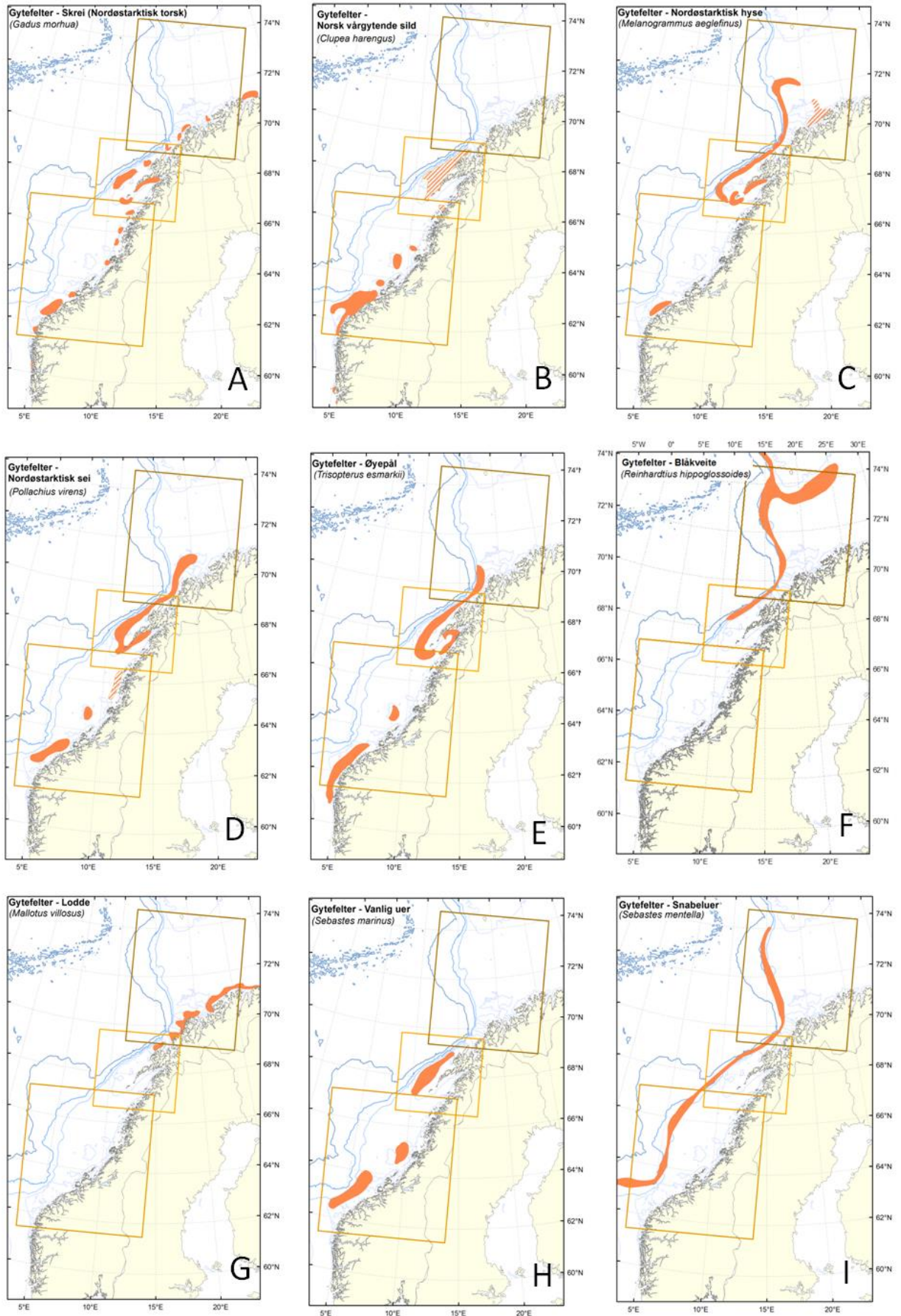
Identifisering av slike områder ble utarbeidet i KILO-prosjektet som vurderte sårbarheten for fiskeressursene fra oljevirksomhet i området mellom Stad og Barentshavet (Sundby et al. 2013). Gytefeltene for nordøstarktisk torsk er vist i figur 9A, for norsk vårgytende sild (figur 9B), nordøstarktisk hyse (figur 9C), nordøstarktisk sei (figur 9D), øyepål (figur 9E), blåkveite (figur 9F), lodde (figur 9G), vanlig uer (figur 9H) og snabeluer (figur 9I).

De viktigste transportårene for larver og pelagisk yngel finnes i figur 10 for nordøstarktisk torsk (figur 10-1), norsk vårgytende sild (figur 10-2), nordøstarktisk hyse (figur 10-3), nordøstarktisk sei (figur 10-4), øyepål (figur 10-5), vanlig uer (figur 10-6) og snabeluer (figur 10-7).

De fleste kommersielle fiskearter som lever i Norskehavet og Barentshavet gyter langs norskekysten (figur 9), primært fra Mørkekysten i sør til Tromsøflaket i nord (ca. 62°N og 70°N). Nord for 70°N er det bare et fåtall av kommersielt viktige arter som gyter, primært lodde, blåkveite og polartorsk. Gyteaktiviteten er hovedsakelig avgrenset til mars og april (Sundby et al. 2013). Bortsett fra sild og lodde som gyter eggene på bunnen og uer som slipper larver direkte i vannmassene, er eggene fra de fleste fiskeartene pelagiske. Det vil si at de har positiv oppdrift i forhold til vannmassene i overflatelagene og finnes i økende konsentrasjon mot overflaten i varierende grad, avhengig av nedblanding fra vindens turbulente virkning på blandingslaget (Sundby et al. 2013). Torskeegg er eksempelvis primært konsentrert i de øvre 20 m under vindhastigheter fra 0–5 m/s, men blandes jevnt ned i vannsøylen til dypere enn 50 m under frisk bris (Sundby 1983). I tillegg er det noen arter som har mesopelagiske egg som fordeler seg på flere hundre meters dyp (kveite, blåkveite og lysprikkfisk).

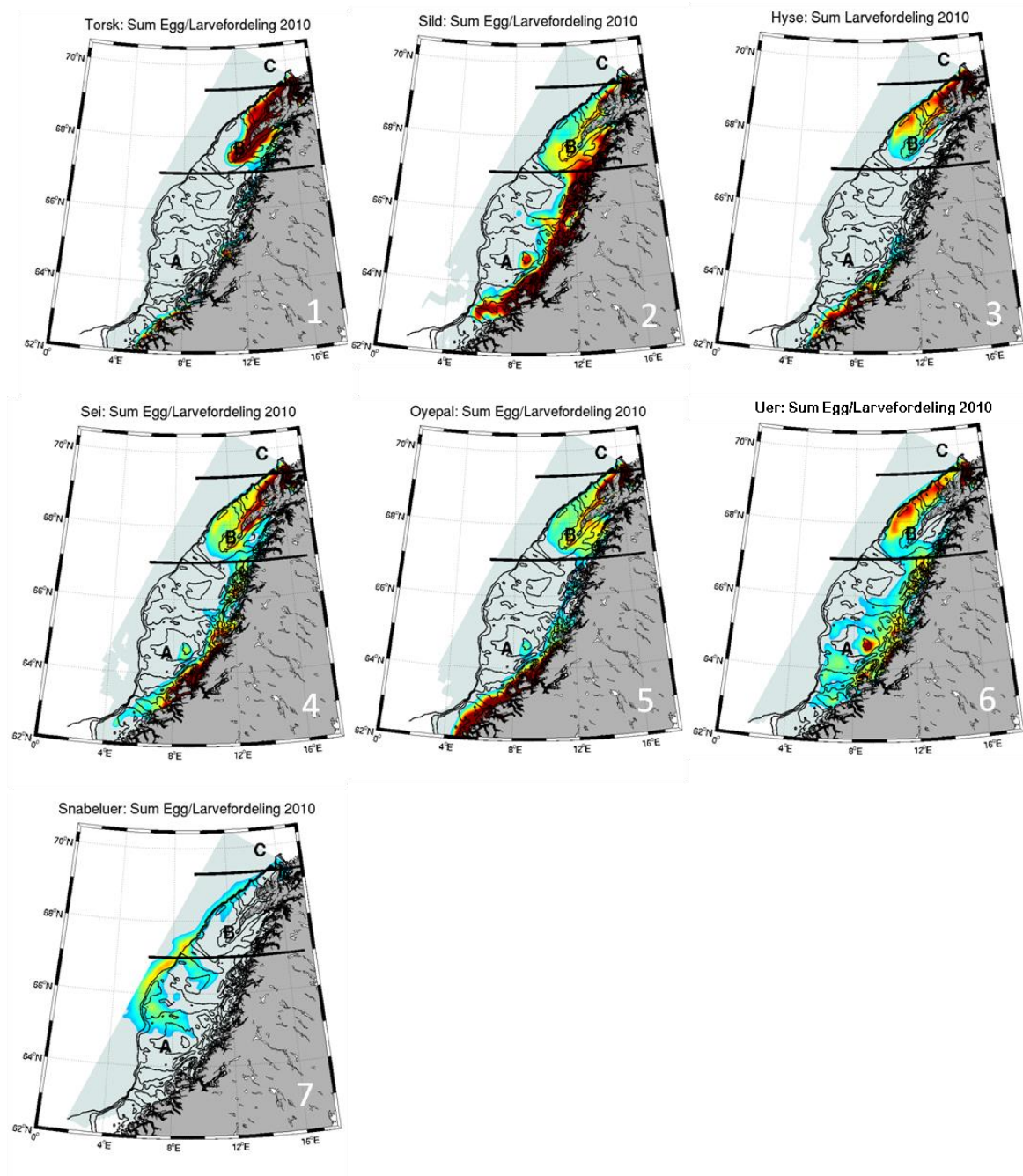


Torskeegg. Foto: Terje van der Meeren, Havforskningsinstituttet.



Figur 9 viser gytefeltene til viktige kommersielle fiskearter som gyter langs Norskekysten. Fra Sundby et al. (2013).

Etter klekking vil larver fra alle fiskeartene befinne seg i øvre vannlag, men til forskjell fra de pelagiske eggene kan konsentrasjonen av yngel avta i de aller øverste meterne. For eksempel har larvene fra torsk en annen vertikalfordeling enn eggene. I store trekk unngår torskelarvene og den pelagiske yngelen sjøens øverste 5 m og finnes i maksimale konsentrasjoner mellom 10 og 30 m dyp (Ellertsen et al. 1984), avhengig av lys, turbulens og mattilbud (Kristiansen et al. 2014). Øvrige observasjoner indikerer at også larver fra andre arter unngår de øverste meterne av blandingslaget.



Figur 10. Konsentrasjonen av larver summert over 180 døgn. Fargeskalaen er relativ og viser økende konsentrasjoner mot mørkerødt. De laveste konsentrasjonene er farget grå. Utstrekningen til modellområdet med de tre delområdene for partikkeltelling er oppgitt som A, B og C. Fra Sundby et al. (2013).

Gyteproduktene driver nordover med kyststrømmen, og egg gytt i sør vil dermed finnes som larver og yngel lenger nord senere i sesongen. Langs Helgelandskysten foregår driften hovedsakelig i et smalt belte på innsiden av de store bankene Sklinnabanken, Haltenbanken og Trænabanken i perioden fra mars til begynnelsen av juni. Fra ytre deler av Vestfjorden tar kyststrømmen de drivende larveressursene ut langs nordsiden av Trænadjupet for deretter å svinge i nordøstlig retning over sokkelområdet fra Lofotens ytterside til Tromsøflaket. Banktopografien har en stor innvirkning på sirkulasjonsmønsteret og fordelingen av det pelagiske avkommet (Sundby 1984). Yngel i størrelse fra 20–50 mm finnes vanligvis i store mengder på Tromsøflaket i juni–juli. Innen august vil hoveddelen av avkommet være drevet inn i Barentshavet. De største konsentrasjonene av larver observeres nær gytefeltene.

Informasjonen om utbredelse av gytefeltene er i KILO-rapporten (Sundby et al. 2013) brukt til å modellere transport og fordeling av egg, larver og pelagisk yngel. I tillegg er informasjon om gyteforløpet og modellert havsirkulasjon og partikkelspredning benyttet. Figur 10 viser de modellerte fordelingene summert over 180 døgn. Modellens delområder er oppgitt som A (Møre–Helgeland), B (Lofoten–Vesterålen) og C (kysten av Troms/Vest-Finnmark).

Avhengig av hvor gytefeltene befinner seg, vil avkommet fra de ulike artene drive gjennom området på ulike steder. Sei og torsk har høyest konsentrasjoner nær land. Hyse og øyepål har høyeste konsentrasjoner midt over sokkelen. Vanlig uer og snabeluer har høyeste konsentrasjon ut mot kontinentalskråningen. Lodde og blåkveite gyter i den nordlige delen av modellområdet. Generelt er det områdene Vesterålsbankene og den nordvestlige delen av Vestfjorden som har de høyeste konsentrasjonene (Sundby et al. 2013). For detaljert beskrivelse av reproduksjon og rekruttering for de viktigste kommersielle fiskeartene som gyter langs norskekysten, se Sundby et al. (2013).

Fiskearter som står på Norsk rødliste (www.artsdatabanken.no) bør gis særlig betydning med hensyn på regulering av et raudåtefiske. Fiskeartene vanlig uer, snabeluer og blålange er oppgitt på Norsk rødliste, der snabeluer er kategorisert som sårbar, og vanlig uer og blålange er kategorisert som sterkt truet. Blålange er ikke oppgitt i figur 9 og 10 da toktvirksomheten og datagrunnlaget for blålange er begrenset. I norske farvann gyter blålange langs Storegga i mai–juni (Havforskningsrapporten 2016).

Generelt for fiskebestandene vil bifangsten av fiskeegg og -larver basert på en økning av kvoten til 10 000 tonn for områder grunnere enn 1000 meter, ha ubetydelig effekt. Dersom kvoten for områder grunnere enn 1000 meter øker utover 10 000 tonn, bør det vurderes reguleringstiltak i områder med høyeste konsentrasjoner av fiskeegg og -larver, samt områder med høye konsentrasjoner av fiskeegg og -larver til sårbare arter.

3 Kunnskapshull

Det er behov for kunnskap om hvordan og i hvor stor grad det er utveksling av raudåte mellom de separate populasjonssentrene i det nordlige Atlanterhavet (Norskehavsgyren og gyren i Labradorhavet/Irmingerhavet), og hvordan en slik utveksling påvirker opprettholdelse av de separate bestandene av raudåte. Tilsvarende er det ønskelig med mer kunnskap om hvordan tilførselen av raudåte fra Norskehavet til de tilstøtende havområdene Nordsjøen og Barentshavet påvirker opprettholdelsen og produksjonen i de lokale bestandene. Det er ikke klart hvor mye av biomassen i Nordsjøen og Barentshavet som skyldes egen lokal produksjon og hvor mye som blir tilført fra produksjonen i Norskehavet (men se Skaret et al. 2014). Det vil dermed si at det trengs mer kunnskap om hvordan eventuelle svingninger i bestanden av raudåte i Norskehavet vil påvirke bestandene i Nordsjøen og Barentshavet.

På den norske sokkelen er unge stadier av raudåte viktige som byttedyr for en rekke fiskearter, bl.a. yngel av NVG-sild og nordøstarktisk torsk. Det er registrert store mengder unge stadiene av raudåte på sokkelen, og de opptrer tidligere der enn ute i Norskehavet (Slagstad og Tande 1996; Melle et al. 2004; Broms og Melle 2009). Det er manglende kunnskap om størrelsen på produksjonen versus tilførselen av raudåte til sokkelen. Det er også usikkert hvor en eventuell tilførsel av raudåta kommer fra. Videre mangler det kunnskap om de høye konsentrasjonene av unge stadier på sokkelen kan skyldes spesielle rekrutteringsmekanismer.

Det er manglende kunnskap om hva som styrer viktige livshistoriehendelser hos raudåta. Det er ikke klart hvilke mekanismer eller faktorer som styrer sesongmigrasjonen, det vil si nedvandringen for å overvintre i dypet og oppvandringen etter overvintring for å gyte. En rekke både indre og ytre faktorer er oppgitt som mulige forklaringsmekanismer (Hirche 1996; Hind et al. 2000; Irigoien 2004; Speirs et al. 2005), men det finnes ingen unison forståelse av mekanismene bak. Om kopepodittstadium V vandrer ned for å overvintre eller utvikler seg til hunner og produserer en ny generasjon, har betydning for størrelsen på den årlige produksjonen. Tidspunktet for oppvandringen vil også ha betydning for produksjonen (Hjøllo et al. 2012). Bedre kunnskap om mekanismene bak raudåtas livshistoriehendelser vil forbedre forståelsen av hvordan klimaendringer kan påvirke raudåteproduksjonen.

Det er manglende kunnskap om hva som styrer raudåtas overvintringsdyp. En rekke mulige forklaringer er gitt (Dale et al. 1999; Visser & Jónasdóttir 1999), men en unison forståelse av påvirkningsfaktorene mangler.

Det er en prekær mangel på gode estimater av raudåteproduksjonen i Norskehavet. Det er viktig at datagrunnlaget slike estimater bygger på er godt nok og at raudåtemodeller som er under utarbeidelse i dag videreutvikles. Gode produksjonsestimater er avgjørende for å kunne beregne påvirkningen av et fiskeri.

Der er manglende informasjon om dietten og konsumet til evertebratene. Dette trengs for å kunne beregne hvor stor del av raudåteproduksjonen som beites av evertebrater, og få bedre kunnskap om energiflyten i Norskehavet og dermed økologiske konsekvenser av et fiskeri.

Det er behov for økt kunnskap om rekrutteringsmekanismene. Dette er spesielt viktig fordi det bl.a. vil gi økt forståelse av om en eventuell nedbeiting av raudåta ett år vil påvirke størrelsen på produksjonen av neste års generasjon, eller om neste års produksjon avhenger av andre faktorer som for eksempel match/mismatch med planteplanktonproduksjonen. Tilsvarende vil det gi økt forståelse av hvor sterkt et fiskeri på raudåta vil påvirke neste års produksjon. Det er også viktig for å få en bedre forståelse av hvordan klimaendringer kan påvirke raudåteproduksjonen. Det haster med å avklare i hvilken grad Norskehavet er styrt fra bunnen og opp eller fra toppen og ned. De viktige prosessene og aktørene i nærings- og energiflyten må kvantifiseres.

I fremtiden vil klimaendringer kunne gi vidtrekkende konsekvenser for plankton i forhold til både utbredelse, artssammensetning og tetthet. Klimaendringene vil kunne føre til langsiktige endringer og påvirke planktonbestander i hele forvaltningsplanområdet. Endrede vindmønstre, høyere sjøtemperatur og mer omrøring vil kunne påvirke tidspunktet for våroppblomstringen, som igjen ville kunne påvirke dyreplanktonproduksjonen. Hvis dette fører til at det er lite dyreplankton tilgjengelig på tidspunktet når fiskelarver og -yngel har størst behov for næring, kan dette få ringvirkninger for hele den marine næringskjeden. Forskere vet foreløpig lite om hvordan økosystemet vil kunne tilpasse seg endret tidspunkt for våroppblomstring. I Nordsjøen har det vært en betydelig nedgang i mengden raudåte de siste tiårene (Planque & Fromentin 1996, Reid et al. 2003, Falkenhaug et al. under utarbeidelse) som delvis er tilegnet reduksjon i innstrømmet vann fra Norskehavet (Heath et al. 1999) og delvis tilegnet klimaendringer. Lite raudåte regnes å være en av hovedårsakene til dårlig fiskerekruttering i Nordsjøen de siste årene (Beaugrand et al. 2003, Payne et al. 2009). Det er viktig å få bedre innsikt i hvordan klimaendringer kan påvirke Norskehavet for å kunne forutse liknende problemstillinger.

Det simulerte raudåtefiskeriet i økosystemmodellen er svært forenklet, og det ble fjernet raudåte jevnt fordelt over hele Norskehavet i tidsrommet 1.juni til 10.juli. For å studere effekter av et mer realistisk fiskeri er Havforskningsinstituttet nå i ferd med å utvikle en ny modul i modellen, der en simulerer individuelle fiskebåter som tråler etter raudåte. Modulen bruker realistiske fiskebåtdata mht drivstofforbruk, frysekapasitet, utstysdata, tetthetskrav for effektivt fiske etc. for å se på effekter av trålfiske på raudåtebestanden. Med denne modulen kan en simulere et realistisk fiske i dagens situasjon, og utvikle scenarioer for en mulig fremtidig utviding av flåte, utstysforbedring, områdebegrenset fiske, optimalisert fiske (hvor raudåtefordeling er kjent før start fiske) etc. En kan også sette opp scenarioer for variable klimatiske forhold og et endret havklima.

4 Referanser

- Bagøien E., Kaartvedt S., Aksnes D.L., and Eiane, K. 2001. Vertical distribution and mortality of overwintering *Calanus*. *Limnology and Oceanography*, 46: 1494-1510.
- Bagøien E., Melle W., Kaartvedt S., 2012. Seasonal development of mixed layer depths, nutrients, chlorophyll and *Calanus finmarchicus* in the Norwegian Sea – A basin scale habitat comparison.
- Beaugrand G., Brander K.M., Lindley J.A., Souissi S., Reid, P.C., 2003. Plankton effect on cod recruitment in the North Sea. *Nature* 426: 661-664.
- Broms C., Melle W., 2007. Seasonal development of *Calanus finmarchicus* in relation to phytoplankton bloom dynamics in the Norwegian Sea. *Deep Sea Res II* 54, 2760-2775.
- Broms C., Melle, W., Kaartvedt S. 2009. Oceanic distribution and life cycle of *Calanus* species in the Norwegian Sea and adjacent waters. *Deep Sea Research*. 56:1910-1921.
- Corkett C.J., McLaren I.A, Sevigny J.M. 1986 The rearing of the marine calanoid copepods *Calanus finmarchicus* (Gunnerus), *C. glacialis* Jaschnov and *C. hyperboreus* Kroyer with comment on the equiproportional rule. *Syllogeus* 58:539-546.
- Dale T., Bagøien E., Melle W., Kaartvedt S. 1999 Can predator avoidance explain varying overwintering depth of *Calanus* in different oceanic water masses? *Mar Ecol Prog Ser* 179:113-121.
- Dommasnes A., Melle W., Dalpadado P., Ellertsen B. 2004. Herring as a major consumer in the Norwegian Sea. *ICES Journal of Marine Science* 61:739-751.
- Dupoint N., Bagøien E., Melle W., (innsendt). Long term trend of *Calanus finmarchicus* in the southeastern Norwegian Sea.
- Ellertsen B., Fossum P., Solemdal P., og S. Sundby. 1987. The effect of biological and physical factors on the survival of Arcto-Norwegian cod and the influence on recruitment variability. In: The effect of oceanographic conditions on distribution and population dynamics of commercial fish stocks in the Barents Sea, H. Loeng (ed.). Proceedings of the third Soviet-Norwegian Symposium, Murmansk 26-28 May 1986. Inst. of Mar. Res., Bergen, Norway, p. 101-126.
- Ellertsen B., Fossum P., Solemdal P., Sundby S. and Tilseth S. 1984. A case study on the distribution of cod larvae and availability of prey organisms in relation to physical processes in Lofoten. In: The propagation of cod. Flødevigen rapportser. 1 1984 ISSN 0333-2594:453-478.
- Falkenhaus T., Bagøien E., Broms C., Albrechtsen J., (under utarbeidelse). Dynamics of co-occurring *Calanus finmarchicus* and *C. helgolandicus* in Skagerrak.
- Giske J., Aksnes D.L., Baliño B., Kaartvedt S., Lie U., Nordeide J.T., Salvanes A.G.V., Wakili S.M., Aadnesen A. 1990. Vertical distribution and trophic interactions of zooplankton and fish in Masfjorden, Norway. *Sarsia*, 75:65-81.
- Halvorsen E., Tande K.S., Edvardsen A., Slagstad D., Pedersen O.P. 2003. Habitat selection of overwintering *Calanus finmarchicus* in the NE Norwegian Sea and shelf waters off Northern Norway in 2000–02. *Fisheries Oceanography* 12(4-5), 339-351.
- Hassel A., Endresen B., Martinussen M.B., Knutsen T., Johannessen M.E., 2013. Håndbok for prøvetaking og pre-analyse av plankton. Havforskningsinstituttet.

- Havforskningsrapporten 2016. Fisken og havet, særnummer1-2016. Havforskningsinstituttet.
- Heath M.R., Backhaus J.O., Richardsson K., McKenzie E., Slagstad D., et al. 1999. Climate fluctuations and the spring invasion of the North Sea by *Calanus finmarchicus*. *Fisheries Oceanography* 8 (Suppl. 1): 163-176.
- Heath M.R., Fraser J.G., Gislason A., Hay S.J., Jonasdottir S.H., Richardson K. 2000. Winter distribution of *Calanus finmarchicus* in the Northeast Atlantic, *ICES Journal of Marine Science* 57, 1628-1635.
- Heath M.R., Boyle P.R., Gislason A., Gurney W.S.C., Hay S.J., Head E.J.H., Holmes S., Ingvarsdottir A., Jonasdottir S.H., Lindeque P. 2004. Comparative ecology of over-wintering *Calanus finmarchicus* in the northern North Atlantic, and implications for life-cycle patterns. *ICES Journal of Marine Science* 61, 698–708.
- Helland-Hansen, B. and F. Nansen (1909). The Norwegian Sea. Report on Norwegian Fishery and Marine Investigations. Vol. II, No. 2.
- Hind A., Gurney W.S., Heath M., Bryant H. 2000. Overwintering strategies in *Calanus finmarchicus*. *Marine Ecology Progress Series* 193, 95-107.
- Hirche H-J., Brey T., Niehoff B. 2001. A high-frequency time series at Ocean Weather Ship Station M (Norwegian Sea): population dynamics of *Calanus finmarchicus*. *Marine Ecology Progress Series*, 219:205-219.
- Hirche, H-J. 1996. Diapause in the marine copepod, *Calanus finmarchicus* - a review. *Ophelia* 44, 129-143.
- Hjøllo S.S., Huse G., Skogen M.D., Melle W. 2012. Modeling secondary production in the Norwegian Sea with a fully coupled physical/primary production/individual-based *Calanus finmarchicus* model system. *Marine Biology Research* 8:508_26.
- Hjøllo S.S., Skogen M.D., Hansen C., Bagøien E., and Vølstad, J.H. (under utarbeidelse). A direct estimate of *Calanus finmarchicus* biomass in the Norwegian Sea.
- Hygum B. H., Rey C., Hansen B. W., and Carlotti, F. 2000. Rearing cohorts of *Calanus finmarchicus* (Gunnerus) in mesocosms. *ICES Journal of Marine Science*, 57: 1740-1751.
- ICES. 2014a. Report of the Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWIDE). 971 pp.
- ICES. 2014b. Report of the Benchmark Workshop on Pelagic Stocks (WKPELA), 17–21 February 2014, Copenhagen, Denmark. ICES CM 2014/ACOM: 43. 341 pp.
- ICES WGINOR rapport 2014. 2nd Interim Report of the Working group on Integrated Assessments of the Norwegian Sea (WGINOR), 18-22 August 2014, Torshavn, Faroe Island, ICES CM 2014/SSGRSP:07.
- Irigoien X. 2004. Some ideas about the role of lipids in the life cycle of *Calanus finmarchicus*. *Journal of Plankton Research*, 26: 259-263.
- Irigoien X., Head R., Klenke U., Meyer-Harms B., Harbour D., Niehoff B., Hirche H-J., Harris R. 1998 A high frequency time series at weathership M, Norwegian Sea, during the 1997 spring bloom: feeding of adult female *Calanus finmarchicus*. *Mar Ecol Prog Ser* 172:127-137.
- Kristiansen T., Vollset K.W., Sundby S. and Vikebø F. 2014. Turbulence enhances feeding of larval cod at low prey densities. *ICES Journal of Marine Science*, 15 p. 16 April 2014. doi:10.1093/icesjms/fsu051.

- Langangen Ø., Stige L.C., Yaragina N.A., Vikebø F.B., Bogstad B., and Gusdal, Y. 2013 Egg mortality of northeast Arctic cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). ICES Journal of Marine Science, doi:10.1093/icesjms/fst007.
- Melle W, Runge J, Head E, Plourde S, Castellani C, et al., 2014. The North Atlantic Ocean as habitat for *Calanus finmarchicus*: Environmental factors and life history traits. Progress in Oceanography 129, 224-284.
- Melle W., Ellertsen B., Skjoldal H.R., 2004. Zooplankton: The link to higher trophic levels. In: Skjoldal, H.R. (ed) The Norwegian Sea ecosystem. Tapir Academic Press, Trondheim, pp. 137-202.
- Miller C.B., Cowles T.J., Wiebe P.H., Copley N.J., Grigg H., 1991. Phenology in *Calanus finmarchicus*; hypotheses about control mechanisms. Marine Ecology Progress Series 72, 79-91.
- Mueter, F. J., Broms, C., Drinkwater, K. F., Friedland, K. D., Hare, J. A., Hunt Jr., G. L., Melle, W., and Taylor, M. (2009). Ecosystem responses to recent oceanographic variability in high-latitude Northern Hemisphere ecosystems. *Progress in Oceanography* 51, 93–110.
- Nicol S., Foster J., and Kawaguchi, S. 2012. The fishery for Antarctic krill - recent developments. Fish and Fisheries, 13: 30-40.
- Niehoff B., Klenke U., Hirche H.J., Irigoien X., Head R., Harris R., 1999. A high frequency time series at Weathership M, Norwegian Sea, during the 1997 spring bloom: the reproductive biology of *Calanus finmarchicus*. Mar Ecol Prog Ser 176, 81-92.
- Olsen E.M., Melle W., Kaartvedt S., Holst J.C., Mork K.A. 2007. Spatially structured interactions between a migratory pelagic predator, the Norwegian spring-spawning herring *Clupea harengus* L., and its zooplankton prey. J Fish Biol 70:799-815.
- Paasche E. 1960. Phytoplankton distribution in the Norwegian Sea in June, 1954, related to hydrography and compared with primary production data. Fiskeridirektoratets Skrifter Serie Havundersøkelser 12 (11), 77 pp.
- Payne M.R., Hatfield E.M.C., Dickey-Collas M., Falkenhaus T., Gallego A. 2009. Recruitment in a changing environment: the 2000s North Sea herring recruitment failure. ICES Journal of Marine Science 66: 272-277.
- Planque B. and Fromentin J.M. 1996. Calanus and environment in the eastern North Atlantic. I. Spatial and temporal patterns of *C. finmarchicus* and *C. helgolandicus*. Marine Ecology Progress Series 134: 101-109.
- Reid P.C., Edwards M., Beaugrand G., Skogen M.D., Stevens D. 2003. Periodic changes in the zooplankton of the North Sea during the twentieth century linked to oceanic inflow. Fisheries Oceanography 12: 260-269.
- Rey, F. 2004. Phytoplankton: the grass of the sea. In: Skjoldal, H.R. (Ed.), The Norwegian Sea Ecosystem, Tapir Academic Press, Trondheim, pp. 97-136.
- Samuelsen A., Huse G., Hansen C., 2009. Shelf recruitment of *Calanus finmarchicus* off the west coast of Norway: role of the physical processes and timing of diapause termination. Marine Ecology Progress Series 386: 163-180.
- Skaret G., Dalpadado P., Hjøllø S.S., Skogen M.D., Strand E. 2014. *Calanus finmarchicus* abundance, production and population dynamics in the Barents Sea in a future climate. Progress in Oceanography 125, 26-39.

- Skjoldal H.R., Dalpadado P., Dommasnes A. 2004 Food webs and trophic interactions. In: Skjoldal HR (ed) The Norwegian Sea ecosystem. Tapir Academic Press, Trondheim, pp 447-506.
- Slagstad D., Tande K. 1996. The importance of seasonal vertical migration in across shelf transport of *Calanus finmarchicus*. *Ophelia* 44: 189-205.
- Speirs D.C., Gurney W.S.C., Heath M.R., Wood S.N. 2005. Modelling the basin-scale demography of *Calanus finmarchicus* in the north-east Atlantic. *Fisheries Oceanography* 14: 333-358.
- Speirs D.C., Gurney W.S.C., Heath M.R., Horbet, W., Wood S.N., de Cuevas B.A., 2006. Ocean-scale modelling of the distribution, abundance, and seasonal dynamics of the copepod *Calanus finmarchicus*. *Marine Ecology Progress Series* 313, 173–192.
- Stenevik E.K., Nash R.D.M., 2008. Distribution and abundance of Norwegian spring spawning herring larvae on the Norwegian shelf in April 2008. Toktrappport/Havforskningsinstituttet/ISSN 1503-6294/Nr. 5–2008.
- Stenevik E.K., Melle W., Gaard E., Gislason, A., Broms C.T.Å., Prokopchuk I., Ellertsen B., 2007. Egg production of *Calanus finmarchicus* – A basin-scale study. *Deep Sea Res II* 54, 2672-2685.
- Sundby S. 1983. A one-dimensional model for the vertical distribution of pelagic fish eggs in the mixed layer. *Deep-Sea Research*, 30 (6A): 645-661.
- Sundby S. 1984. Influence of bottom topography on the circulation at the continental shelf of northern Norway. *Fiskeridirektoratets Skrifter serie Havundersøkelser*, 17: 501-519. ISSN 0015-3117.
- Sundby, S. 2000. Recruitment of Atlantic cod stocks in relation to temperature and advection of copepod populations. *SARSIA*, 85, 277-298.
- Sundby S., Bjørke H., Soldal A.V. and Olsen S. 1989. Mortality rates during the early life stages and year class strength of the North-East Arctic cod (*Gadus morhua* L.). *Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer*, 191:351-358.
- Sundby S., Fossum P., Sandvik A., Vikebø F.B., Aglen A., Buhl-Mortensen L., Folkvord A., Bakkeplass K., Buhl-Mortensen P., Johannessen M., Jørgensen M.S., Kristiansen T., Landa C.S., Myksvoll M.S. og Nash R. 2013. Kunnskapsinnhenting Barentshavet-Lofoten-Vesterålen KILO. Status og videreutvikling av kunnskapsgrunnet for mengde, fordeling og transport av kommersielle fiskearter fra gyttende fisk til egg, larver, yngel og ungfisk i nordnorske sokkelområder med vekt på Lofoten og Vesterålen. *Fisken og Havet*, Nr. 3-2013. 186 s.
- Unal E., Bucklin A., 2010. Basin-scale population genetic structure of the planktonic copepod *Calanus finmarchicus* in the North Atlantic Ocean. *Progress in Oceanography* 87, 175–185.
- Utne K.R., Hjøllø S.S, Huse G. and Skogen M.D. 2012. Estimating the consumption of *Calanus finmarchicus* by planktivorous fish in the Norwegian Sea using a fully coupled 3D model system, *Marine Biology Research*, 8:5-6, 527-547.
- Visser A., Jónasdóttir S.H., 1999. Lipids, buoyancy and the seasonal vertical migration of *Calanus finmarchicus*. *Fisheries Oceanography*, 8 (Suppl. 1), 107-125.

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

