

Sognefjorden – en oppsummering av litteratur og kunnskapsstatus om fjord-økologi og vannkraftutbygging

Kunnskapsinnhenting

Anders F. Opdal¹, Dag L. Aksnes², Rune Rosland², Øyvind Fiksen^{1,2}

¹Uni Computing, Uni Research, Postboks 7810, 5020 Bergen

²Institutt for biologi, Universitetet i Bergen, Postboks 7803, 5020 Bergen

Oppdragsgivere:

Sogn og Fjordane fylkeskommune og Norges vassdrags- og energidirektorat.



Uni Computing Technical Report nr. 32
10. desember 2013

Tilgjengelig på <http://computing.uni.no/publications>

Viktige intervjuobjekter har vært: Otte Bjelland (Havforskningsinstituttet, Bergen), Torbjørn Dale (Høgskulen i Sogn og Fjordane), Stein Kaartvedt (King Abdulla University of Science and Technology, Saudi Arabia og Universitetet i Oslo) og Kjersti Sjøtun (Universitetet i Bergen). En stor takk til kollegaer som har vært med på diskusjoner om fjordmiljø, spesielt Christian Jørgensen, Jarl Giske og Stein Kaartvedt.

Sammendrag

Få referansepunkter. Det finnes få inngående vitenskapelige studier av Sognefjorden som økosystem og heller ikke mange tidsserier eller overvåkningsprogram. Det har naturligvis sammenheng med at innsamling og overvåkning av tilstandsvariabler i et så stort og variabelt økosystem er kostbart, arbeidskrevende og utfordrende. I tillegg er de fleste studier fra 1980 eller senere, slik at det er en utpreget mangel av eldre studier en kan sammenligne med. Det gjør det vanskelig å dokumentere om en endring har funnet sted, om hvis så, om forskjellen skyldes naturlige fluktuasjoner, en langvarig trend, eller et skifte mellom mer eller mindre stabile tilstander (et regimeskifte). Det kan dessuten være vanskelig å relatere eventuelle endringer i tilstandsvariabler (fisk, plankton, bunndyr) til konkrete årsakssammenhenger selv om man hadde hatt gode tidsserier og referansestudier. Havforskningsinstituttet har hatt relativt liten innsats i Sognefjorden, men siden 1994 har de hatt et årlig fjordtokt langs Norskekysten som har hatt stasjoner og akustisk mengdemåling av pelagisk fisk også i Sognefjorden. Et viktig unntak i dette bildet er den faste målestasjonen Havforskningsinstituttet har gående i Sognesjøen, der oseanografiske data har blitt samlet inn siden 1935. Dette er svært verdifulle data for å følge med på miljøtilstanden i kystvannet og Sognefjorden. I boken til Murray og Hjort (1912) finnes det også noen måledata fra Sognesjøen så tidlig som 1901.

Under krigen ble Marinbiologisk Stasjon på Herdla flytta til Hermansverk. Dessverre gikk alt innsamla materiale tapt under transport tilbake etter krigen (ref: Tore Høisæter), ellers ville dette vært et godt referansemateriale for studier av fjordmiljøet i dag. Gitt denne mangelen på referansestudier har vi derfor valgt å trekke inn fjorder som er langt bedre studert, der spesielt Hardangerfjorden er et system med et godt referansepunkt tilbake i tid. Ganske nylig har det blitt publisert flere arbeid som har sammenlignet tilstanden i Hardangerfjorden med 1950- og -60-tallet – et informativt og vitenskapelig materiale med tanke på å sammenligne tilstanden før og etter en periode med omfattende utbygging av vannkraft og akvakulturvirkosomhet. Hardangerfjorden og Sognefjorden har mange likheter og de funn som er gjort i Hardangerfjorden har overføringsverdi til Sognefjorden.

Sognefjorden er et åpent økosystem. Det blir ofte tatt for gitt at miljøet i fjorden hovedsakelig er en funksjon av lokale prosesser som vannkraftregulering, fiske og ulike utslipp. Det er nok gjerne tilfellet for enkelte fjordarmer med grunn terskel og liten vannutskiftning, som i Sogndalsfjorden (Hovgaard og Dale 2007). Men selv om Sognefjorden kan framstå som en innelukka fjord, så foregår det en stor inn- og utstrømming av vannmasser mellom fjorden og havet og kystvannet utenfor. Det aller meste av denne utvekslingen er drevet av prosesser som har lite med ferskvannstilførsel å gjøre. Disse strømmingene drar med seg oppløste organiske stoffer, næringssalter og mikroorganismer fra kystvannet og Atlanterhavet, og dette er svært viktig for økosystemet i Sognefjorden og andre fjorder på Vestlandet. Noe av ferskvannsdelen av kystvannet kommer fra Østersjøen og passerer langs Norskekysten hvor det strømmer inn og ut av fjorden på sin ferd oppover langs kysten. Det dypeste vannet i Sognefjorden, Atlanterhavsvannet, kommer inn fra Norskehavet, og utgjør habitatet for et pelagisk økosystem i Sognefjorden med lysprikkfisk, krill og andre arter som minner mye om det økosystemet man finner i åpent hav.

Fiskebestandene vandrer mellom hav og fjord. På samme måte er det med mange fiskeslag – brisling, makrell, sei, torsk og sild – for å nevne noen, er i varierende grad bestander som vandrer over store områder. Endringer i mengden fisk i fjorden vil derfor ofte være mer avhengig av hvordan det går med bestanden som helhet enn av hva som skjer lokalt i fjorden. De siste årene har det generelt sett blitt mindre av enkelte fiskeslag i norske farvann (for eksempel brosme, torsk og brisling) men samtidig mer av andre som sild og makrell. Det er som oftest usikkert hvor stor andel av en fiskepopulasjon som vandrer ut og kommer tilbake til samme sted for å gyte, beite eller overvintre. Moderne genetiske metoder begynner å bli gode nok til å kunne si noe om dette, og et par nyere arbeid sier noe om utveksling og vandring for brisling, torsk, sei og lyr. Disse tyder på at for eksempel brisling i norske fjorder blander seg mer med hverandre enn med bestander i Nordsjøen. Dersom dette er tilfelle betyr det at brisling i norske fjorder vil variere i mengde som én bestand, og at endringer i bestandsmengde må sees i sammenheng på tvers av fjorder, men ikke nødvendigvis i takt med svingninger i bestanden av havbrisling.

Mørkere kystvann gir mindre fisk og mer maneter. En viktig del av fiskebestandene i vestnorske fjorder er mesopelagisk fisk – altså laksesild og lysprikkfisk. Dette er små planktonspisende fisker som er svært utbredt og trives godt i dype fjorder, og i alle verdenshav. De er et viktig ledd i næringskjeden for større fisker, men antas å kunne bli utkonkurrert av dyphavsmaneter dersom vannet blir for mørkt (Aksnes 2007). Det er derfor grunn til uro over at kystvannet ser ut til å ha blitt gradvis mørkere de siste 80 årene (Aksnes et al. 2009). Det er ikke klart hva virkningen av dette blir, men det er sannsynlig at det fører til en reduksjon i fiskeproduksjonen totalt sett (Haraldsen et al. 2012), og en slik effekt kan være lokal.

Har vannkraftutbygging noe å si for produktivitet, fiskeri og biodiversitet i fjordene? Dette var et hett tema på 1970-tallet, med sterke meninger og klare fronter. Spørsmålet var ganske politisert, og det kom aldri et klart svar. Vi oppsummerer sentrale deler av denne litteraturen (Skreslet et al. 1976; Kaartvedt 1984). På 1990-tallet ble det gjort en del direkte studier på transport av alger og dyreplankton som følge av variasjon i utslipp fra kraftstasjoner (Kaartvedt og Aksnes 1992) og dette viste klart at regulering i gitte situasjoner kan forsterke og spre effekten av giftige alger og føre til at marint dyreplankton blir for raskt blandet inn i brakkvann og dør. Nye simuleringsstudier illustrerer også at regulering kan spille en rolle for transporten av fiskelarver som er gytt i fjordene (Myksvoll et al. 2013). Vi vil likevel ikke si at disse eksemplene gir grunnlag for å si at regulering generelt er negativt for fisk eller andre organismer i en fjord. Erfaringen fra Hardangerfjorden viser for eksempel at biodiversiteten i fjæresonen ser ut til å øke som følge av regulering, kanskje fordi de mest ekstreme ferskvannsnivåene blir mindre i regulerte system eller fordi det har blitt varmere (Husa et al. 2014).

Store mengder data om endringene i ferskvannstilførsel før og etter regulering. Det er mange lokale forskjeller som spiller inn, og første trinn for å forstå mer av virkningene av regulering er å kartlegge lokale endringer i utslipp av ferskvann over sesongen. Som rapporten illustrerer med utgangspunkt i NVE sine data er det store lokale forskjeller i hvordan utslippsmønsteret har endra seg. Når man kjenner endringene i vannføringsmønsteret og lokal topografi vil det i dag være mulig å beregne eller simulere hvordan primærproduksjonen har blitt påvirket, og det vil et gi grunnlag for å beregne hvordan produktiviteten i fjordsystemet har blitt lokalt påvirket av regulering. Dataene som NVE sitter på om ferskvannsutslipp til fjordene og fjordarmene i lang tid før og etter regulering er unik kilde og ressurs for slik modellutvikling.

Dykking av ferskvann for å redusere brakkvannslaget og øke produksjonen. Brakkvannslaget som dannes av utslipp fra kraftverk kan reduseres ved å dykke utslippet. I fjorder og fjordarmer med økte ferskvannsutslipp kan dette ansees som tiltak for å redusere effekten av et økt brakkvannslag. Dette har også blitt utprøvd som metode for å øke produksjonen av planktoniske alger og organismer som ernærer seg av disse, for eksempel blåskjell. Ved å dykke vannet fra kraftstasjoner ned under sprangsjiktet dras næringsalter med fra dypere vann opp i lyssonen nær overflaten. Forsøk i Lysefjorden har gitt produksjonsøkning som synes gunstig for blant annet blåskjell produksjon.

Innhold

1	Introduksjon	6
2	Fjordens hydrodynamikk	6
2.1	Vannmassene	6
2.2	Vannutveksling	7
3	Tidligere kunnskapsinnhenting	8
3.1	Freshwater on the Sea (Skreslet et al. 1976)	9
3.2	Vassdragsregulering og virkning på fjorder (Kaartvedt 1984)	10
3.3	Ryfylkestudiene og vannkraftutbyggingen Ulla-Førre	12
3.4	Innsamling og sammenstilling av relevant kunnskap om Sognefjorden (Solbakken et al. 2012)	14
3.5	Erfaringer fra Hardangerfjorden (<i>Marine Biology Research</i> 2014)	15
4	Oversikt over innsamlete data fra Sognefjorden	16
4.1	Kvantitativ oversikt over data i litteraturen	16
4.2	Omtale og beskrivelse av utvalgte rapportserier, dataserier og målestasjoner	18
4.2.1	Sognesjøen målestasjon – langtidsendringer i hydrografi	18
4.2.2	Vannføringsdata fra NVE: før og etter kraftutbygging	19
5	Tilstandsvariabler	22
5.1	Marine fisk	22
5.1.1	Hvordan kan fisk i Sognefjorden bli påvirket av vassdragsregulering?	22
5.1.2	Har det blitt mindre fisk i Sognefjorden?	24
5.1.3	Ferskvann, vassdragsregulering og fisk i fjorder	27
5.2	Kronemaneten <i>Periphylla periphylla</i>	28
5.2.1	Masseforekomster, naturlig eller menneskeskapt?	28
5.2.2	Forskjell mellom fjorder	28
5.2.3	Mørkere kystvann	28
5.3	Fjæresonen	28
5.4	Dyreplankton	29
5.4.1	Effekter av regulering	29
5.4.2	Eksperimentelle undersøkelser	30
5.5	Hydrografi og biologi knyttet til kunstig oppvelling	31
5.5.1	Næringsfattig overflatelag	31
5.5.2	Dykket utslipp fra Lysebotn kraftstasjon	31
5.5.3	Kunstig oppvelling gir økt primærproduksjon	32
5.5.4	Effekter på sekundærproduksjon	34
5.5.5	Konklusjon	34
6	Forslag til fremtidige undersøkelser	34
7	Referanseliste	36

1 Introduksjon

Mange som bor rundt Sognefjorden virker å være urolige for miljøtilstanden i fjorden. I *Sogn Avis* har mange innlegg påpekt at det er en nedgang i mange fiskebestander i fjorden, og det har blitt foreslått ulike forklaringer på hva som er årsaken. Manzetti og Stenersen (2010) oppsummerte mye av denne bekymringen i en review-artikkel, og de ba om en sterkere overvåkning av fjorden. Faktorer som ofte blir trukket fram for å forklare nedgangen i fiskebestander eller forverring av miljøtilstander er blant annet vannkraftutbygging, kloakkutslipp, fiske og oppdrettsaktivitet.

Formålet med denne rapporten er å gi en oversikt av litteratur som har relevans for å forstå virkningen av vassdragsregulering på Sognefjorden og livet der. På bakgrunn av denne litteraturen, har vi også forsøkt å gjøre noen fortolkninger og å oppsummere av kunnskapsstatus. I tillegg har vi presentert utvalgte data fra databaser som NVE har samla inn gjennom lang tid for vannføringsmønsteret fra ulike vassdrag til fjorder før og etter regulering.

2 Fjordens hydrodynamikk

Sentrale kilder:

Sætre, R. (2007) *The Norwegian Coastal Current - Oceanography and Climate*. Tapir Academic Press, Trondheim.

Aksnes, D. L., J. Aure, S. Kaartvedt, T. Magnesen, og J. Richard. (1989). Significance of advection for the carrying capacities of fjord populations. *Marine Ecology-Progress Series* **50**:263-274.

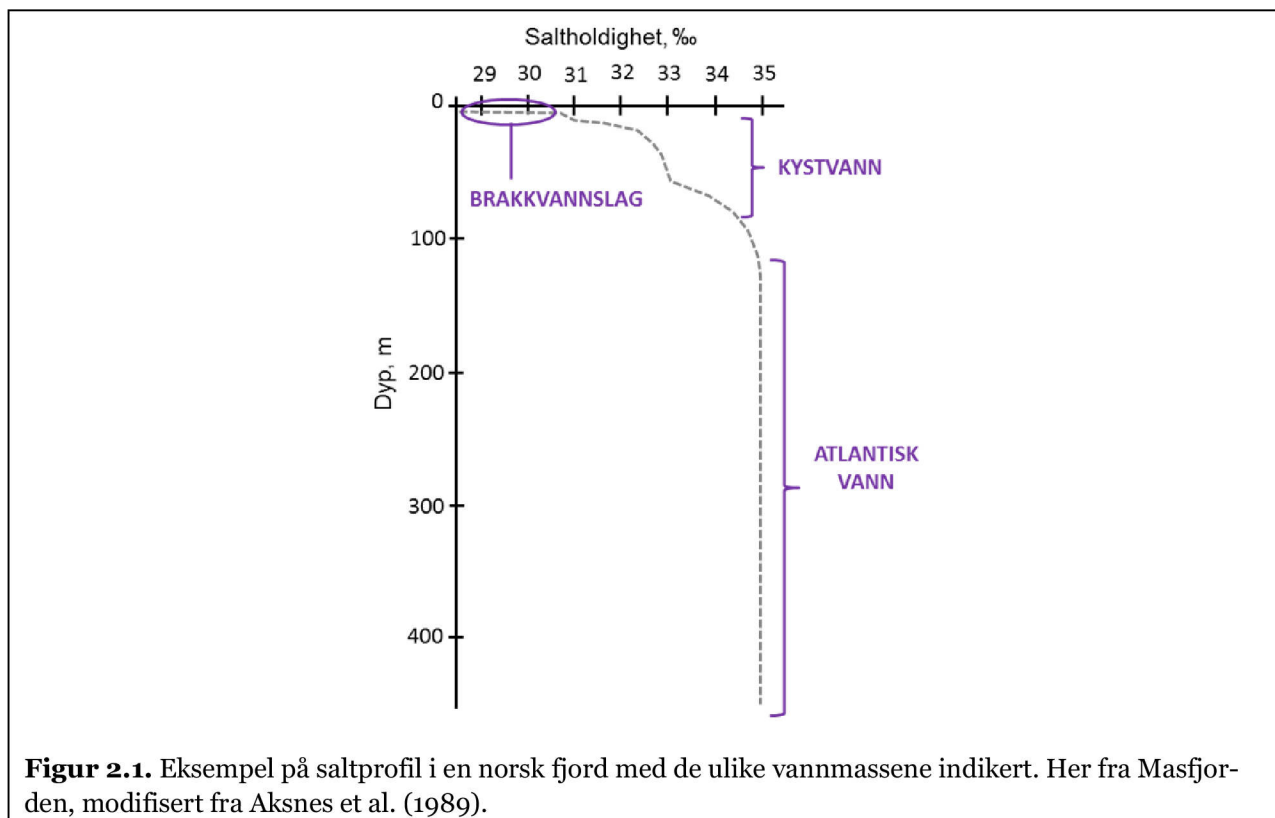
Langs den norske vestkysten finnes et stort spekter av fjordtyper, både med tanke på bunnforhold, lengde, bredde, antall sidefjorder, hydrografi og økologi. Likevel har de fleste fjordene visse fellestrekk. Norske fjorder generelt har alle felles opprinnelse fra store breforflytninger hvor is og stein har gravd ut U-formede dalfører. Stein og grus som skyves foran breen blir liggende igjen når breen trekker seg tilbake og danner en terskel ytterst i fjorden. Bunn-dypet innenfor terskelen er ofte dypere enn havbunnen på utsiden. Terskelen spiller en avgjørende rolle for hvordan de hydrografiske forholdene skiller seg fra fjorden og de utenforliggende havområdene, og ikke minst hvordan utvekslingen mellom dem foregår.

2.1 Vannmassene

For å beskrive fjordens hydrodynamikk kan det være nyttig å dele opp de ulike vannmassene etter opprinnelse og karakteristik (Figur 2.1). I forenklet form kan vi si at fjorden består av tre distinkte vannmasser med ulik opprinnelse.

Øverst i overflaten, ofte ned til 2-3 meters dyp, finner vi brakkvannslaget, også kalt **overflatelaget**. Dette genereres fra ferskvannstilførselen fra land, elver og utslipp fra kraftverk. Utover i fjorden er det en gradvis større innblanding fra innstrømmende saltere vann som ligger under brakkvannslaget (såkalt estuarin sirkulasjon). Brakkvannslaget kan sies å være av lokal opprinnelse. Tykkelsen på dette laget varierer gjennom året med vannføringsmønsteret i elvene og kraftverkene, og er normalt størst seint på våren (snøsmelting) og på høsten (regn). Brakkvannslaget har lav saltholdighet (<30 ‰) og er dermed betydelig lettere enn de øvrige vannmassene i fjorden. Brakkvannslaget utgjør en svært liten del av det totale fjordvolumet, men innerst i fjordene og i fjæresonen kan dette laget være av stor betydning. Utover fjorden blandes brakkvannslaget gradvis ut, og forsvinner etter hvert som man passerer terskelen.

Under brakkvannslaget i Sognefjorden finner vi kystvannet. Ferskvannsdelen i denne vannmassen kommer i hovedsak fra Østersjøen, elvetilførsler i sørlige del av Nordsjøen samt samlede elveutslipp langs Norskekysten fra Skagerrak til Hordaland. Kystvannet defineres ved saltholdigheter under 34.5 ‰, og utgjør en vesentlig andel av fjordens volum over terskeldypet. Sammen med Atlantisk vann (saltholdighet over 35 ‰) over terskeldypet utgjør disse vannmassene **mellomlaget** (vannlaget mellom brakkvannslaget og terskeldypet). Det er i dette laget de store vannutvekslingene i fjorden foregår. Sognefjorden har en dyp terskel (ca. 200 m) og vannmassene under terskeldypet (**bassengvannet**) består av Atlantisk vann. Her er det relativt lav utskifting i forhold til i mellomlaget.



Figur 2.1. Eksempel på saltprofil i en norsk fjord med de ulike vannmassene indikert. Her fra Masfjorden, modifisert fra Aksnes et al. (1989).

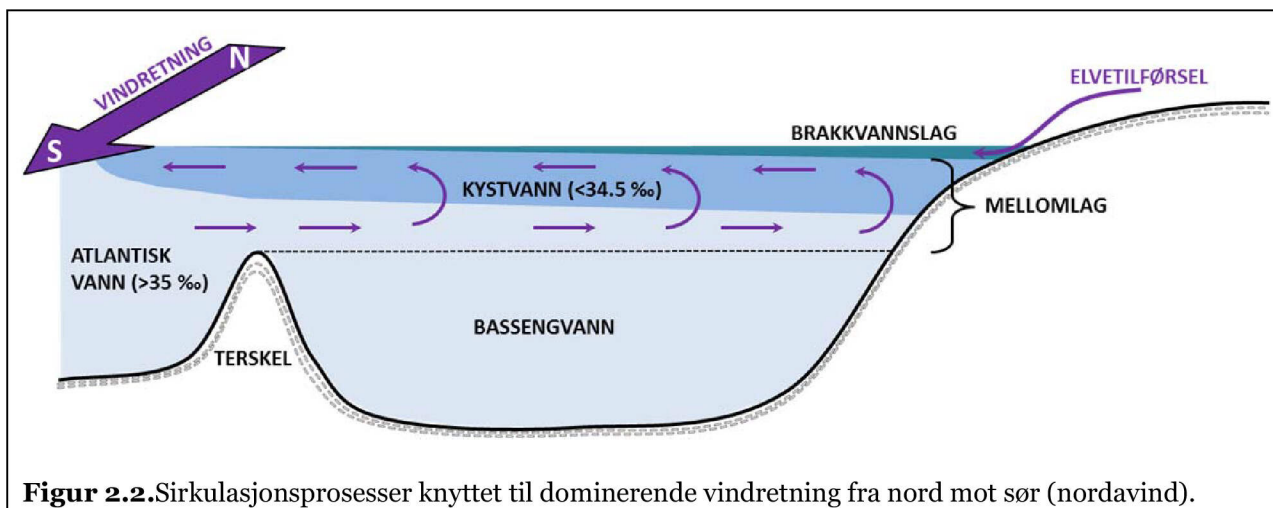
2.2 Vannutveksling

Den estuarine sirkulasjon. Et estuarie er definert som et kystområde hvor ferskvann fra elver møter sjøvann fra havet. Det ferske vannet blir liggende på toppen og danner et brakkvannslag som renner utover mot havet. Dette vannet blandes med sjøvann som transporteres innover i estuariet i en kompensasjonsstrøm under brakkvannslaget. Brakkvannslaget blir dermed gradvis saltet utover i estuariet. En slik estuarin sirkulasjon finner vi også i fjordene våre, men fjordene avviker fra de typiske elveestuariene ved at de er langt dypere. I motsetning til de typisk grunne estuariene, domineres vannutskiftninger i norske fjorder mer av andre prosesser, som mellomlagsstrømninger, enn den estuarine sirkulasjonen. Vannutvekslingen som er drevet av estuarin sirkulasjon er totalt for alle norske fjorder mindre enn 100.000 m³/s, hvilket er beskjedent i forhold til andre sirkulasjonsprosesser som vi finner i norske fjorder (Sætre 2007).

Utveksling drevet av lokale vinder. Forflytning av luft i grenseflaten mellom luft og vann vil som følge av friksjon generere et mekanisk drag på overflatelaget i samme retning som luften (vinden). Dette draget vil avta raskt i dypet, og vil sjelden påvirke vannmasser under 20 m. Det er dermed lite horisontal utveksling forbundet med lokale vinddrevne prosesser. For nedblanding av brakkvannslaget derimot, kan slike prosesser være viktige.

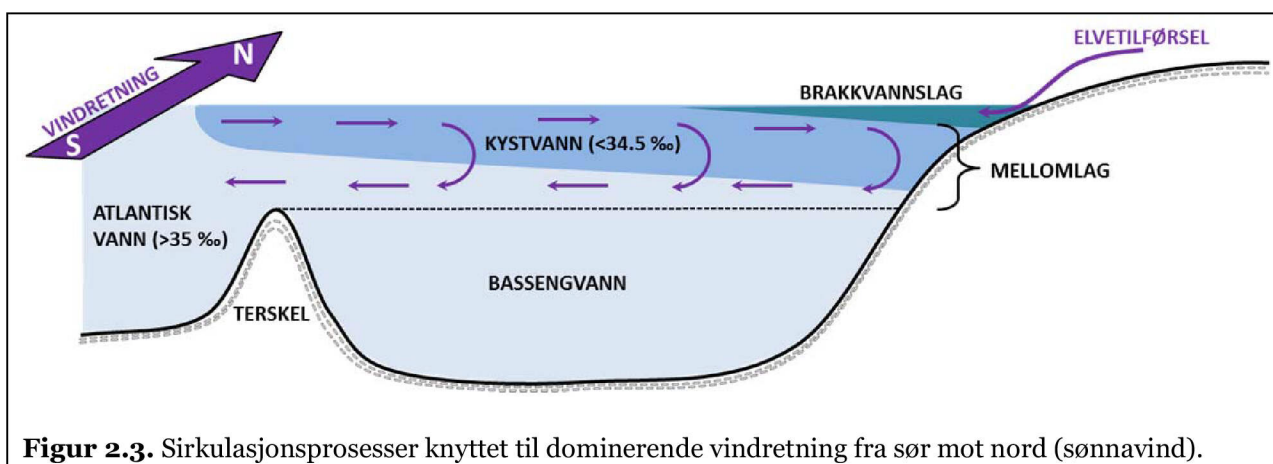
Utveksling drevet av tidevann. Til forskjell fra vinddrevet utveksling av vannmassene, vil tidevannsforskjeller påvirke vannmassene gjennom hele vannsøylen. Hvor mye vann som forflyttes avhenger av størrelsen på tidevannsforskjellen. Denne øker jo lengre nord vi går. I Skagerrak er denne forskjellen ikke mer enn 30 cm, mens den i Finnmark er rundt 2.7 m. I Sognesjøen er forskjellen rundt 1 m, hvilket i praksis tilsier en vannutveksling på ca. 15 m³/s/km².

Utveksling drevet av dominerende vindretning langs norskekysten. På den nordlige halvkule forårsaker vind at vannmasser transporteres til høyre for vindretningen som følge av jordrotasjonen. Det betyr at når vinden langs norskekysten blåser fra nord til sør (nordavind) transporteres kystvannet i retning av havet. Det gir lavere vannstand som kompenseres med transport oppover av dypere liggende vann (såkalt oppvelling, Figur 2.2). I en fjord resulterer nordavind på kysten i at vannmassene i den øvre delen av mellomlaget strømmer utover, mens vannmassene i den nedre delen strømmer innover (Aksnes et al. 1989).



Figur 2.2. Sirkulasjonsprosesser knyttet til dominerende vindretning fra nord mot sør (nordavind).

Omvendt, ved sørlige og sørvestlige vinder stues kystvannet inn mot kysten og inn i fjordene. Dette resulterer i en inngående strøm i øvre del av mellomlaget, høyere vannstand som kompenseres med utstrømning i nedre del av mellomlaget (Figur 2.3).



Figur 2.3. Sirkulasjonsprosesser knyttet til dominerende vindretning fra sør mot nord (sønnavind).

De hyppige endringene i vindretning og -styrke langs norskekysten fører til store transporter og utskiftings av vannmassene i mellomlaget. Denne transporten er langt større enn den som er knyttet til den estuarine sirkulasjonen. Dette betyr videre at egenskapene ved mellomlagsvannet i fjorder som Sognefjorden i stor grad er bestemt av forhold utenfor fjorden. Det betyr at endringer i f.eks. tetthetsegenskaper, optiske egenskaper og forurensningsstoffer i den norske kyststrømmen (dvs. i kystvannet) slår inn i Sognefjorden så vel som i andre fjorder langs kysten. Dette betyr videre at økosystemendringer som observeres i Sognefjorden ikke uten videre kan tilskrives lokale forhold, men kan også ha sammenheng med endringer som skjer utenfor fjorden. Når det gjelder økosystemendringer, som synes å være felles for store deler av kysten, er det derfor grunn for å søke årsakssammenhenger som er fjordoverskridende. Ofte er det imidlertid slik at miljøundersøkelser ikke ivaretar dette regionale aspektet, men ofte blir lokalt fokusert i leting etter årsakssammenhenger.

3 Tidligere kunnskapsinnhenting

For å kunne si noe om eventuelle endringer i et system er det helt avgjørende at vi har et godt referansegrunnlag som kan danne et utgangspunkt for sammenligning. I tilfeller hvor vi ønsker å vurdere om endring er en konsekvens av menneskeskapte inngrep, bør dette referansegrunnlaget være satt i en tid før inngrepene ble realisert. For Sognefjorden finnes det kort sagt ingen systematisk evaluering av sentrale tilstandsvariabler hverken *før* eller *etter* menneskeskapte inngrep. Inngrepene det gjelder omfatter fiske, industriutbygging, vannkraftregulering og havbruk. For å øke forståelsen for hvordan slike inngrep kan ha

påvirket Sognefjorden er det derfor nødvendig å se også til tilsvarende systemer hvor slik kunnskap finnes. Vi har derfor samlet det vi anser som de mest sentrale forsknings-arbeider og -rapporter når det gjelder fjordøkologi i Norge og hvordan denne påvirkes av menneskeskapte endringer. Hovedfokus er på vassdragsregulering og havbruk.

3.1 Freshwater on the Sea (Skreslet et al. 1976)

Sammendrag av Skreslet, S., R. Leinebø, J.B.L. Matthews og E. Sakshaug. (1976) *Freshwater on the Sea: proceedings from a Symposium on the Influence of Fresh-water Outflow on Biological Processes in Fjords and Coastal Waters*, 22-25 April, 1974, Geilo, Norway. Association of Norwegian Oceanographers

I forbindelse med den økende utbyggingstakten av vannkraft i Norge på 1950-, -60 og -70-tallet, i tillegg til den planlagte utbyggingen utover 1980-tallet, oppstod det etter hvert behov for en sammenstilling av eksisterende kunnskap om ferskvannets og vassdragsreguleringens påvirkning på fjorder og kystvann, samt på hvilke områder kunnskapen var mangelfull. I regi av Den norske havforskerforeningen ble det derfor i 1974 avholdt et symposium på Geilo, hvorpå de vitenskapelige bidragene ble samlet i publikasjonen *Freshwater on the sea* (1976). Nedenfor følger en kort oppsummering av de viktigste funnene fra denne rapporten.

Fysisk oseanografi. Det er gjort rede for tre fysiske prosesser som blir direkte påvirket av ferskvannsavrenning. *Lysabsorpsjon* vil øke med økt avrenning på grunn økt tilstrømming av partikler, gulstoff og isdannelse. Dette betyr at vannet blir mørkere. Den *vertikale og horisontale transporten* av vannmasser, partikler og organismer er også påvirket av avrenning. Avhengig av topografiske forhold i fjorden og elvemunningens beliggenhet, vil enten ferskvannstilførsel eller vind være styrende for vertikal blanding. I fjorder med grunne terskler vil *innsig av dypvann* være avhengig av den vertikale blandingen, og dermed indirekte berørt av regulering. Store ferskvannsutslipp fra regulerte vassdrag i vinterhalvåret er antatt å bryte opp lagdelingen, og kan føre til nye typer vannutvekslinger og økt vertikal blanding, mens moderate utslipp gjennom vinteren vil forsterke lagdelingen. I tillegg er det antatt at økt ferskvannstilførsel om vinteren vil føre til økt isdekke, men det er også funn som viser motsatt effekt (Masfjorden).

Primær- og sekundærproduksjon. Primærproduksjonen i norske farvann er i stor grad dominert av flere store oppblomstringer i perioden mellom februar og mai, også kjent som våroppblomstringen. Oppblomstringen drives i hovedsak av økt lystilførsel sammen med stabilisering av de øvre vannmassene, og varierer i intensitet både mellom områder og år avhengig av tilførsel av næringssalt, salinitet, turbiditet, lagdeling og beitetrykk fra dyreplankton. Vassdragsregulering er antatt å påvirke samtlige nevnte faktorer. Avhengig av fjordens utforming som terskeldyp, lengde, høyde på omkringliggende fjell osv. vil en reduksjon av vårflommen som følge av regulering kunne føre både til økt og redusert (Trondheimsfjorden) oppblomstring. Den viktigste regulatoren av våroppblomstringen ble likevel antatt å være beitetrykk fra dyreplankton, som igjen er påvirket av mønstre i ferskvannstilførsel. I Trondheimsfjorden fant man at sterk vannføring (fra regulering) før vårflommen kan føre til at yngre stadier av raudåte blir «skylt» ut av fjorden, med påfølgende reduksjon av bestanden. Indikasjoner på tilsvarende er også observert i Hardangerfjorden. Eksisterende (i 1976) og fremtidig vassdragsregulering (etter 1976) i Trondheimsfjorden er beregnet å øke ferskvannstilførselen til fjorden om vinteren med 20% i forhold til naturlig tilstand, som er antatt å være nok til å forårsake betydelig bestandsreduksjon av raudåte i fjorden.

Bunndyr. I hovedsak er det lite i *Freshwater on the sea* som tyder på at bunndyr vil bli nevneverdig berørt av vassdragsregulering. Det kan dog tenkes at indirekte effekter på fødetilgang kan være av betydning. Avhengig av tid på året er det også sannsynlig at store endringer i ferskvannsutslipp kan føre til utvasking av de yngre frittsvømmende stadier av bunndyr, og således redusere tilveksten til bestandene av bunndyr.

Fisk. *Freshwater on the sea* viser til en sammenheng mellom størrelse på vårflommen som renner ut i Vestfjorden i Nordland og rekrutteringen til den Nordøstarktiske torskebestanden (skreien). Mekanismene bak er uklare, da faktorer som sørlig vindstyrke og mattilgang viser tilsvarende sammenheng og det er vanskelig å avgjøre hva som er årsak og virkning, eller om disse mønstrene igjen er styrt av en annen,

felles driver. Det er derfor ikke mulig å forutse noen konkret effekt på rekruttering som følge av vassdragsregulering. *Freshwater on the sea* inneholder ikke noe informasjon om hva som eventuelt vil være konsekvenser av regulering for de lokale fiskebestandene i fjorden som blir påvirket av vassdragsregulering.

3.2 Vassdragsregulering og virkning på fjorder (Kaartvedt 1984)

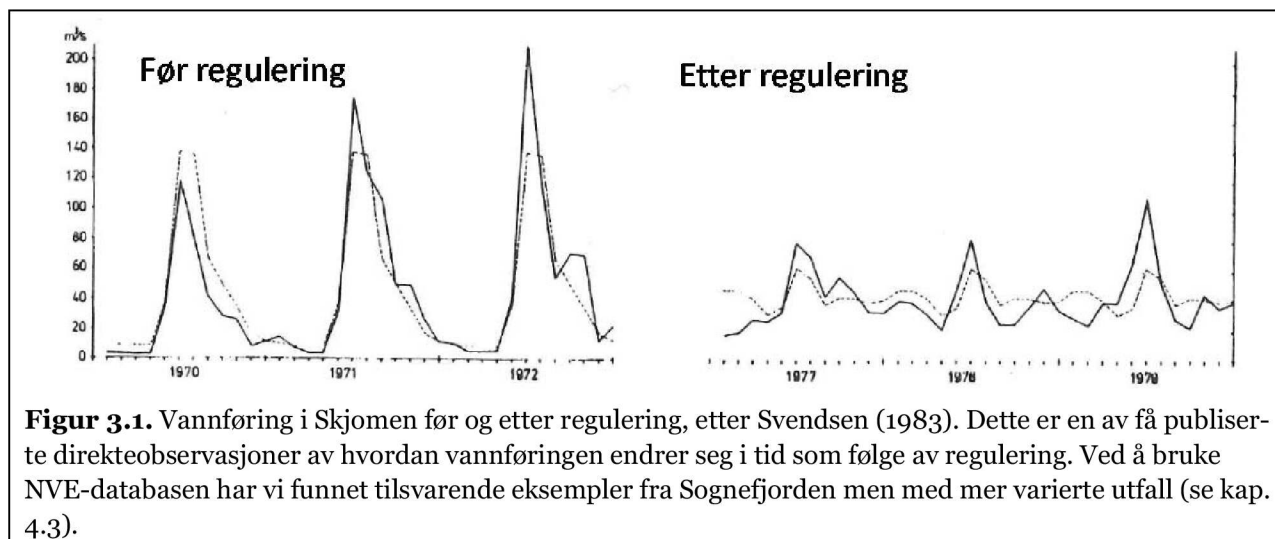
Sammendrag av Kaartvedt, S. (1984). Vassdragsregulerings virkning på fjorder. *Fisken og Havet* nr. 3.

Det er liten tvil om at det mest omfattende arbeidet som omhandler generelle virkninger på norske fjordsystem som følge av vassdragsregulering fram til i dag er rapporten *Vassdragsregulerings virkning på fjorder* fra 1984. Den gang var det fortsatt en omfattende utbygging av vannkraftverk og mange av disse var kontroversielle, med mange ubesvarte spørsmål om hvilke fysiske og biologiske langtidseffekter man kunne regne som følge av slike store naturinngrep. Fiskeridirektoratets Havforskningsinstitutt søkte om midler og Stein Kaartvedt skrev rapporten på oppdrag fra Olje- og energidepartementet.

Rapporten inneholder et 10-siders sammendrag som er ytterligere kondensert her:

Ferskvannspåvirkning fra uregulerte vassdrag. Hovedmønsteret for ferskvannstilførsel til fjorder er at det kommer lite vann om vinteren som følge av snø og frost, og med en tydelig flom om våren (mai-juni). Lite ferskvannstilførsel fører til at vannmassene i fjordene blir vertikalt blanda, med relativt homogen temperatur og salinitet gjennom vannsøylen. Mer ferskvann fører til økt sjiktning, dannelse av et brakkvannslag og sterkere vertikale miljøgradienter, og til sterkere overflatestrøm ut og en tilsvarende sterkere underliggende kompensasjonsstrøm inn i fjorden.

Regulerings innvirkning på ferskvannstilførsel og fysiske forhold i fjordene. Utbygging av vassdrag endrer vannføringsmønsteret ved at vann blir oppmagasinert under vårsmelting, sommer og høst, mens det typisk blir tilført mer vann gjennom vinteren og den kalde årstiden. Det betyr at det vil bli en jevnere vannføring gjennom året, med økte utslipp om vinteren og lavere tilførsel om våren og sommeren. Dette er observert i målinger før og etter utbyggingen av Skjoma (Svendsen 1983), se Figur 3.1.



Figur 3.1. Vannføring i Skjomen før og etter regulering, etter Svendsen (1983). Dette er en av få publiserte direkteobservasjoner av hvordan vannføringen endrer seg i tid som følge av regulering. Ved å bruke NVE-databasen har vi funnet tilsvarende eksempler fra Sognefjorden men med mer varierte utfall (se kap. 4.3).

En slik endring kan gi opphav til et brakkvannslag i fjorden om vinteren i regulerte vassdrag, særlig innerst i fjorden eller i mindre fjordarmer. Om sommeren vil den reduserte ferskvannstilførselen gi økt blanding. Vindvirkningen på overflatestrømmer blir også påvirket av sjiktning, og avhengig av topografi kan ferskvannslaget konsentrere seg på en side av fjorden.

Is og temperatur. Det generelle mønsteret i isdannelse som følge av vassdragsregulering er økt fare for isdannelse når ferskvann blir tilført om vinteren, da dette danner et brakkvannslag som blir lettere nedkjølt enn en mer gjennomblandet fjord med saltere vann. Men regulering kan også gi redusert isdannelse dersom utstrømmingen av ferskvann er hurtig, noe som lettest skjer i små fjorder og fjordarmer. En interessant observasjon er at et brakkvannslag om vinteren kan isolere bassengvannet og føre til at det blir betydelig varmere etter regulering (en endring på 5 °C er målt på Vestlandet). Hvilke konsekvenser dette kan ha for overvintrende organismer er ikke kjent. Om sommeren kan redusert ferskvannsmengde gi lavere temperaturer i overflata, eller økt temperatur dersom normalen er store mengder smeltevann gjennom sommeren.

Næringssalttilførsel til øvre vannlag. Næringstilførsel, lys og stabilitet i overflatelaget er styrende for algeproduksjonen i akvatiske miljø. Kaartvedt diskuterer først og fremst hvordan reguleringer vil endre vertikal blanding, som igjen vil endre oppblanding av næringssalt fra dypere lag. Også her er konklusjonene usikre, avhengig av effektene på estuarin sirkulasjon og dermed forskjellige mellom vinter og sommer.

Bassengvannet. I fjorder med grunne terskler vil ferskvannstilførsel kunne påvirke frekvensen for utskifting av bassengvannet. Stor ferskvannsutstrømming kan legge et lokk over terskelen som hindrer saltvann fra å strømme inn over terskelen, og dermed hindre utskifting av det dype bassengvannet, med mulig oksygensvikt som resultat. Eventuelle reduksjoner i O₂ som følge av regulering kan gi økt H₂S i bassengvannet som vil påvirke livet i dypet. Redusert ferskvannstilførsel vil øke sannsynligheten for utskifting av bunnvannet. For fjorder med dyp terskel, slik som Sognefjorden, er konklusjonen at endringene i ferskvannsføring har lite å si for bassengvannutskifting og dermed oksygeninnholdet i fjordene.

Næringssalt- og materialtilførsel fra elvene. Reguleringer vil generelt redusere tilførselen av uorganisk og organisk materiale til fjordene fordi flommene som drar med seg mye materiale uteblir, samt som følge av økt sedimentering i magasinene. Redusert tilførsel av uorganisk og organisk materiale vil generelt gi klarere vann og økt dypere primærproduksjon.

Planter og dyr i strandsonen. Ferskvann kan i seg selv være en osmotisk stressfaktor for marine alger og dyr i strandsona, og reduksjonen i ferskvannsmengden om sommeren som følger med regulering vil være gunstig for disse organismene. Større fare for is og ferskere vann om vinteren er derimot uheldig.

Planktontransport i øvre lag. Små planktonorganismer som fiskeegg og -larver driver i stor grad med vannmassene og de lever i de øvre vannlag nær overflata. Disse organismene er sårbare for endringene i overflatestrømmene som følger med regulering av vannkraft. Plankton strømmer ut i brakkvannslaget og inn i den underliggende kompensasjonsstrømmen, så enhver endring i strømforholdene vil ha konsekvenser for planktontransport. Mange effekter er tenkelige avhengig av de lokale forholdene.

Temperaturpåvirkning. Marine organismer er følsomme for temperaturendringer, og spesielt vil temperaturøkninger under brakkvannslaget om vinteren kunne ha betydelige effekter på overvintrende organismer.

Primærproduksjon. Rapporten konkluderer med at ferskvannstilførsel har stor betydning for primærproduksjon i fjorder, men at det er vanskelig å si generelt om produksjonen vil øke eller avta med ferskvannsmengde eller regulering. Artssammensetning og oppblomstringstidspunkt er også følsomme for ferskvannstilførsel.

Fisk. Rapporten tar opp og diskuterer ulike hypoteser for hvordan fiskeproduksjonen henger sammen med ferskvannstilførsel og regulering av vassdrag. Da Kaartvedts rapport ble skrevet var dette et hett tema i media og blant norske havforskere. Kaartvedt konkluderer med at det ikke foreligger dokumentasjon på at vassdragsregulering påvirker fiskeproduksjonen i norske fjorder, og at hypotesene som var framsatt baserte seg på en antakelse om at regulering førte til reduksjon i primærproduksjonen, noe som ikke behøver å være tilfelle.

Akvakultur. Endring i isforhold, temperatur, saltholdighet og gassovermetning blir pekt på som utfordringer for fiskeoppdrett.

Arbeidet til Kaartvedt (1984) understreker at det er mange tenkelige og sannsynlige virkninger av vassdragsregulering på det marine fjordmiljøet. Disse kan slå ut både “positivt” eller “negativt” i den forstand at de vil øke eller redusere produksjon eller lokalsamfunnenes opplevelse av miljøkvalitet i fjorden. Å fastslå hvordan effekten av en gitt vassdragsregulering vil slå ut for en spesifikk fjord er krevende.

3.3 Ryfylkestudiene og vannkraftutbyggingen Ulla-Førre

Sentral referanse:

Lie, U., H. Svendsen, S. Kaartvedt, S. Mikki, T. M. Johnsen, D. L. Aksnes, R. P. Asvall et al. 1992. *Vannkraft og fjorder. Fysiske og biologiske konsekvenser av Ulla-Førre utbyggingen*. 89 sider. Rapport 4/92 Senter for miljø- og ressursstudier, Universitetet i Bergen.

Forundersøkelsene før Ulla-Førre-utbyggingen i Ryfylkefjordene ble gjennomført i tidsrommet 1972–1975. Disse la vekt på å beskrive hydrografisk og biologisk tilstand, mens etterundersøkelsene (1987–1989) ble konsentrert om studier av Ulla-Førre-utbyggingens effekter på fysiske og biologiske prosesser (Lie et al. 1992). Funnene her er viktig å ta med seg i eventuell design av undersøkelser som har til hensikt å vurdere konsekvenser av vannkraftutbygginger på økosystemet i Sognefjorden. Nedenfor gjengis derfor noen av hovedfunnene i Ryfylkeundersøkelsene.

Ulla-Førre-utbyggingen førte til store endringer i vanntransporten i Hylsfjordens øvre lag. Før etableringen av Hylen kraftverk var denne fjordarmen en form for bakevje i forhold til resten av fjordsystemet fordi Suldalslågen munner ut lenger ut og gir her en høyere vannstand enn i Hylsfjorden. Med utslipp fra kraftverket innerst i Hylsfjorden endres dette bildet og det oppstår kraftige ferskvannsdrevne strømmer med betydelig vannutveksling mellom Hylsfjorden og fjordene utenfor.

Det ble konstatert at store utslipp fra Hylen kraftverk fører til kraftig turbulent vertikalblanding og dermed en høyere saltholdighet i overflatevannet enn i perioder uten utslipp fra kraftverket. Utslipp fra kraftverket kunne også ha en markert effekt på temperaturforholdene i fjordvannet. Sommeren 1989 ble fjorden tilført store mengder ferskvann. Overflatetemperaturen sank da med 8 °C innerst i Hylsfjorden, og en kaldtvannskile (temperaturfall på opptil 4 °C) av kraftverksvann kunne registreres gjennom Hylsfjorden og Sandsfjorden.

Ferskvannet som slippes ut i Hylen viste seg å ha en stor virkning på algeveksten i fjordene. Utslippsvannet inneholder relativt store mengder nitrat og silikat, men er fattig på fosfat og virker dermed inn på konkurranseforholdene mellom algearter. Vi regner med at dette også er tilfelle for utslippsvann i Sognefjorden. Utslipppet fra kraftverket i Hylen kan tidvis også gi et næringssalttilskudd fra dypere vannlag gjennom kraftige vertikale blandingsprosesser tilsvarende det en kan få ved dykkede ferskvannsutslipp

Artsprøvene av planteplanktonet tydet på at kiselalger var mer fremtredende i Sandsfjordsystemet i forhold til forundersøkelsen, mens den relative betydningen av kiselalger ble redusert i Jøsenfjorden (som fikk mindre ferskvannsutslipp etter regulering). Dette hang sannsynligvis sammen med at silikattilførselen til Sandsfjordsystemet økte, mens overføringen av ferskvann fra Ulla og Førre til Hylen fjernet en betydelig silikatkilde i Jøsenfjorden.

De ferskvannsdrevne strømmene førte også til utvasking av alger fra Hylsfjorden og til områdene utenfor. Dette var særlig markert sommeren 1989. Dette året ble store mengder av giftalgen *Prymnesium parvum* spredd med ferskvannsutslipp fra Hylsfjorden og videre utover i Sandsfjordsystemet. Denne blomstringen og spredningen forårsaket stor dødelighet i fiskeoppdrettsanlegg i Ryfylkefjordene (Kaartvedt et al. 1991). Som følge av jordrotasjonen vil utstrømmende brakkvann dreie til høyre (her i nordlig retning) og dette ble antatt å forklare hvorfor fiskeoppdrettsanlegg på nordsiden, men ikke sørsiden, av Nedstrandsfjorden

ble rammet (se Figur 3.2). (Slik effekt av jordrotasjon på utstrømmende brakkvann gjelder også i Sognefjorden.) Selve blomstringen oppstod innerst i Hylsfjorden i en periode hvor det ikke ble sluppet ut vann fra kraftverket i Hysten, og Hylsfjorden lå som en bakevje slik som før utbyggingen.



Figur 3.2. Spredning av giftalgen *P. parvum* med påfølgende fiskedød som følge av store ferskvannsutslipp ved kraftstasjonen i Hysten i 1989 (Kaartvedt et al. 1991). Sorte og åpne triangel illustrerer fiskeoppdrettsanlegg med henholdsvis omfattende eller liten fiskedød. Dato angir start for observert dødelighet.

Ferskvannet fra Hysten kraftstasjon representerer et stort tilskudd av nitrat og silikat (ved maksimalutslipp i Hysten tilføres ca. 3 tonn nitrat i døgnet). Betydelige mengder eksporteres til fjordene lenger ut og ble antatt å påvirke produksjonsforholdene også her.

Våroppblomstringen i det ferskvannspåvirkete fjordsystemet starter flere uker tidligere enn i områdene utenfor. Utstrømning av betydelige brakkvannsmengder om våren ble antatt å påvirke blomstringsforløpet utenfor fjordene. Tilført brakkvann bidro til å stabilisere vannmassene også i ytre områder i tillegg til at det ble tilført plankton fra indre deler av fjordsystemet.

Dyreplankton ble også direkte påvirket av utslipp fra kraftverket i Hysten. Brakkvannsplanktonet, som i hovedsak finnes i de øvre 2–5 m, ble vasket ut av Hylsfjorden med ferskvannet fra kraftverket. Den underliggende motgående estuarine sirkulasjonen førte derimot til oppkonsentrering av plankton nær utløpet fra kraftverket. Slik oppkonsentrering fant en også for rent marint plankton, og en observerte den paradoksale situasjonen at større ferskvannsmengder resulterte i flere marine former. I perioder med store utslipp i Hysten ble det observert store mengder dødt plankton i Hylsfjorden (Kaartvedt & Aksnes 1992). Denne dødeligheten skyldes antakelig osmotisk stress som følge av at planktonet for raskt ble blandet fra salt underliggende sjøvann til ferskere brakt overflatevann.

Utslipp fra kraftverket hadde også en stor virkning på transporten og den vertikale fordelingen av krill i Sandsfjordsystemet, og da særlig om vinteren (Kaartvedt & Svendsen 1990).

3.4 Innsamling og sammenstilling av relevant kunnskap om Sognefjorden (Solbakken et al. 2012)

Sammendrag av:

Solbakken, R., K. Henriksen, K.I. Reitan, J. Arff, I.H. Ellingsen, K. Hindar, P. Fiske, G. Robertsen, B. Finstad, Ø. Aas, B.O. Johnsen (2012). *Innsamling og sammenstilling av relevant kunnskap om Sognefjorden*. SINTEF Fiskeri og Havbruk, Trondheim.

På oppdrag fra Sogn og Fjordane fylkeskommune har SINTEF Fiskeri og havbruk, i samarbeid med Norsk institutt for naturforskning (NINA), utarbeidet rapporten *Innsamling og sammenstilling av relevant kunnskap om Sognefjorden*. Rapporten er ment å danne kunnskapsgrunnlaget for en helhetlig og kunnskapsbasert akvakulturforvaltning i Sognefjorden, formalisert gjennom oppstarten av *Arbeidsprogram for heilskapleg akvakulturforvaltning (AHA!)* i 2011.

Rapporten er delt inn i syv deler; akvakultur, anadrom laksefisk, verdiskapning basert på fiske av laks, vassdragsregulering, fjorddynamikk, fiskerier og andre forhold. For hver del er konkrete kunnskapshull beskrevet. Rapporten avsluttes med innspill til AHA!

Hovedtyngden av rapporten er i stor grad viet tallfesting av eksisterende tilstander i Sognefjorden, med særskilt fokus på havbruksrelaterte forhold som antall bruk, konsesjoner, biomasse og lignende. Fiskeridirektoratet, Direktoratet for naturforvaltning og Norges vassdrags- og energidirektorat er sentrale kilder til tallgrunnlagene. Hovedfunnene i rapporten er forsøkt sammenfattet her.

Akvakultur. Denne delen inneholder i all hovedsak en kvantifisering av akvakulturvirksomhet i Sognefjorden, samt de siste ti års utvikling av lakselusforekomster i oppdrettsanlegg, basert på næringens egne tellinger. Sjømatproduksjonen i Sognefjorden er dominert av laks og ørret, og rundt 90 % av brukene (59 av 66 i 2011) er lokalisert i de fire ytterste kommunene Gulen, Solund, Hyllestad og Høyanger. Her, som i andre fjorder med høy havbruksvirksomhet, er lakselus et vedvarende problem, og det foretas i snitt 26 avlusninger i året Sognefjorden. Det rapporteres et økende antall avlusninger i perioden 2009-2011.

Anadrom laksefisk og relatert verdiskapning. Rapporten inneholder en omfattende redegjørelse av lakselver med utløp i Sognefjorden, samt fangststatistikk av både laks og sjøørret de siste 40 år. Det har vært en generell nedgang både i beskatning og bestander av laks og sjøørret de siste 40 år, og gytebestandsmålene er ikke nådd for flertallet av bestandene. Flere elver er stengt for fiske. Årsakene til nedgang varierer mellom vassdrag, men *Gyrodactylus*, lakselus (hovedsakelig fra oppdrett) og kraftutbygging regnes som sentrale faktorer. Verdiskapningen på grunnlag av fiske etter laks og ørret har historisk sett vært høy. I dag anses verdiskapningen å være på et historisk lavmål, hovedsakelig utløst av *Gyrodactylus*-infeksjon og påfølgende bestandskollaps i Lærdalselva tidlig på 1980-tallet.

Vassdragsreguleringer. Sogn og Fjordane har et høyt antall regulerte vassdrag, de fleste med utløp i Sognefjorden. Reguleringene varierer i omfang fra mindre kraftverk under 10 MW (mikro-, mini- og småkraftverk), til større magasinkraftverk (opp til ca. 800 MW). For 27 regulerte vassdrag er det opparbeidet detaljerte beskrivelser for påvirkning på anadrom laks, hvorpå de fleste melder om negative konsekvenser. Utredningen, *Til laks åt alle kan ingen gjera* (NOU 1999:9) er sentral referanse, og det gjøres rede for en rekke negative konsekvenser av vassdragsregulering på landsbasis. De viktigste påvirkningsfaktorer fra regulering i elvene er endring av naturlige variasjoner i vannføring og temperatur, samt fysiske barrierer. I et fåtall regulerte vassdrag (f. eks. Jostedalselva) har regulering ført til økt tetthet av ungfisk. I fjordene er regulering vist å føre til endring av sesongbetont lagdeling mellom salt- og ferskvann. Effekten er størst nær utløpet, men kan avvises å ha påvirkning på saltholdighet helt ut til Sognesjøen (se kap. 4.2.1).

Fjorddynamikk. Både husholdning og industri (inkl. oppdrett) bidrar til kloakkutslipp i Sognefjorden. Vedrørende alle husholdninger i fylket gjør rapporten rede for 196 større renseanlegg, samt rundt 17 000 mindre anlegg. Industriutslipp er ikke omtalt, med unntak av miljøstatus for oppdrettslokalitetene i Sog-

nefjorden. De fleste lokalitetene har miljøstatus klassifisert som 'God' til 'Meget god'. Samtidig har samtlige lokaliteter (unntatt én) øst for Høyanger miljøstatus klassifisert som 'Dårlig'. Tilstedeværelse av giftige planktonalger regnes som naturlig i norske farvann, og de er antatt å trives i lagdelte vannmasser hvor de oppholder seg i skillet mellom salt og brakkvann. Det foreslås at vassdragsregulering bidrar til opprettholdelse av denne lagdelingen gjennom året, hvilket bidrar til gode vekstvilkår for en rekke giftige alger. Disse algene kan være skadelig for mennesker og skjell så vel som oppdretts- og villfisk.

Fiskeri. Fiskeriet i Sognefjorden er i dag i all hovedsak konsentrert i de to ytterste kommunene Gulen og Hyllestad, hvor nordsjøsild, norsk vårgytende sild og sei utgjør rundt 90 % av det samlede oppfiskede kvantum. I indre deler av fjorden er fisket etter kystbrisling det viktigste. Evt. endringer i fisket over tid er ikke omtalt.

3.5 Erfaringer fra Hardangerfjorden (*Marine Biology Research* 2014)

Sentrale referanser.

Skaala, Ø., K. Sjøtun, E. Dahl, V. Husa, A. Bjørge, og F. Uiblein. 2014c. Interactions between salmon farming and the ecosystem: Lessons from the Hardangerfjord, western Norway. *Marine Biology Research* **10**:199-202.

Brattegard, T., T. Høisæter, K. Sjøtun, T. Fenchel, og F. Uiblein. 2011. Norwegian fjords: From natural history to ecosystem ecology and beyond. *Marine Biology Research* **7**:421-424.

Hardangerfjorden er på mange måter den fjorden i Norge som er mest lik Sognefjorden. I topografisk karakteristikk har Hardangerfjorden og Sognefjorden lengder på henholdsvis 180 og 200 km, maksimal dybde på 830 og 1300 m, og terskeldyp på 150 og 200m. I tillegg har begge fjordene en historisk betydelig tungindustri, høy andel regulerte vassdrag, samt en stor havbruksnæring, dog med noe større produksjon i Hardangerfjorden (80.000 tonn) enn i Sognefjorden (55.000 tonn). Til forskjell fra Sognefjorden, har det i Hardangerfjorden vært foretatt en rekke systematiske prøver av ulike tilstandsvariabler i både historisk (1960 tallet; oppsummert i Brattegard et al. 2011) og nyere tid (2008-2011; oppsummert i Skaala et al. 2014c og påfølgende artikler i samme hefte).

Nedenfor følger et sammendrag av de viktigste endringene som er observert i Hardangerfjorden de siste 60 år og i hvilken grad de kan relateres til menneskeskapte inngrep, med hovedfokus på havbruk. Sammendraget er basert på et nylig utgitt spesialvolum av den vitenskapelige journalen *Marine Biology Research* med tittelen 'Interactions between salmon farming and the ecosystem: Lessons from the Hardangerfjord, western Norway'. Her presenteres sentrale funn gjort blant annet gjennom forskningsprosjektet 'Ecological Processes and Impacts Governing the Resilience and Alternations in the Porsangerfjord and the Hardangerfjord' (EPIGRAPH), initiert av Fiskeri- og kystdepartementet i 2008. Grunnlaget for utgivelsen var å redegjøre for tilstanden i Hardangerfjorden generelt, og analysere eventuelle effekter av menneskeskapte inngrep. Referansegrunnlaget er en serie publikasjoner i tidsskriftet *Sarsia* (i dag *Marine Biology Research*) på 1960 og 70-tallet merket med en felles overskrift 'The natural history of the Hardangerfjord' (oppsummert i Brattegard et al. 2011).

Hardangerfjorden er som de fleste vestlandsfjorder kjennetegnet av kompleks topografi, hvor hydrografiske forhold som strømmer, temperatur, saltholdighet varierer mellom ulike deler av fjorden. I Hardangerfjorden ser men også at forekomst, så vel som transport, av dyreplankton er svært ulik mellom de ulike fjordarmer sammenlignet med hovedløpet av fjorden (Falkenhaug og Dalpadado 2014). Strømmer generert av tidevann og ferskvannsavrenning blir betegnet som uviktig for transport av biomasse, og den månedlige vannutskiftingen i de øvre vannlag (50-100m) drives i hovedsak av kyststrømmen utenfor fjorden (Asplin et al. 2014).

I indre deler av fjorden er det registrert endringer i salinitet som tilskrives vannkraftregulering, med tilhørende endring av ferskvannstilførsel gjennom året. Dette er igjen foreslått å være årsak til økte forekomster av rødalger i indre deler av fjorden, samt tilførsel av nye algearter ellers assosiert med varmere strøk. Økt tilvekst av filamentøse makroalger var også observert i midtre deler av fjorden, og sees i sam-

menheng med økt tilførsel av næringssalter fra oppdrett (Husa et al. 2014a). Næringssaltutslipp fra oppdrett kunne heller ikke utelukkes å ha bidratt til sedimentering av kaldevannskoraller og svampesamfunn i fjorden. Knuste og knekte koraller tydet også på fiskerirelaterte ødeleggelser (Buhl-Mortensen og Buhl-Mortensen 2014).

Fiskebestandene ser ut til å tåle endringene i fjorden bra. Det rapporteres at brislingen ikke nødvendigvis forekommer i områder med store forekomster av dyreplankton (ytre deler av fjorden), men i stor grad oppholder seg lenger inne. Fra mageprøver registreres det for første gang at brisling kan beite på planteplankton når annen føde er lite tilgjengelig (Falkenhaus og Dalpadado 2014). Sammensetningen av de ulike bunnfiskarter er også uforandret de siste 50 år, men unntak av antallet store skater, som har gått ned. Dette er muligens grunnet bifangst fra andre fiskerier (Bjørge, 2012). Ellers er innhold av tungmetaller og PCB fortsatt høyt i enkelte bunnfiskarter, men trenden er nedadgående siden 1990 (Ruus et al. 2012).

For villaks og sjøørret er situasjonen en annen, med dramatisk reduserte bestander i forhold til for 50 år siden. Denne nedgangen er vanskelig å forklare uten å ta hensyn til den store økningen i oppdrettsnæringen (Skaala et al. 2014a). Økt dødelighet er påvist både som direkte følge av lakselus (Skaala et al. 2014b) og antall oppdrettsanlegg mellom fødeelven og havet (Vollset et al. 2014).

Erfaringene fra Hardangerfjorden har kulminert i en konkret forvaltningsplan som er tenkt å bremse den negative utviklingen som er observert, særlig i forhold til oppdrettsaktivitet, og konsekvensene på ville bestander av laks og sjøørret (Skaala et al. 2014c). Her er det i første omgang problematikken rundt spredning av lakselus som står sentralt.

4 Oversikt over innsamlete data fra Sognefjorden

Å kvantifisere potensielle endringer i et økosystem er en krevende øvelse – selv i systemer med kontinuerlige observasjoner og referansegrunnlag. En eventuell endring kan kun måles ut fra en kjent tilstand tilbake i tid, og en må skille naturlige fluktuasjoner fra trender som vedvarer over tid og nivåendringer mellom perioder (såkalte regimeskifter). I denne delen har vi samlet det vi anser som en komplett oversikt over datamaterialet fra Sognefjorden som kan brukes til etablering av slike referansepunkt. I tillegg til en liste over publikasjoner som inneholder kvantifiserte tilstandsvariabler, har vi også sett nærmere på to sentrale tidsserier for henholdsvis hydrografi og vannføring. Nærmere analyser og sammenstilling av både publikasjonene og tidsseriene bør gjennomføres i forbindelse med en eventuell fremtidig kvantifisering av tilstandsvariabler i Sognefjorden.

4.1 Kvantitativ oversikt over data i litteraturen

I tabellen under har vi samlet det vi har funnet av publikasjoner som inneholder kvantitative data fra Sognefjorden. (Denne tabellen er en komprimert versjon, og en komplett versjon er overlevert oppdragsgiver i elektronisk format.) Publikasjonene er sortert etter utgivelsesdato, og det er indikert hvorvidt den er lagt ved rapporten som pdf-fil. Selv om publikasjonen ikke er indikert som tilgjengelig er publikasjonen fortsatt mulig å oppdrive, men det har ikke blitt prioritert. Videre er det indikert hvor i Sognefjorden dataene kommer fra ('ytre', 'midtre', 'indre' eller 'hele' fjorden), og hvilket tidsrom de er samlet inn ('Fra'–'Til'). Det totale antall år med data innenfor innsamlingsperioden er også indikert ('Antall år'). Deretter er det indikert (med 'X') de ulike datatyper en publikasjon kan inneholde. Disse inkluderer 6 fysiske variabler (temperatur, saltholdighet, oksygen, strøm, vannføring og lys), 1 kjemisk (næringssalter) og 7 biologiske (planteplankton, toksikologi, bunndyr, makroalger, dyreplankton, fisk og pattedyr). I tillegg til dataene i tabell 1 er det også hydrografiske data fra en målestasjon i Sognesjøen (1935-2013: se kap. 4.2.1) og vannføringsdata fra NVE (se kap. 4.2.2). Kvantitative data samlet inn i vassdrag eller i forbindelse med oppdrettsaktivitet er ikke tatt med her, da SINTEF-rapporten (Solhaug et al. 2012) inneholder en utførlig sammenstilling av dette.

Forfattere	År utgitt	PDF	Hvor i fjorden	Fra (år)	Til (år)	Antall år	Temperatur	Salt	Oksygen	Strøm	Vannføring	Lys	Næringssalter	Planteplankton	Toksikologi	Bunn-dyr	Makroalger	Dyreplankton	Fisk	Pattedyr
Sund	1911																		X	
Bjerkan	1930																		X	
Eggvin	1939	X	Ytre	1935	1937	3	X	X		X										
Gundersen	1954	X	Hele	1950	1953	4													X	
Bakken	1965																		X	
Skoftefjord	1970	X	Indre	1940	1969	4	X	X			X									
Rustad	1978	X	Hele	1937	1946	6	X	X				X								
Rustad	1980	X	Hele	1937	1946	6		X									X			
Gjerpetal	1981		Indre																X	
Kaartveit	1984	X	-	-	-		X	X			X		X					X	X	
Wiigetal	1987	X	Hele	1986	1987	2														X
Aune et al	1996		Hele	1994	1994	1								X	X					
Hjølman et al	1996		Ytre	1989	1995	3									X	X	X			
Ramstad et al	1997			1996	1997	2								X	X			X		
Mikalsen et al	1999		Hele	1996	1998	3		X	X							X				
Johansen et al	2000	X	Indre	1993	1999	2	X	X	X				X		X	X	X			
Myrseth et al	2000	X	Indre	1993	1999	2	X	X	X				X							
Bagøien et al	2001	X	Midt	1995	1996	2												X	X	
Johansen et al	2001	X	Ytre	1960	2000	2					X									
Sørland et al	2003	X	Indre	1996	1996	1													X	X
Bergslie	2005			2004	2004	1								X	X					
Heggøy et al	2006	X	Ytre	2005	2005	1	X	X	X				X							
Heggøy et al	2006	X	Ytre	2005	2005	1	X	X	X							X				
Svendsen	2006	X	Hele	2001	2004	4	X	X		X										
Sørnes et al	2006	X	Midt	1996	2004	4		X	X			X						X	X	
Heggøy et al	2007	X	Indre	1987	2006	2	X	X	X				X		X	X	X			
Johansen et al	2007	X	Ytre	2006	2006	1	X	X	X						X	X				
Johansen et al	2007	X	Hele	1987	2006	3	X	X	X						X	X				
Johansen et al	2007	X	Hele	1987	2006	3	X	X	X						X	X				
Vassenden et al	2007	X	Indre	1987	2006	3	X	X	X				X		X	X				
Jonassen et al	2007	X	Indre	1999	2006	2	X	X	X				X		X	X	X			
Anon	2008	X	Hele	1994	2008	15												X	X	
Anon	2009	X	Ytre	2006	2008	2							X				X			
Sørnes et al	2009	X	Midt	2001	2003	3	X	X				X						X		
Dupont et al	2012	X	Midt	2006	2006	1						X						X		

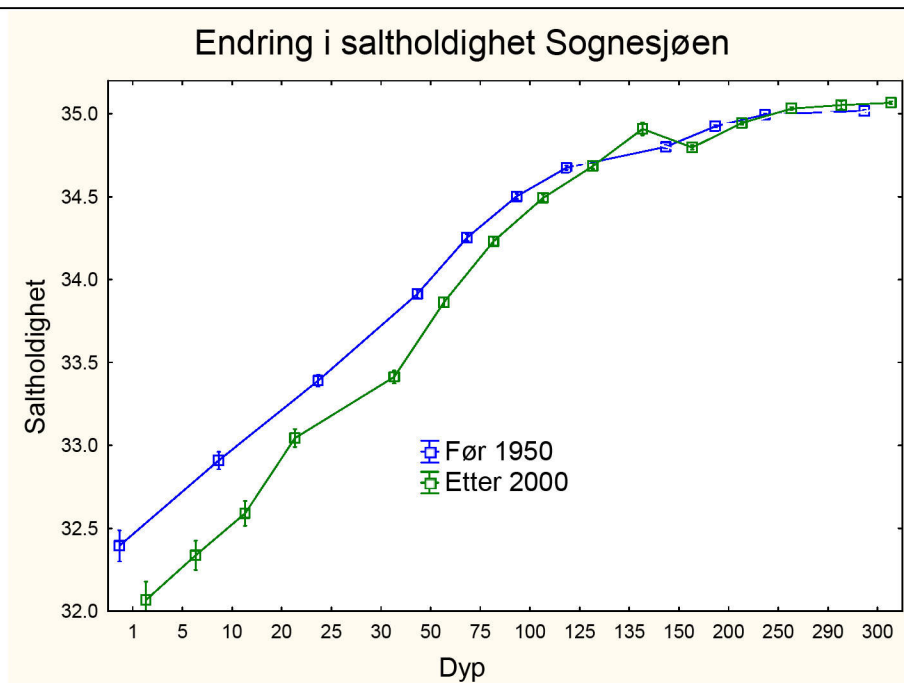
Det er verdt å merke seg at selv etter drøyt 100 år med vitenskapelige publikasjoner fra Sognefjorden er det begrenset med kvantitative studier, spesielt før 1980. Det kan derfor være utfordrende å måle endringer i en del variabler siden det ikke finnes datagrunnlag å sammenligne med tidligere enn 1980. Det er også slik at variablene i ulike publikasjoner ofte er målt på ulike tider av året, slik at de derfor ikke er direkte sammenlignbare. Utenom spredte innsamlingspunkter i fjorden finnes det også en sammenhengende tidsserie av brislingbestanden (markert for 'fisk') fra 1994 til 2008 (kanskje også nyere upubliserte data). Denne tidsserien er presentert i kapittel 5.1 og vil kunne si noe om endringer de siste 20 år.

4.2 Omtale og beskrivelse av utvalgte rapportserier, dataserier og målestasjoner

Her ser vi nærmere på to viktige kilder til informasjon om langtidsendringer i Sognefjorden: Sognesjøen målestasjon (Havforskningsinstituttet), som har logget saltholdighet og temperatur ytterst i Sognefjorden siden 1935, og NVE sitt arkiv for vannføring i norske vassdrag, som i enkelte tilfeller går tilbake til 1800-tallet. Videre analyser av disse kildene vil være sentrale dersom man ønsker kvantitative referansepunkter for tilstanden i Sognefjorden før og nå. Resultatene presentert her må regnes som preliminaire, og er kun ment som eksempler på hva disse dataseriene innehar av informasjon.

4.2.1 Sognesjøen målestasjon – langtidsendringer i hydrografi

Havforskningsinstituttet har målt saltholdighet og temperatur ved Sognesjøen siden 1935, i utvalgte dyp fra overflaten og ned til 300 m (<http://www.imr.no/forskning/forskningsdata/stasjoner/dato.php>). Disse dataene er svært verdifulle for å kunne se langtidsendringer i saltholdighet, temperatur og tetthet i overflatelaget så vel som i større dybder. Generelt vil variasjoner høyt opp i vannsøylen reflektere lokale forhold slik som lokal ferskvannstilførsel og vannkraftreguleringer, mens variasjoner nedover i dypet reflekterer endringer på større skala slik som i kystvannet og i det Atlantiske vannet eller i strømmene som forflytter disse vannmassene. Dermed vil observasjonene fra Sognesjøen kunne si noe om lokale versus regionale endringer når det gjelder de hydrografiske langtidsforholdene i Sognefjorden.



Figur 4.1. Øvre del av Sognesjøen har blitt ferskere i løpet av 50 år. Generelle konsekvenser av dette er sterkere stratifisering av vannmassene og mindre lysgjennomgang.

Figur 4.1 viser et eksempel på hvordan dataene kan benyttes. Her ser en at gjennomsnittlig saltholdighet i de øverste 100 meterne er signifikant lavere i perioden etter 2000 enn i perioden før 1950. Dette har også

medført at graden av stratifisering (lagdeling) har økt fra den første til den siste perioden. Det må presiseres at en ikke uten videre kan knytte denne endringen til vannkraftreguleringer da kystvannet som sådan har endret karakter. Observasjonene fra Sognesjøen, sammen med de øvrige permanente kyststasjonene til Havforskningsinstituttet, gir et utmerket grunnlag for nærmere analyser av utviklingen i Sognefjorden. Dette er av stor interesse da stratifisering er viktig i forhold til næringssalttilførsel og biologisk produksjon.

Ferskere vann har ført til at lysabsorpsjonen har økt som følge av at ferskvann har høyere konsentrasjon av organiske fargestoffer (med terrestrisk opphav) enn Atlantisk vann. Det betyr at mindre lys slipper gjennom vannsøylen og at habitatet for lysfølsomme planter og dyr dermed er endret. Framtidige analyser av biologiske og økologiske endringer i Sognefjorden bør inkludere disse forholdene, og hydrografi-observasjonene fra Sognefjorden er verdifulle også i denne sammenheng.

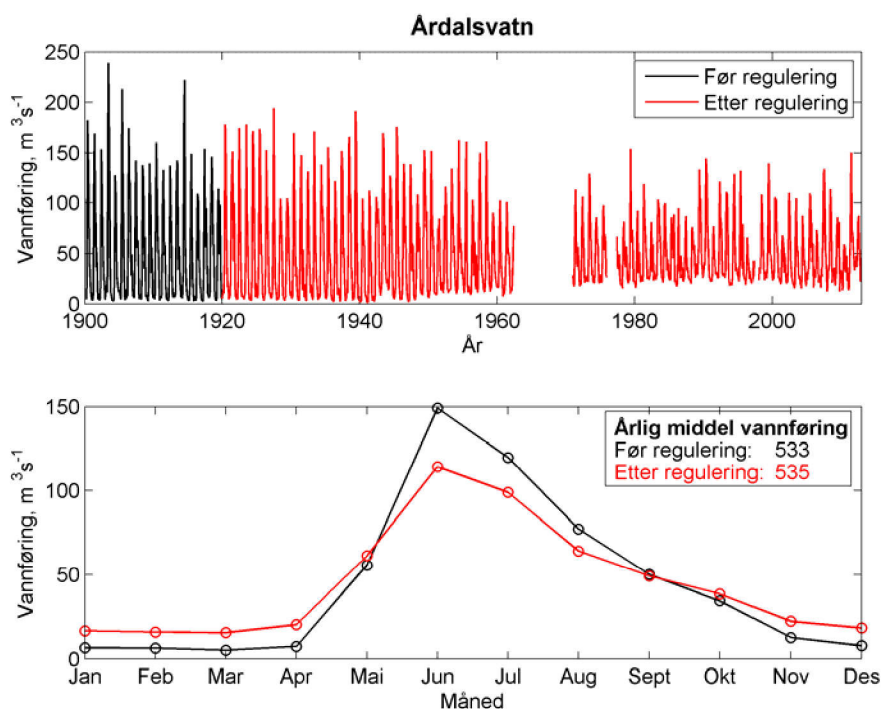
4.2.2 Vannføringsdata fra NVE: før og etter kraftutbygging

I hvilken grad vassdragsregulering kan sies å påvirke fjordøkologien er svært usikkert (jfr. kap. 3). Det er flere eksterne faktorer som spiller inn, som størrelse på fjorden, bunnforhold, omkringliggende topografi, vindforhold og påvirkning fra kystvannet. I tillegg er det forskjell på hvordan vassdraget er regulert, avhengig av blant annet størrelse og driftsmønster på kraftverket. Det er Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) som er satt til å forvalte Norges vannkraftressurser. I den forbindelse er det opprettet et omfattende overvåkingsprogram for nedbør så vel som vannstand i både regulerte og uregulerte vassdrag over hele landet, med vannføringsdata så langt tilbake som 1800-tallet. For å avgjøre i hvilken grad en kraftverksutbygging kan ha innvirkning på en fjord, er det naturlig først å vurdere i hvilken grad vannføringen i vassdraget blir påvirket. For Sognefjorden har vi sett nærmere på vannføringsmønster før og etter regulering ved fire målestasjoner (Årdalsvatn, Lo bru, Nivla og Vassbygdevatn) i vassdrag med utløp i Sognefjorden, henholdsvis Årdalsfjorden, Lærdalsfjorden og Aurlandsfjorden (Figur 4.2).

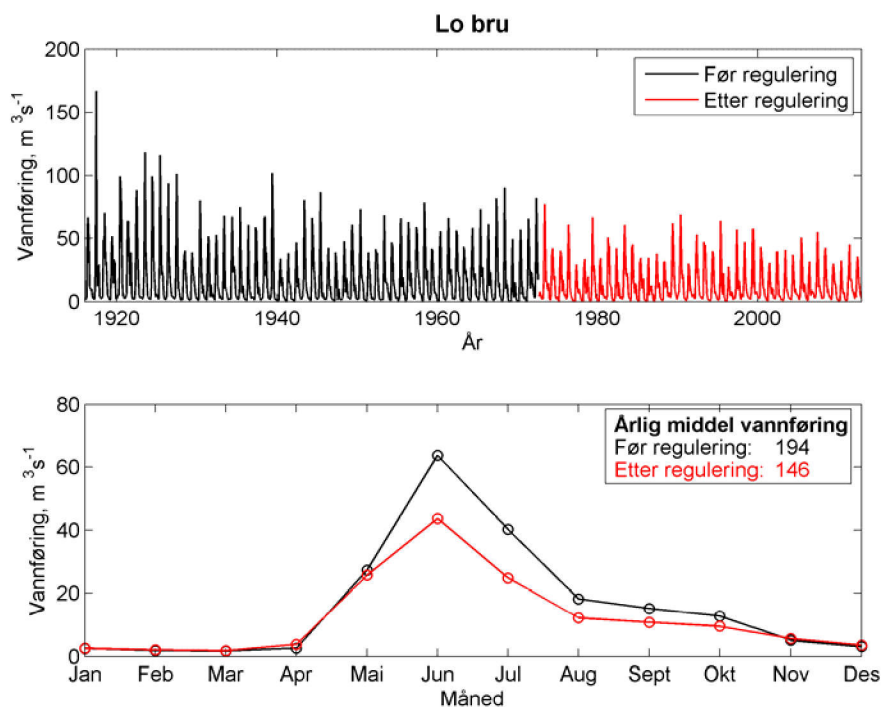


Figur 4.2. Oversiktskart over fire målestasjoner (firkant) med vannføringsdata fra før og etter regulering av vassdraget. Samtlige vassdrag har utløp (sirkel) i Sognefjorden.

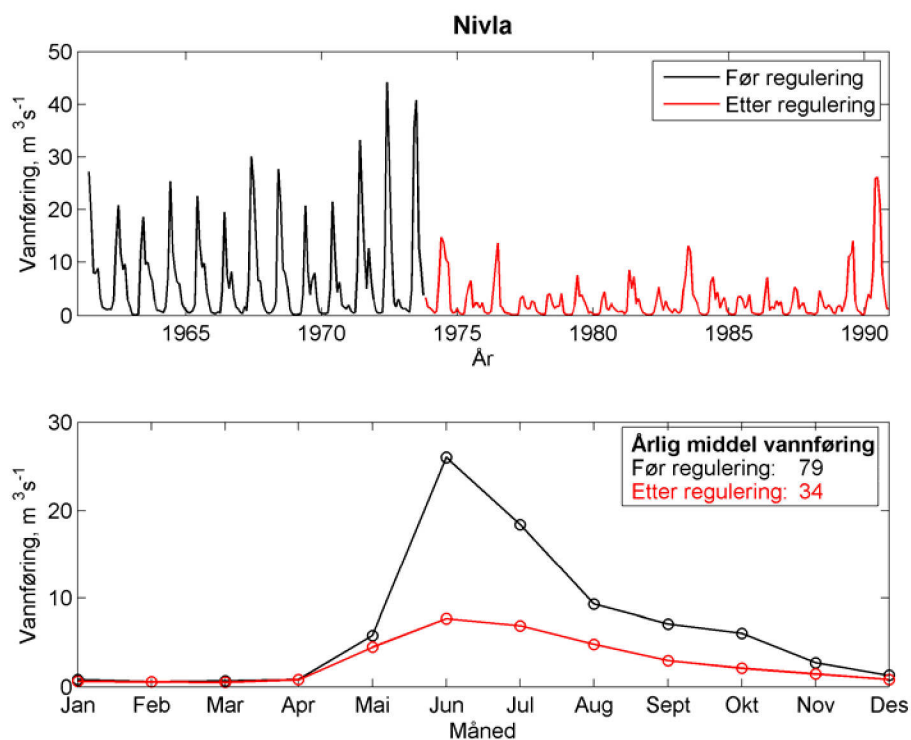
Detaljer i vannføringsmønster for de ulike målestasjonene er gitt i Figurene 4.3 til 4.6.



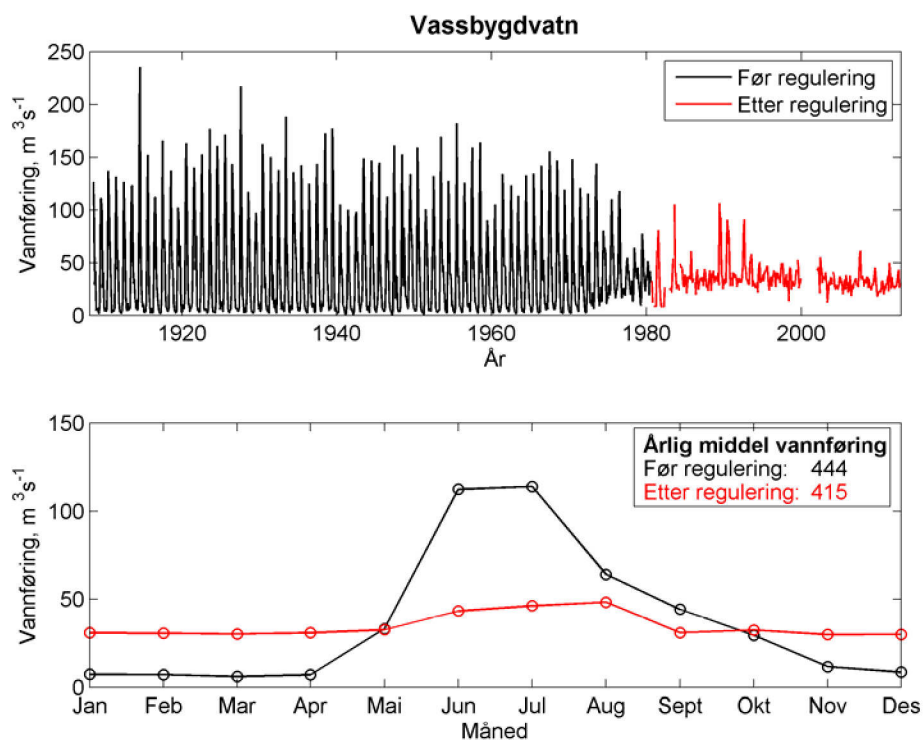
Figur 4.3. Vannføringsmønster fra Årdalsvatn før (svart) og etter (rødt) regulering (januar 1920). Øverste panel viser mellomårlig variasjon, mens nederste panel er månedsmiddel. Årlig middel vannføring er summen av månedsmidlene, og indikerer hvorvidt det er endring i den totale årlige vannføringen. I perioden fra 1970 og framover er det høyere vinter- og lavere sommer-vannføring in i den regulete perioden før 1970. Avstanden mellom svart og rød kurve i nederste panel er således større siste tiår enn i gjennomsnitt for hele perioden.



Figur 4.4. Vannføringsmønster fra Lo bru før (svart) og etter (rødt) regulering (september 1979). Paneler og fargekoder er forklart i figurteksten til Figur 4.3.



Figur 4.5. Vannføringsmønster fra Nivla før (svart) og etter (rødt) regulering (november 1973). Paneler og fargekoder er forklart i figurteksten til Figur 4.3.



Figur 4.6. Vannføringsmønster fra Vassbygdvatn før (svart) og etter (rødt) regulering (september 1980). Paneler og fargekoder er forklart i figurteksten til Figur 4.3.

En sammenligning av de fire målestasjonene viser at det er stor variasjon i hvordan vassdragsregulering påvirker vannføringsmønsteret i en elv. En av de mest omtalte endringsmekanismene i forbindelse med

kraftutbygging er endring i sesongmønster. Altså at vannføringen etter regulering øker om vinteren pga. økt kraftproduksjon, og holdes igjen på våren/sommer for å fylle magasinene. Av de fire undersøkte målestasjonene følger Årdalsvatn og Vassbygdatn dette mønsteret (høyere vannføring om vinter og mindre om sommeren). Nivla har redusert vannføring på sommeren etter regulering, men ikke økt vannføring om vinteren, og Lo bru har lignende mønster før og etter regulering. Alle målestasjonene unntatt Årdalsvatn logger lavere årlig vannføring etter regulering. Årsakene til dette er ikke klare, da vi ikke har innhentet informasjon om eventuell omlegging av elver osv.

Disse fire målestasjonene er kun ment som eksempler på hvordan ulike vassdragsutbygginger har ulik påvirkning på vannføringsmønsteret i en elv, og er ingen helhetlig analyse av enkeltvassdrag. Disse målestasjonene illustrerer at det er vanskelig å peke på generelle effekter av regulering uten et solid referansegrunnlag, og at kvantifisering av effekter på fjordøkologien fra vassdragsregulering også må inkludere *de facto* endring i vannføring.

5 Tilstandsvariabler

I denne delen har vi sett nærmere på aktuelle biologiske variabler som kan tenkes å bli påvirket av vassdragsregulering. Der hvor kunnskap er tilgjengelig eksplisitt for Sognefjorden, som for brisling, kronmaneter og mesopelagisk fisk, har dette vært vektlagt. For andre variabler har vi trukket veksler på tilsvarende systemer og relatert dette til Sognefjorden.

5.1 Marine fisk

5.1.1 Hvordan kan fisk i Sognefjorden bli påvirket av vassdragsregulering?

Sognefjorden er et område med mange fiskeslag og her følger en kort oppsummering av hva som er kjent om de viktigste kommersielle marine fiskeartene i fjorden. Fokus vil være på hvordan ferskvann og spesielt endringer i vannføring fra kraftproduksjon kan virke inn på fisk i fjorden, og vi vil i liten grad omtale laks og sjørret siden disse fiskeslagene er mye omtalt i SINTEFs Rapport *Innsamling og sammenstilling av relevant kunnskap om Sognefjorden* (Solbakken et al. 2012).

Kapittelet bygger dels på forskning utført ved Universitetet i Bergen, og dels på faglitteratur, rapporter og intervjuer med fagpersoner. Spesielt Otte Bjelland (Havforskningsinstituttet) og Torbjørn Dale (Høgskolen i Sogn og Fjordane) kom med viktige og gode innspill.

Generelle grunner til at fiskebestander varierer

Det er mange grunner til at fiskebestander varierer i størrelse, uavhengig om de er i fjorder eller hav. Dette er et tema som opptok Johan Hjort og andre pionerer innen fiskeriforskning for mer enn 100 år siden, og sannheten er nok at en fortsatt ikke fullt ut forstår hva som er den direkte årsakssammenhengen til svingninger i fiskebestandene. En viktig faktor er fiske, og det finnes mange eksempler på at et intensivt fiskeri har bidratt til at bestander kolliderer. For å vurdere hvordan endringer og variasjoner i miljøet kan virke inn på fiskebestandenes størrelse kan det være nyttig å oppsummere noen generelle fiskeribiologiske prinsipper. Disse er høyst relevante også for fisk i Sognefjorden.

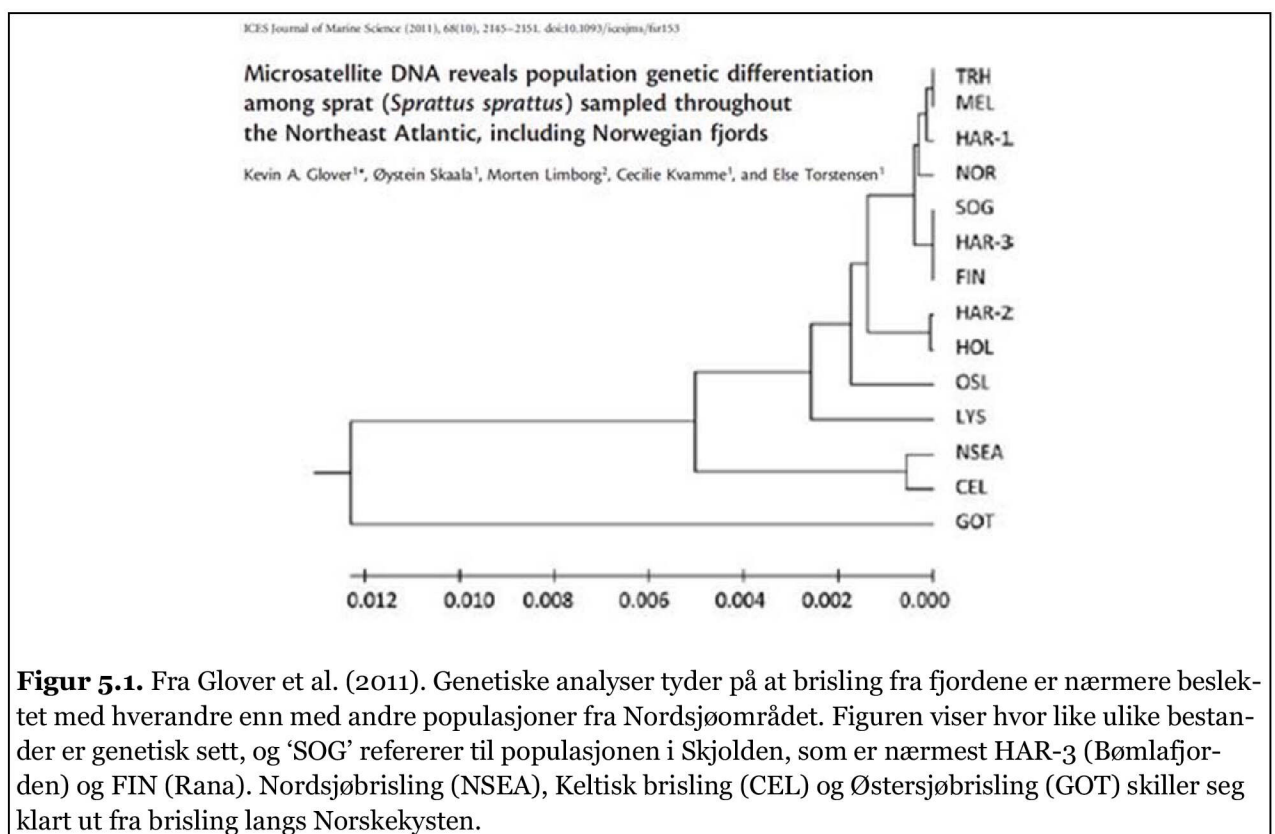
Lokale eller blanda bestander av fisk i Sognefjorden?

Et svært sentralt spørsmål for å avklare årsaker til variasjoner i mengden fisk i en fjord er om bestanden er lokal eller om individene tilhører en større bestand som vandrer rundt mellom ulike geografiske lokaliteter. Det kan også være stor innvandring eller utvandring mellom lokale bestander i tilgrensende geografiske områder. Uten å vite graden av lokal populasjonsdynamikk er det vanskelig å relatere variasjon i lokale fjordbestander til lokale miljøforhold, siden mye av bestandsvariasjonen kan være drevet av prosesser andre steder.

Det er naturligvis en stor vitenskapelig aktivitet rettet mot å finne ut hvor stor utveksling det er mellom ulike populasjoner, og genetiske metoder kan gi svar det er umulig å oppnå ved å basere seg på andre observasjoner (for sild f.eks. Ruzzante et al., 2006). Det er likevel fortsatt vanskelig å fastsette nøyaktig

hvor stor den genetiske utvekslingen er eller hvor mange individer som vandrer tilbake for å gyte på samme sted år etter år. Sild er kanskje den arten som er mest utforsket med tanke på bestandsstruktur. Allerede for mer enn 100 år siden begynte Johan Hjort og hans kollegaer i Bergen å ane at det var mulig å skille sildestammer basert på aldersavlesning av skjell og lengdemålinger (Schwach, 2000). Mange sildebestander er antatt å være lokale, det vil si at de returnerer til samme sted for å gyte hvert år, og hovedsakelig gyter som en enhet over lange perioder. Men likevel, selv om sildeeggene ligger på bunnen før de klekker så driver larvene fritt med strømmen og kan ende opp langt unna gyteplassen. Det vil ofte føre til at populasjoner blir blanda sammen, i alle fall i perioder gjennom året. Langs Vestlandskysten kommer dessuten store mengder norsk vårgytende sild (NVG-sild) hver vinter for å gyte, og larver av denne silda kan drive inn i fjordene og bli der ganske lenge. Ulike bestander av sild har i tillegg også tendens til å gyte på ulike tider av året, og i Nord-Atlanteren er det alltid en sildestamme som gyter, uansett årstid (Sinclair and Tremblay, 1984).

En relativt fersk studie på brisling antyder for eksempel at det er lite utveksling mellom fjordpopulasjoner (inkludert populasjonen i Skjolden, Sognefjorden) og ulike bestander i Nordsjøen (Figur 5.1 fra Glover et al., 2011). Samtidig ser det ut til at det ikke er lett å skille brisling fra ulike fjorder basert på genetiske markører, noe som tyder på at det kan være utveksling mellom ulike fjorder. Dette åpner muligheten for at brisling-populasjoner i Nordsjøen og i norske fjorder kan svinge uavhengig av hverandre, men at populasjonene i ulike fjorder kan være knytta sammen og samvariere. Brisling har pelagiske egg som driver fritt med strømmen, så de kan være mer påvirket av endra sirkulasjonsmønster enn sild der eggene utvikler seg på bunnen.



Dette spørsmålet om lokale eller blanda bestander gjelder også andre fiskeslag som sei, lyr og torsk. Her er det enda færre undersøkelser enn for pelagisk fisk. En fersk vitenskapelig studie av vekst, alders- og størrelsestruktur hos sei, lyr og torsk gjort med data fra Masfjorden diskuterer nettopp dette spørsmålet (Heino et al., 2012). Forskerne konkluderer med at sei gyter i åpent hav, og hovedsakelig bruker fjordene som oppvekstområde, siden de vandrer ut når de blir 3–4 år gamle. Vi vil tro at dette mønsteret også gjelder for sei i Sognefjorden. For lyr derimot, ser det ut som om den gyter i Masfjorden, og i mindre grad vandrer ut i havet. Det kan derfor godt være at lyr, i hvert fall til en viss grad, består av lokale populasjo-

ner i fjordene, og at bestandsutviklingen dermed kan være følsom for lokale miljøendringer og fisketrykk. Dette er også i samsvar med tidligere studier av merket fisk. Heino et al. (2012) skriver videre at dataene antyder at torsk består av vandrende kysttorsk (banktorsk, kanskje fra sokkelen) og en mer lokal fjordtorsk, men at denne ikke nødvendigvis er så stedbunden til en bestemt fjord. Uansett, av de tre artene ser torsk ut til å ha den mest kompliserte bestandsstrukturen.

Oppsummert så er det viktig å være klar over at dynamikken til mange fiskebestander i Sognefjorden i stor grad vil være drevet av forhold utenfor Sognefjorden. Å si noe sikkert om årsaker til variasjoner i fiskebestander er et møysommelig arbeid der man etter beste evne må undersøke og kartlegge fiskemengde, vandringsdynamikk, alders- og størrelsesstruktur, rekrutteringsvariasjon og fiskedødelighet. En viktig kilde til informasjon er imidlertid å undersøke i hvilken grad utviklingen i Sognefjorden skiller seg ut fra andre fjorder og kystområder eller om utviklingen her tilsvarende det en finner andre steder. Dette er avgjørende for å kunne vurdere om observerte endringer og dets årsaker er av lokal eller regional karakter. Videre vil informasjon om lokale gyteområder og gytetidspunkt bidra til å beregne drift og spredning av egg og larver, og om vassdragsreguleringene kan ha en innvirkning på dette.

5.1.2 Har det blitt mindre fisk i Sognefjorden?

Det er gjort lite systematisk mengdemåling av fisk i Sognefjorden, så det er ikke lett å si noe sikkert om utviklingen av bestandene over tid, eller årsakene til eventuelle endringer. Det virker likevel å være mange med nær tilknytning til sjøen og fiske i fjorden som har et inntrykk av at det er blitt mindre fisk, og i lokalavisene har det blitt uttrykt bekymring over tilstanden for fisk i fjorden. Det finnes noen få kilder til informasjon om utvikling av fiskebestandene i Sognefjorden, men det må understrekes at ingen av disse gir sikker informasjon.

Bacheloroppgave: spørreundersøkelse av fiskere

Birgitte Ødven (2009) har i sin Bacheloroppgave ved Høgskulen i Sogn og Fjordane gjennomført en spørreundersøkelse blant personer med tilknytning til Sognefjorden (yrkesfiskere, sportsfiskere, mm). Her blir de bedt om å subjektivt vurdere forekomst av blant annet en rekke fiskearter i 5-års intervaller over en periode fra 1940-2009. Oppsummert blir det rapportert at samtlige pelagiske fiskearter, i tillegg til laks og ørret, oppleves å ha minkende forekomst siden 1970-tallet. For flere viktige bunnfisk, som torsk, brei-flabb og kveite oppleves bestandene som enten uforandret eller minkende, mens forekomst av kveite, steinbit og brosme oppleves i økende grad som minkende fra 1970 og frem mot i dag. Taskekrabbe, steinkobbe, havørn, storskarv og oter oppleves i økende forekomster.

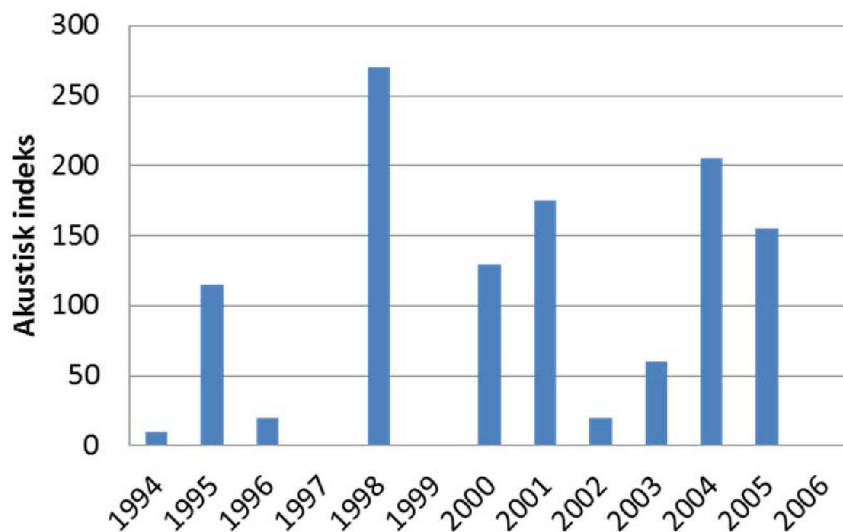
Hva som er årsaken til disse tilsynelatende endringene er ikke analysert i særlig grad. Det pekes på at flere av artene som oppleves som nedadgående, inkludert flere bunnfisk, har pelagiske egg-, larve- og/eller yngelstadier, og det spekuleres i om disse artene kan være mer sårbare for eventuelle endringer assosiert med vannkraftutbygging. En annen forklaringsmulighet er bestandsreduksjon fra fiskeri.

Hvorvidt slike spørreundersøkelser gjengir faktiske forhold er vanskelig å si, og i slike kvalitative undersøkelser er det ikke forsøkt å korrigere, eller kalibrere, resultatene i forhold til bestander med kjente endringer som f. eks. brislingbestanden. Slik kalibrering mot kjente data anbefales i evt. framtidige spørreundersøkelser når det gjelder endringer i Sognefjorden.

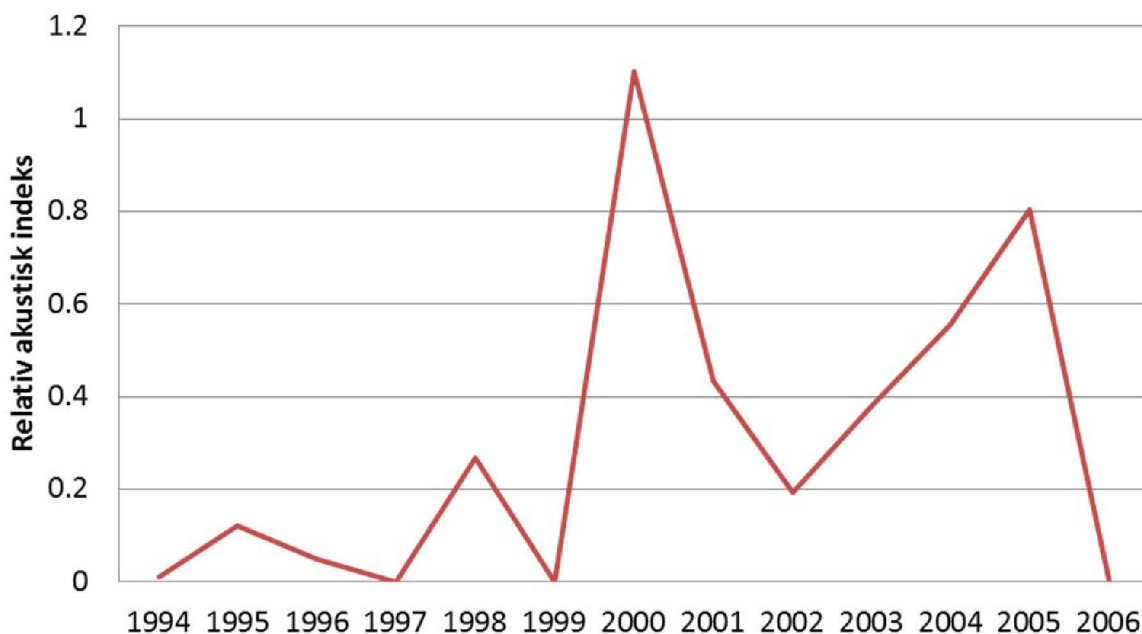
Pelagisk fisk: Sild og brisling

Utvikling av sild og brisling er undersøkt under Havforskningsinstituttet sine fjordtokt med forskningsfartøyet Håkon Mosby hvert år siden 1994. Det er ikke publisert resultater fra toktene utenom i interne toktrapporter, og bare noen av disse er tilgjengelig på nett. Vi har kontaktet Else Torstensen på Havforskningsinstituttet og fått tilgang til alle toktrapportene. Hver høst, mellom november og desember, har dette toktet vært innom i Sognefjorden og gjort akustiske målinger (ekkolodd) av brislingbestanden. Data fra dette toktet indikerer at det er store variasjoner mellom år (Figur 5.2), men at det ikke ser ut til å ha blitt mindre brisling i Sognefjorden i perioden 1994-2011 (Anon 1994-2011). Heller ikke relativt til andre fjorder har det blitt mindre brisling i Sognefjorden (Figur 5.3). Det har derimot blitt landet mindre og mindre

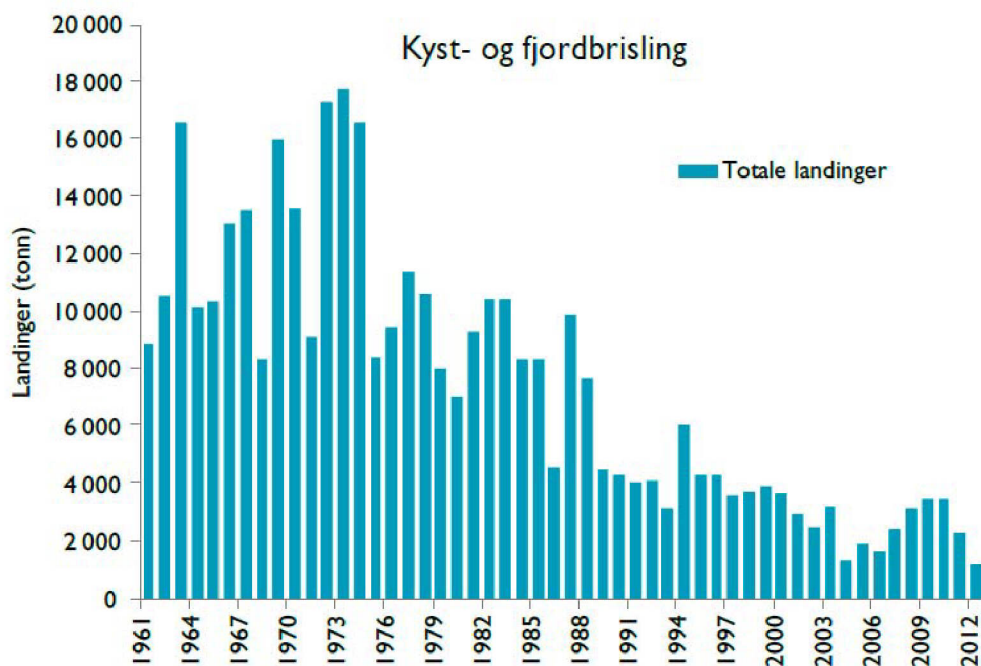
brisling over tid langs Norskekysten, med en jevn nedgang i fangstene siden tidlig på 1970-tallet (Figur 5.4).



Figur 5.2. Akustisk mengdemåling av brisling i Sognefjorden 1994-2006. Akustisk indeks er et relativt mål som indikerer variasjon mellom år. Data fra tabell 1 i Røttingen & Torstensen (2007). 'Sild- og brislingundersøkelse i fjordene høsten 2006'. Toktrapport, HI.
<http://www.imr.no/filarkiv/2007/01/Nr.16.2007.pdf/nb-no>



Figur 5.3. Har det blitt mindre brisling i Sognefjorden relativt til andre fjorder i perioden 1994-2006? Det er det ingenting som tyder på i dataene fra mengdemåling utført av Havforskningsinstituttet. Figuren viser akustisk indeks i Sognefjorden relativt til summen av akustisk indeks fra alle andre fjorder. Akustisk indeks er et relativt mål som indikerer variasjon mellom år. I år 2000 ble mer enn halvparten av alle brislingregistreringer langs kysten gjort i Sognefjorden. Andre år, som i 1999, ble det ikke registrert brisling i Sognefjorden.



Figur 5.4. Rapporterte fangster av brisling langs norskekysten. Det har vært en jevn og betydelig nedgang i landing av brisling siden 1973. Fra Havforskningsrapporten 2013, s. 137. som kan lastes ned på: http://www.imr.no/filarkiv/2013/03/havforskningsrapporten_2013_endelig_versjon_web.pdf/nb-no

Mesopelagisk fisk

Mesopelagisk fisk er små fisk som ernærer seg av dyreplankton og er kjent for å oppholde seg mellom 200 og 1000 m om dagen i alle verdenshav. Nattestid trekker store deler av bestanden opp mot overflaten. Noen arter, som laksesild og nordlig lysprikkfisk, forekommer også i store mengder i mange vestnorske fjorder og antas her å være en viktig matressurs for større fiskespisende fisk (Giske et al. 1990). Bagøien et al. (2001) fant at forekomstene av både laksesild og nordlig lysprikkfisk ble funnet å være noe lavere i Sognefjorden enn det som i samme undersøkelse ble funnet i Masfjorden og Sørfjorden (ved Osterøy). Totalmengden av mesopelagisk fisk i norske kyst- og fjordområder har vist seg å korrelere med lysmiljøet på en slik måte at fjorder med klart vann inneholder mest fisk (Aksnes et al. 2004, Sørnes og Aksnes 2006). Følgelig har det blitt antatt at økt lysabsorpsjon over tid, blant annet som følge av ferskere vann, vil føre til reduserte forekomster av mesopelagisk fisk og dermed også annen fisk. Når det gjelder Sognefjorden er det følgelig av stor interesse å se nærmere på mulige langtidsendringer i habitatet til mesopelagisk fisk i framtidige undersøkelser. Den hydrografiske stasjonen ved Sognesjøen (Fig. 4.1) er, som tidligere nevnt, en viktig proxy for å vurdere langtidsendringer i vannmassens optiske forhold.

Andre arter – basert på intervju med Otte Bjelland

Regionrådet i Sogn inviterte forsker Otte Bjelland fra Havforskningsinstituttet (HI) til å foredra om fisk og fjordøkologi i Sognefjorden våren 2013. Vi oppsummerer dette foredraget her basert på intervju med Bjelland. HI bad om innspill fra lokalbefolkningen og fikk tilbakemeldinger om nedgang for torsk, sild, brisling og at det var blitt mer småhai, makrell og hestemakrell i fjorden. Også krabbe, hummer og steinkobbe synes å ha økt i antall, ifølge tilbakemeldingene.

HI har hatt flere undersøkelser i Hardangerfjorden enn i Sognefjorden, blant annet en stor studie fra 50-tallet. Dette gir grunnlag for sammenligning av Hardangerfjorden 'før' og nå, og så kan man kanskje anta at det er store likheter mellom de to fjordsystemene. I Hardangerfjorden viser det seg at småhai, leppefisk, varmekjær fisk og krabbe øker i mengde, mens torsk og store skatearter blir færre. Spesielt storskate og svartskate virka å være helt borte fra fjorden (www.forskning.no/artikler/2013/september/368085). Bjelland tror årsaken til nedgangen i disse artene er at de blir tatt som bifangst med liner, garn og trål –

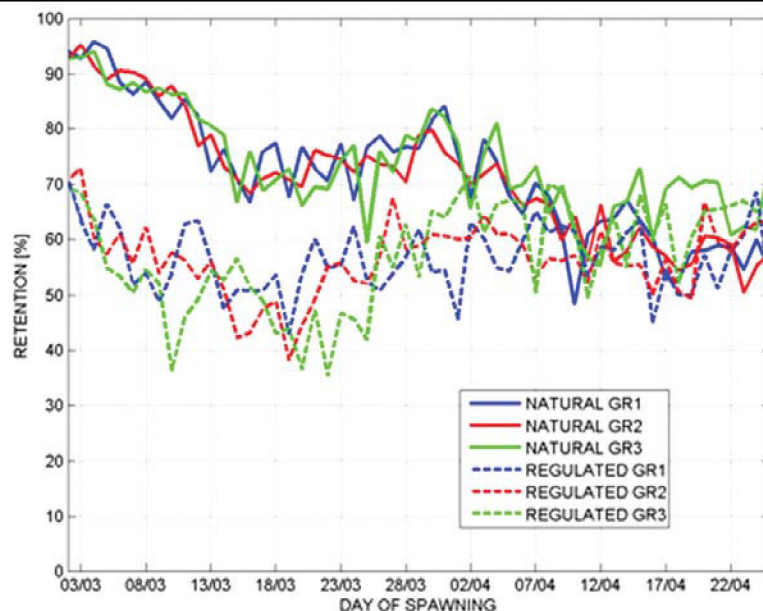
og at slike langsomt voksende arter er svært sårbare for fiskedødelighet. Prøvefisket i Hardangerfjorden gav ingen fangst av skatene på 14 000 linekrokar (24 liner) i 2009, mot at det ble tatt 8 skater på samme innsats på 1950-tallet. Det er sannsynlig at samme utvikling har skjedd i Sognefjorden, men det finnes ikke datagrunnlag for si dette sikkert.

5.1.3 Ferskvann, vassdragsregulering og fisk i fjorder

Hvilke mekanismer knytta til vannkraft kan påvirke lokale fiskebestander? Her oppsummerer vi koblinger mellom ferskvannstilførsel og fiskebestander i fjordsystem generelt og i Sognefjorden spesielt.

Estuarin sirkulasjon: en utfordring for fisk med lokal gyting

Egg og larver kan muligens få redusert overlevelse eller bunnslå andre steder enn der de blir gytt dersom de blir transportert ut av en fjord. I så fall er det sannsynlig at både gytetidspunkt, gyteplass og eggenes tetthet er tilpasset det lokale sirkulasjonsmønsteret for å unngå at egg og larver blir vaska ut av fjorden (Knutsen et al. 2007). Dette fenomenet har ikke eksplisitt blitt observert i Sognefjorden, men i Trondheimsfjorden er det observert en sammenheng mellom store ferskvannsutslipp (fra regulering) om vinteren, og bestandsstørrelse av raudåte i fjorden (Strömngren 1976). Mekanismen antas å være at tidlige livsstadier skylls ut av fjorden på et tidspunkt hvor naturlig ferskvannstilførsel normalt er liten. Denne effekten er svært avhengig av vindmønstre og topografiske forhold rundt fjorden. I Skjomen var det observert sterk vind ut av fjorden gjennom hele vinteren, og effekten av regulering var ikke observerbar (Svendsen 1983). For fiskelarver var det observert en sammenheng mellom rekruttering av Nordøstarktisk torsk og størrelsen på vårflommen gyteområdene rundt Lofoten (Skreslet 1976). Mekanismene derimot var uklare, og en rekke andre variabler som mattilgang og vindstyrke viste også tilsvarende sammenhenger med rekruttering. Tilsvarende ble observert i St. Lawrence-gulven i Canada (Sinclair et al., 1986). I nyere tid er det gjort forsøk på å nøste opp i de bakenforliggende mekanismene til disse observerte sammenhengene ved bruk av et modellsystem som kobler hydrografi i fjorden, avrenning og sporing av virtuelle egg fra kysttorsk på lokale gytebanker (Myksvoll et al. 2013). I et modelloppsett som kun tillater naturlig ferskvannstilførsel observeres det betydelig høyere grad av retensjon av torskeegg i fjorden sammenlignet med oppsett hvor det tillates økt vannføring om vinteren fra regulerte vassdrag. I et regulert senario med høy vannføring om vinteren blir torskeeggene i langt større grad skylt ut av fjorden (Figur 5.5).



Figur 5.5. Fra et modellstudie av Myksvoll et al. (2013). Andel torskeegg som befinner seg innenfor 25 km fra gyteområdet i tiden etter gyting for situasjoner med regulerte vassdrag (sterk vinteravrenning) i stiplet linje, og naturlig avrenning (lav vinteravrenning) i heltrukket linje. Linjene representerer et middel for flere fjordarmer (Sørfolda, Nordfolda og Vestfolda) i tilknytning til Vestfjorden i Nordland.

5.2 Kronemaneten *Periphylla periphylla*

5.2.1 Masseforekomster, naturlig eller menneskeskapt?

Masseforekomster av maneter og redusert mengde fisk er et fenomen med økende oppmerksomhet globalt (Purcell 2012). For noen områder langs norskekysten har vedvarende masseforekomster av kronemanet og/eller reduserte mengder fisk blitt sett i sammenheng med variasjoner i optiske egenskaper (Eiane et al. 1999, Aksnes et al. 2004) samt en mulig formørkning av kystvannet de siste 70 årene (Aksnes et al. 2009). De høyeste individtetthetene (100 – 300 individer m⁻²) av kronemanet har blitt observert i Sognefjorden (Sørnes et al. 2007). Men siden denne forekomsten består nesten utelukkende av svært unge og dermed små individer (< 1 cm) er den lite kjent, og så langt vi vet har ikke kronemaneten skapt problemer for fiskere i Sognefjorden (slik den har gjort andre steder langs kysten). De unge kronemanet individene synes å være avhengig av svært mørkt vann og i Sognefjorden var midlere oppholdsdyp da også svært dypt, nær 1000 m (Sørnes et al. 2007). Masseforekomsten i Sognefjorden ble beskrevet for 100 år siden (Broch 1913). Således kan denne masseforekomsten av små, yngre individer ikke tilskrives miljøendringer i senere tiår.

5.2.2 Forskjell mellom fjorder

Forekomstene i fjorder som Lurefjorden, Halsafjorden og Trondheimsfjorden står i sterk kontrast til forekomsten i Sognefjorden. Disse forekomstene er karakterisert med lavere individantall, men her dominerer store adulte individer (> 10 cm). Disse står grunnere enn de yngre individene og vinterstid kan de komme i store mengder helt opp i overflaten nattetid. Det er etter hvert mange rapporter langs kysten om at kronemaneten skaper problemer i forhold til fiske. Det synes som om forekomsten av kronemanet langs kysten er økende, men det mangler systematiske undersøkelser som dokumenterer dette. Noen sporadiske (upubliserte) undersøkelser i Hardangerfjorden i senere år kan tyde på en økende bestand av større individer også her.

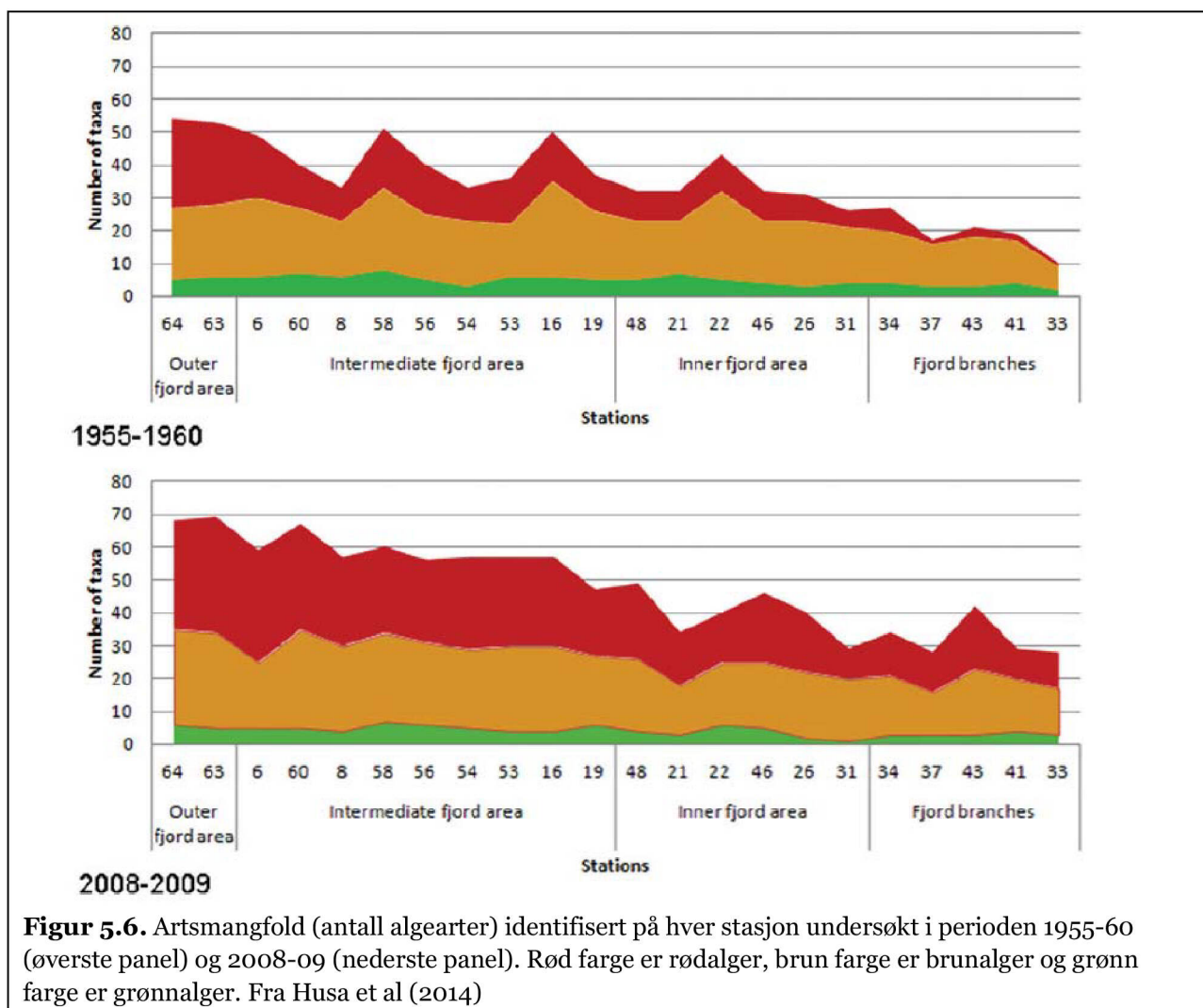
5.2.3 Mørkere kystvann

Kronemaneten er klassifisert som en relativt lyssky dypvanns-/mesopelagisk manet og hypoteser fremlagt av Sørnes et al. (2007) og Dupont og Aksnes (2010) tilsier at forekomstene i dype (> 200 m) kystområder som ligger innenfor relativt grunne terskler (10-100 m) kan øke i takt med at kystvannet blir mørkere (Aksnes et al. 2009, Dupont and Aksnes 2013). Når det gjelder Sognefjorden, som har en dyp terskel, forventes ikke en slik økning i selve hovedfjorden (Dupont og Aksnes 2010), men enkelte fjordarmer kan med en mørkere vannmasse bli mer egnet habitat for kronemaneten. På den annen side er Sognefjorden såpass dyp at den gir et naturlig mørkt dypvannshabitat for kronemaneten. De yngre individene synes å akkumulere i det mørke bassengvannet og holder seg der. Det antas at etter hvert som de blir større, og oppsøker dybder som er grunnere enn terskeldypet (særlig nattetid), blir de eksponert for transportprosessene i mellomlaget og transportert ut av fjorden (Dupont og Aksnes 2010). I og med at Sognefjorden har en stor bestand av kronemaneter bør framtidige analyser av økosystemet i Sognefjorden inkludere kronemaneten og mulig endringer i bestanden og dens habitat.

5.3 Fjæresonen

Fjæresonen og tang og tarebeltet i fjorder er påvirket av ferskvannstilførsel først og fremst gjennom det osmotiske stresset som følger med lav saltholdighet i vannet. Derfor er det typisk færre arter av både alger og dyr i fjæresonen dess lenger innover i fjordene en kommer. For mange arter er utbredelsesområdet begrenset av det mest krevende miljøet de møter gjennom en sesongsyklus, selv om det kanskje bare varer en kort tid. Det er grunn til å tro at en reduksjon av vårfloppen som følge av vassdragsregulering vil redusere den mest ekstreme ferskvannseksponeringen i fjæresona. Det kan føre til at flere arter overlever lenger innover i fjordsystemet. Dette var også et funn som ble gjort i Hardangerfjordundersøkelsene, der det nå (2008-2009) faktisk er større artsdiversitet inne i fjorden enn det var på 1950-tallet, før de store vannkraftutbyggingene (Husa et al. 2014, se Figur 5.6). Noe av økningen i diversitet kan også komme av at det har vært noe høyere temperatur i fjorden de siste 10 årene, slik at varmekjære arter har fått fotfeste.

Den samme mekanismen vil sannsynligvis også gjelde for fauna i fjæresonen, men dette er ikke undersøkt.



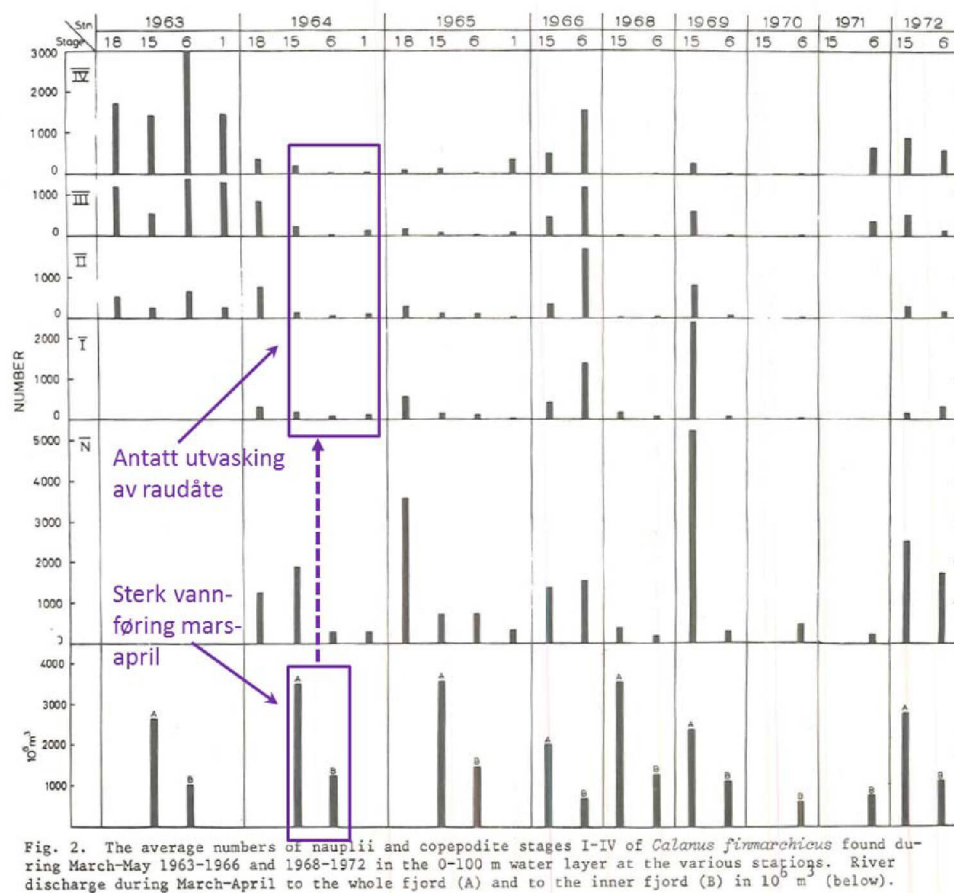
5.4 Dyreplankton

Plankton er definert som små organismer (alger, protozoer og dyreplankton) som har til felles at de oppholder seg i de frie vannmassene og har liten eller ingen påvirkning på sin horisontale posisjon. Både i fjordene, langs kysten og i de utenforliggende havområdene regnes dyreplankton som en sentral næringskilde for fiskebestandene (Skjoldal 2004). I norske farvann er det raudåten (*Calanus finmarchicus*) som utgjør den største biomassen av dyreplankton. Den har en livssyklus som innebærer et overvintringsstadium i voksen kjønnsmoden alder, med påfølgende gyting på våren (synkronisert med våroppblomstringen). For fiskelarver og -yngel er eggene og nauplielarvene til raudåten viktige næringskilder. Raudåten har sine viktigste overvintringsområder på dypt vann i Norskehavet og til dels i Norskerenna, men det er også betydelig overvintring i fjordbassengene (Bagøien et al. 2001).

5.4.1 Effekter av regulering

I hvilken grad endret vannføring som følge av vassdragsregulering vil påvirke dyreplankton er et spørsmål som strekker seg 40 år tilbake. I Norge ble dette første gang undersøkt i forbindelse med utbyggingen av Skjoma-vassdraget (Strömgren 1974), og seinere i Trondheimsfjorden (Strömgren 1976). I Trondheimsfjorden fant man en signifikant negativ sammenheng mellom størrelsen på vannføringen i mars-april og antall raudåte i fjorden. Kraftig vannføring tidlig på våren (mars-april, da det normalt er lav vannføring)

som følge av regulering var antatt å generere en relativt sterk overflatestrøm ut av fjorden. De tidligste livsstadiene til raudåten oppholder seg høyt oppe i vannsøylen, og Strömrgren antok at disse så ble vasket ut av fjorden (Figur 5.2)



Figur 5.2. Sammenheng mellom sterk vannføring i mars-april og antall raudåte som finnes i Trondheimsfjorden. Modifisert fra Strömrgren (1976)

Tilsvarende observasjoner for planteplankton ble også gjort i sammenheng med før- og etterundersøkelsen i forbindelse med Skjomen-utbyggingen, men fordi det der også var sterke vinder ut fjorden, var den spesifikke effekten av regulering vanskelig å kvantifisere (Eilertsen 1983; Svendsen 1983). Effekten av den økte vannføringen tidlig på våren er derfor antatt å variere fra fjord til fjord, og vil være svært avhengig av den dominerende vindretningen om vinteren og våren (Kaartvedt 1984). En undersøkelse i Masfjorden har vist at de aller største utskiftingene av marint dyreplankton (som raudåte) først og fremst skjer i mellomlaget og ikke i brakkevannslaget (Aksnes et al. 1989), og det er sannsynlig at dette også gjelder for Sognefjorden som har en svært dyp terskel og et stort mellomlag med omfattende transportprosesser.

5.4.2 Eksperimentelle undersøkelser

I en serie undersøkelser i forbindelse med et eksperimentelt ferskvannsutslipp fra Hylen kraftverk i Hylsfjorden i 1988, publisert tidlig på 1990-tallet, ble det gjort flere interessante observasjoner av effekter av vassdragsregulering på dyreplankton. Også her ble det observert utvasking (som følge av ferskvannsutslipp) av organismer som oppholder seg i de øverste vannmasene. Et illustrativt eksempel er den brakkevannsorienterte kopepoden *Eurytemora affinis* som ble vasket ut av Hylsfjorden i forbindelse med et kontrollert ferskvannsutslipp fra Hylen kraftverk (Kaartvedt og Nordby 1992, Figur 5.3). Denne og de øvrige studiene i denne serien er omtalt nærmere i kap. 3.3.

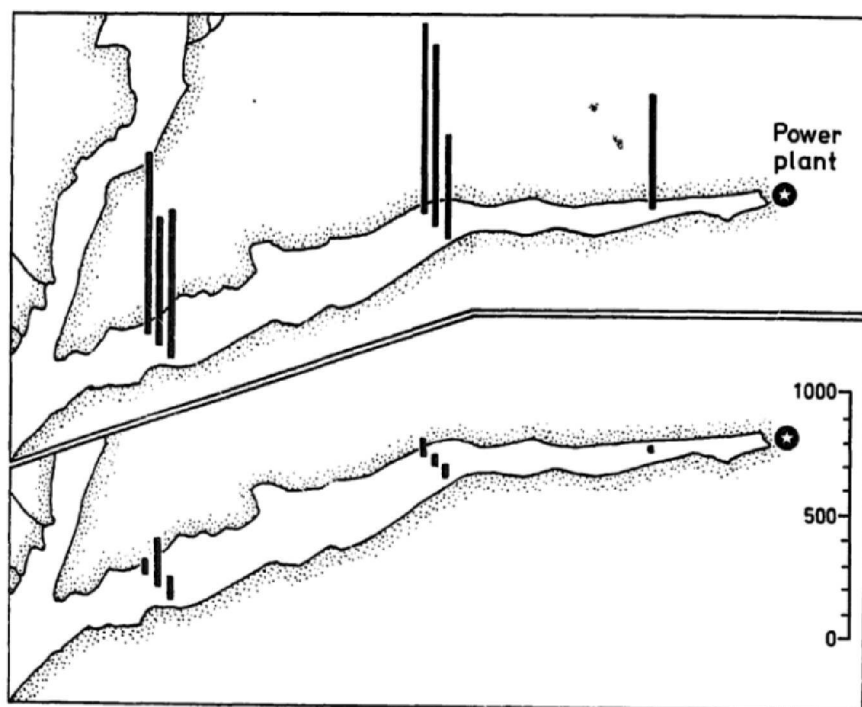


Fig. 3. Horizontal distribution (individuals·m⁻²) of the brackish water copepod *Eurytemora affinis* before (upper panel) and during discharge (lower panel). Histograms represent averages of day and night samples.

Figur 5.3. Den horisontale fordelingen av den brakvannsorienterte kopepoden *E. affinis* før (øverste panel) og etter (nederste panel) et kontrollert utslipp fra Hylen kraftverk. Fra Kaartvedt og Nordby (1992).

5.5 Hydrografi og biologi knyttet til kunstig oppvelling

5.5.1 Næringsfattig overflatelag

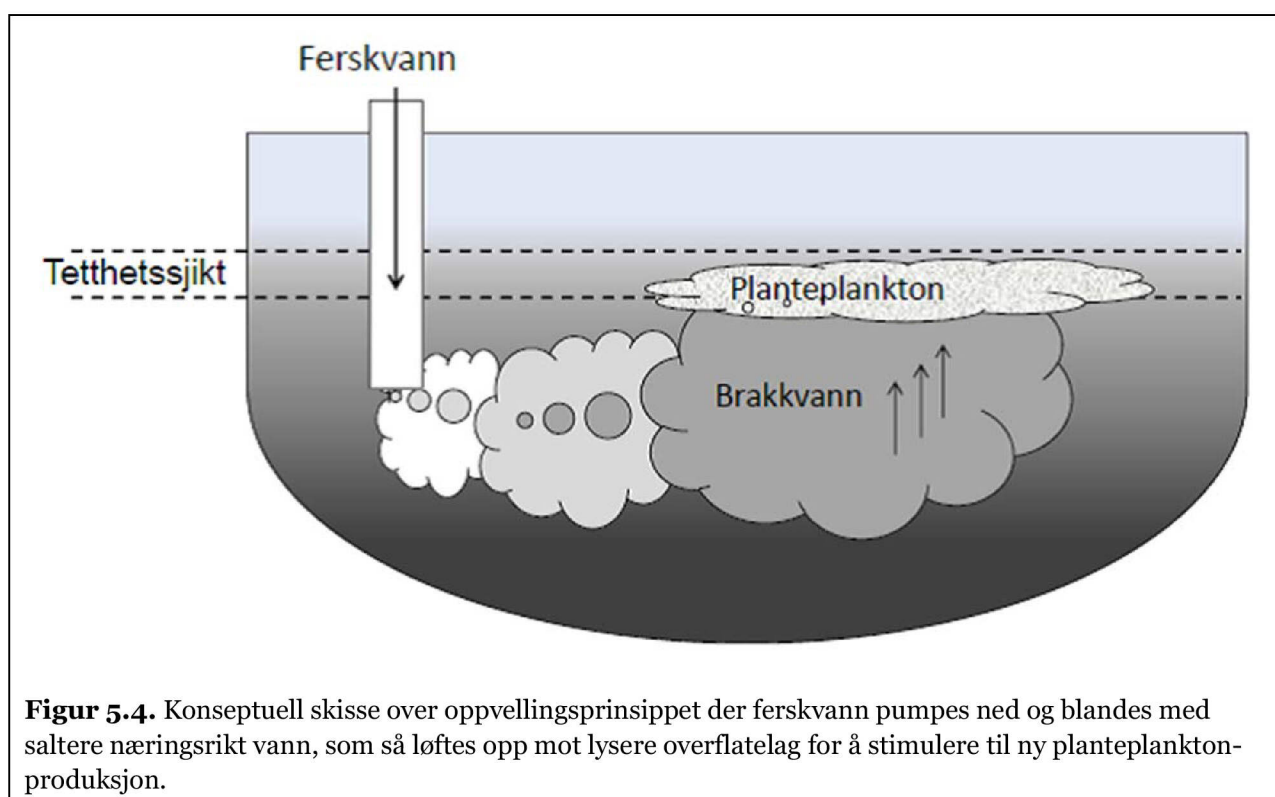
Norske fjorder er generelt karakterisert ved lave konsentrasjoner av partikulært materiale og klorofyll *a* (Erga 1989; Strohmeier et al. 2008). Primærproduksjonen har vanligvis en markert våroppblomstring etterfulgt av en lavere og variabel sommerproduksjon som kan utgjøre så lite som en tredjedel av våroppblomstringen (Erga et al. 2005). Den begrensede sommerproduksjonen skyldes vertikale lagdelinger som følge av ferskvannstilførsel, som i kombinasjon med overflateoppvarming og rolige vindforhold begrenser vertikal innblanding av næringssalter til den eufotiske sonen (Aure et al. 1996; Asplin et al. 1999). Vertikal fluks av næringssalter er generelt sett viktigere for primærproduksjonen enn næringssalttilførselen fra ferskvann og innsig av mellomlagsvann fra ytre områder i fjorden (Aksnes et al. 1989). Det brakke næringsfattige overflatelaget som etableres om sommeren favoriserer planktonalger tilhørende gruppen dinoflagellater (Gentien et al. 2005) som bl.a. innbefatter giftige alger. Når giftalgeoppblomstringer forekommer i fjorden akkumuleres algegiftene i filtrerende organismer som blåskjell, og spesielt ved dårlige vekstforhold kan det gå lange perioder før skjellene blir giftfrie igjen. Dette problemet forsterkes i forbindelse med skjellopddrett fordi store tettheter av skjell bidrar ytterligere til uttømming av næringsstoffer i og rundt anleggene (Strohmeier et al. 2008). Giftige alger kan også representere problemer for andre oppdrettsformer (se for eksempel kap. 3.3).

5.5.2 Dykket utslipp fra Lysebotn kraftstasjon

De fysiske og geografiske rammebetingelsene i fjordene er i utgangspunktet gunstige for oppdrett, men utfordringene knyttet til vannkvalitet, giftalger og moderat biologisk produksjon må løses før ekstensive oppdrettsformer kan drives på en økonomisk og økologisk forsvarlig måte. Ett av tiltakene som har vært

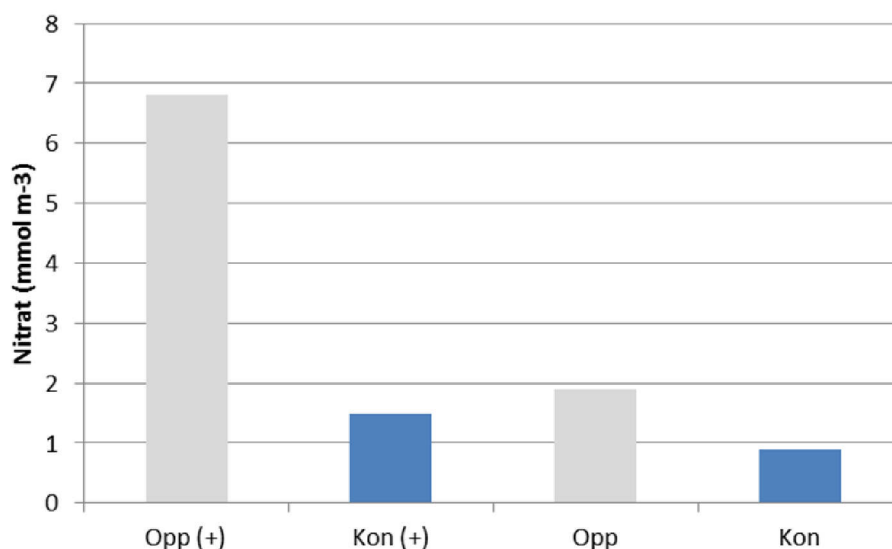
foreslått er å gjødsle overflatelaget i fjordene ved å pumpe opp næringsrikt dypvann til de lysrike overflatelagene for å stimulere mer og jevnere (over tid) primærproduksjon gjennom vekstsesongen.

Med utgangspunkt i observerte og modellerte effekter av slik kunstig oppvelling (Aure et al. 2000; Berntsen et al. 2002; McClimans et al. 2002) på hydrografi, næringssalter og primærproduksjon initierte Havforskningsinstituttet et forskningsprosjekt på effekter av kunstig oppvelling i Lysefjorden (Rogaland) i 2002, som har pågått frem til i dag. De første prosjektperiodene fokuserte mest på effekter på hydrografi, næringssalter og planteplanktonproduksjon (Aure et al. 2007), mens senere studier har analysert effekter på vekst hos blåskjell og avgiftning av gift fra giftalger i blåskjell. Lysefjordprosjektene har vært organisert rundt en oppvellingsfasilitet ved Lysebotn kraftstasjon, som ligger i det indre bassenget i Lysefjorden. I årene 2004-2010 bestod oppvellingsfasiliteten av en pumpestasjon som pumpet næringsrikt vann fra under pyknoklinen (tetthetssjiktet i vannsøylen) til overflaten. I 2010 ble pumpestasjonen erstattet av en rørinstallasjon, som ved hjelp av vannets fallenergi (gravitasjonskrefter) leder overskuddsvannet fra kraftverket ned under sprangsjiktet. Ferskvannet blander seg med næringsrikt fjordvann, som på grunn av lavere tetthet drives oppover mot det belyste overflatelaget og stimulerer til mer primærproduksjon (Figur 5.4).



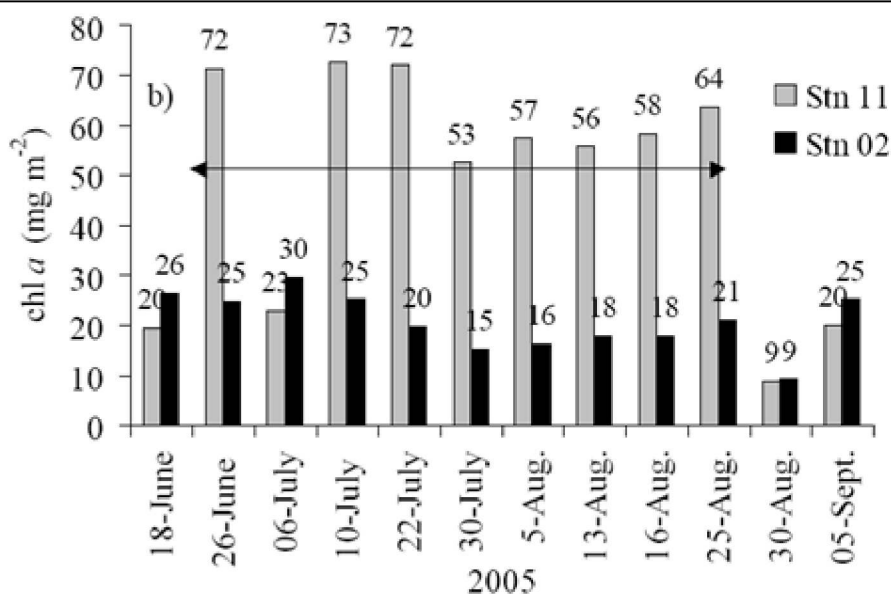
5.5.3 Kunstig oppvelling gir økt primærproduksjon

Resultatene fra Lysefjordprosjektene viser at kunstig oppvelling av næringssalter fra dypere vannlag har markerte effekter på næringssaltkonsentrasjonene i overflatelaget. En sammenstilling av resultatene fra årene 2002-2010 (Figur 5.5) viser at næringssaltkonsentrasjonene i overflatelaget var 2-4 ganger høyere i periodene med kunstig oppvelling i forhold til perioder uten.



Figur 5.5. Gjennomsnittlig nitratkonsentrasjoner i årene 2002-2011 ved oppvellingsstasjonen (Opp) og kontrollstasjonen (Kon) utenfor påvirkningen av oppvellingen. Figuren viser store forskjeller mellom de to stasjonene i perioder når oppvellingsfasiliteten er i drift, markert med '+', men ikke når den ikke er i drift. Figuren er basert på upubliserte data fra Jan Aure, Havforskningsinstituttet, Bergen.

De samme forsøkene demonstrerte også klare responser i planteplanktonet (Figur 5.6), som målte 2-3 ganger høyere konsentrasjoner (målt via klorofyll *a* pigmenter) i oppvellingssonen sammenlignet med referansestasjoner lenger ute i Lysefjorden (Aure et al. 2007). Forsøkene viste også markerte endringer i klorofyll *a* konsentrasjoner i oppvellingssonen før, under og etter oppstart av pumpene (Aure et al. 2007), som indikerer at forskjellen mellom oppvellings- og referansestasjonen skyldes kunstig oppvelling og ikke forskjeller i bakgrunnsverdiene mellom stasjonene.



Figur 5.6. Planteplankton biomasse (målt som klorofyll *a*) før, under og etter et oppvellingforsøk. De grå stolpene viser planktonalger ved oppvellingsstasjonen (Stn 11) og de sorte stolpene ved kontrollstasjonen (Stn 02). Den horisontale pilen angir perioden oppvellingssforsøket pågikk. Figur hentet fra Aure et al. (2007).

Områdene som påvirkes av den kunstige oppvellingen dekker omtrent 10 kvadratkilometer av det indre fjordområdet i Lysefjorden (Aure et al. 2007), men området som påvirkes kan utvides ved å øke tilførselen av neddykket ferskvann fra kraftverket.

5.5.4 Effekter på sekundærproduksjon

Nyere forskningsprosjekter i Lysefjorden har studert effekter av oppvelling på både produksjon og sammensetningen av planktonalger, samt hvordan dette påvirker vekst og kvalitet på blåskjell. Resultatene fra disse prosjektene er fortsatt under utarbeidelse, men foreløpige resultater støtter tidligere funn i det at planteplanktonproduksjonen øker i oppvellingssonen. De siste forsøksårene (2010-2011) viser imidlertid større variabilitet i produksjonen og mindre forskjeller mellom oppvellings- og referanseområdene. Årsaken til dette skyldes sannsynligvis kraftige naturlige oppvellingssoner langs norskekysten i 2010, som overstyrte effekten av den kunstige oppvellingen i Lysefjorden, og ustabiliteter i ferskvannstilførselen i oppvellingssystemet i 2011. Når det gjelder sammensetningen av planteplanktongrupper var det klart høyere forekomster av diatomeer i oppvellingssonen i 2010, men det er usikkert om dette skyldes naturlig eller kunstig oppvelling. Forskjellene i planktonalgegruppene var mindre i 2011, og det var heller ingen klar effekt av kunstig oppvelling på forekomsten av giftige alger.

Blåskjell som var plassert i og utenfor influensområdet for oppvellingen viste små forskjeller med hensyn til vekst i skallengde og kjøttvekt over hele forsøksperioden, men skjellene i oppvellingssonen hadde større massetap i forbindelse med gyting og raskere gjenvækst etter gyting enn skjellene på referansestasjonen. Dette kan tolkes som at høyere planteplanktonkonsentrasjonene i oppvellingssonen ble kanalisert til reproduksjon hos skjellene i stedet for somatisk vekst.

5.5.5 Konklusjon

Lysefjorden er representativ for andre vestnorske fjordsystemer, og resultatene fra Lysefjordeksperimentene burde derfor ha god overføringsverdi for andre tilsvarende fjordsystemer som f.eks. Sognefjorden med sine lange og smale fjordarmer. Det er også etablert et dykket utslipp i forbindelse med kraftstasjonen i Gaupne ved Lustrafjorden. Effektene av dette dykkede utslippet ble analysert ved simuleringsmodellen SINMOD (Ellingsen et al. 2006) som en del av DETOX prosjektet (2001-2003). Hensikten med arbeidet var å simulere hvordan det dykkede utslippet påvirket planktonvekst og sammensetningen av planktonalger. Tilsvarende som for Lysefjorden viste simuleringene bedret vekst av planktonalger og økte mengder kiselalger (Ellingsen et al. 2006), men de viste også at leirpartikler i vannmassene hadde betydning for utfallet.

6 Forslag til fremtidige undersøkelser

Endringer i kystvannet - hvilke konsekvenser har det for Vestlandsregionen? Et viktig poeng i denne rapporten er at fjordene på Vestlandet er sterkt påvirket av kystvannet, den vannmassen som fyller mye av fjordene og som flyter nordover langs Norskekysten, og som har med seg akkumulerte egenskaper fra områder sør for Sognefjorden, blant annet Østersjøen, Nordsjøen og norske kystområder sør for Sognefjorden. Slike egenskaper er næringssalter, organisk materiale, bakterier, patogener, parasitter, fiskeegg, larver og annet som driver fritt i vannmassene. Kystvannet har endret seg når det gjelder saltholdighet, temperatur og optiske forhold, men endringene er neppe begrenset til disse. Økosystemkonsekvenser av slike endringer vil ikke være begrenset til enkeltfjorder som Sognefjorden, men vil virke inn på vestlandsregionen som sådan. Følgelig er kystvannsendringer et tema som krever oppmerksomhet som går ut over den enkelte fjord. Vi foreslår at det tas initiativ til et forskningsprogram i retning av «Hva betyr langtidsendringer i det norske kystvannet for vestnorske fjorder og kyststrøk». Dette er et spørsmål som vestlandsregionen burde samarbeide om og rette felles innsats mot. Det bør også være tema for nasjonale myndigheter å undersøke hva kystvannsendringer betyr for kystmiljøet. Nyere studier (Larsen et al. 2011)

konkluderer med at klimaendringene vil gi en betydelig økning i tilførsler av terrestriske humusstoffer til kystvannet som må antas å ville ha store konsekvenser for lysforholdene i kystvannet.

Gjennomføring av referansestudier. Som vi har sett i Hardangerfjorden så er referansestudiene som ble gjort der på 1950-tallet svært verdifulle og nyttige i dag fordi de tillater en å si noe om hvilke endringer som har funnet sted i økosystemet i dette tidsrommet. En lignende studie vil være nyttig å gjennomføre i Sognefjorden med tanke på fremtidige behov for å registrere eventuelle endringer eller virkninger av økt bruk og belastning av fjorden eller endringer i klima, kystvann eller forurensning av ulike slag. Dersom store inngrep eller uventede hendelser finner sted vil man i så fall ha en god referanse til å si om økosystemet har blitt påvirket eller ikke. Med mulig unntak av hydrografiske forhold har man dette i liten grad for Sognefjorden i dag. Tatt i betraktning den store verdien norske fjorder og kyststrøk har for næringsutfoldelse og rekreasjon i nåtid og fremtid burde det etableres et nasjonalt økosystem overvåkningsprogram for disse områdene.

Oppdrag Sognefjorden. Biodiversitetsgruppa ved Institutt for biologi, UiB, har fått støtte fra Artsdatabanken til et nytt prosjekt (*Species inventory and nature type mapping of Sognefjorden*) for å kartlegge fauna i Sognefjorden, med fokus på fjordbunnen. Det er sannsynlig at dette vil vise frem nye og ukjente sider ved fjorden i og med at de skal filme med ROV (fjernstyrt undervannsfarkost). For mer informasjon om dette prosjektet se linkene:

<https://www.uib.no/rg/mb/nyheter/2013/11/bio-researchers-go-exploring>

<http://www.uib.no/rg/mb/nyheter/2011/11/field-mission-to-sognefjorden-2011>

Verdifull informasjon fra faste stasjoner langs kysten. Det har blitt samlet inn store mengder data på hydrografiske stasjoner langs Norskekysten, og de går langt tilbake i tid, helt til 1935. Dette er data som tar pulsen på kystvannet og kan fungere som referanse i forhold til langtidsendringer i kyststrømmen og dermed miljøet i fjordene. Det er viktig at disse blir grundig analysert og at innsamlingen av dataene blir videreført med tanke på å registrere endringer over tid. Dette er data som også er viktige for framtidig modellutvikling – og for validering av modeller mod disse dataene.

Data om ferskvannstilførsel til fjordene før og etter utbygging er tilgjengelig fra NVE, og dette er et unikt råmateriale om man vil forsøke å forstå hvordan reguleringer endrer sirkulasjon, algeproduksjon og transport av egg og larver i fjorden. Vi har illustrert noen eksempler på de dataene her, men det finnes mange flere målinger. Dataene er sentrale drivere dersom man ønsker å simulere fjordsystemene med koblede modeller som gir både fysikk, kjemi og algeproduksjon. Med dagens modellverktøy bør det være mulig å si noe om lokale virkninger av vannkraftregulering. Med de unike lange tidsseriene for ferskvannstilførsel som finnes for mange norske fjorder kan man også å lage historiske simuleringer av hvordan produksjonen var før – inkludert mellomårlig variasjon drevet av nedbør, regulering og flytting av ferskvannstilførsel mellom fjorder. Man kan også utvikle scenarier der man kan simulere virkningen av en planlagt regulering eller forflytting av vann mellom fjorder, for slik å få et verktøy til å forstå og forutsi virkninger før en fatter vedtak om vassdragsregulering. Mange forskningsmiljø i Norge har god kompetanse på utvikling av slike modeller, og de har i dag god oppløsning og kan gi nokså presise prediksjoner av sirkulasjon og primærproduksjon. En faktor som må til for å simulere algevekst er næringssaltinnholdet i ferskvannet gjennom sesongen, og vi vil foreslå at det blir gjort en del målinger av nitrogen, silikat og fosfatinnhold i utløpsvannet til elver og kraftstasjoner med tanke på dette.

Fisk og maneter. Kronemanetene har dukka opp og nesten overtatt fullstendig i enkelte fjorder med grunne terskler, men synes også å øke i andre områder. Det kan være verdt å holde øye med utviklingen av manetforekomstene over tid, fordi en økning i manetene kan være en indikasjon på mørkere vann og ugunstige forhold for fisk. Overvåkning av fiskebestandene over tid er krevende, men det burde være mulig å foreta kartlegging etter samme mal som for Hardangerfjorden, der det kom klart fram at en del arter av skate så ut til å ha forsvunnet fra fjorden.

Dyrking av blåskjell og sekkedyr med dykking av ferskvannsutslipp vil kunne bli en effektiv metode å høste menneskemat på lave trofiske nivå. Rent økologisk er det mange attraktive sider ved denne produksjonen, som at den gir mye protein per areal og krever lite energi. Nylig har også sekkedyr blitt foreslått som en mulig organisme for å høste store mengder protein ut av havet, så her kan det bli nye muligheter. Men det gjenstår selvsagt å se hvor lønnsomt dette kan bli.

7 Referanseliste

- Aksnes DL (2007) Evidence for visual constraints on large marine fish stocks. *Limnology and Oceanography* 52:198-203
- Aksnes DL, Aure J, Kaartvedt S, Magnesen T, Richard J (1989) Significance of advection for the carrying capacities of fjord populations. *Marine Ecology Progress Series* 50:263-274
- Aksnes DL, Nejstgaard J, Sædberg E, Sørnes T (2004) Optical control of fish and zooplankton populations. *Limnology & Oceanography* 49:233-238
- Aksnes DL, Dupont N, Staby A, Fiksen O, Kaartvedt S, Aure J (2009) Coastal water darkening and implications for mesopelagic regime shifts in Norwegian fjords. *Marine Ecology-Progress Series* 387:39-49
- Albretsen J, Aure J, Sætre R, Danielssen DS (2011) Climatic variability in the Skagerrak and coastal waters of Norway. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*
- Andreassen L, Asvall RP (1985) Vassdragsreguleringers innvirkning på fjorder : foredrag ved seminaret i Haugesund, 17.-20. september 1984, Vol 19. Komiteen, Oslo
- Anon (1994-2008) Sild- og brislingundersøkelser i fjordene. Havforskningsinstituttets toktrapper
- Anon (2009) Vurdering av tiltak mot bortfall av sukkertare. KLIF rapport TA 2585:1-101
- Asplin L, Johnsen IA, Sandvik AD, Albretsen J, Sundfjord V, Aure J, Boxaspen KK (2014) Dispersion of salmon lice in the Hardangerfjord. *Marine Biology Research* 10:216-225
- Asplin L, Larsen A (1999) Effektregering : ferskvannsblanding i fjorder og algevekst, Vol nr 9. Statkraft Engineering, Høvik
- Aure J, Erga S, Asplin L (2000) Increased biological production in fjords by artificial upwelling. *Fisken og Havet* 11:30
- Aure J, Molvær J, Stigebrandt A (1996) Observations of inshore water exchange forced by a fluctuating offshore density field. *Marine Pollution Bulletin* 33:112-119
- Aure J, Strand Ø, Erga S, Strohmeier T (2007) Primary production enhancement by artificial upwelling in a western Norwegian fjord. *Marine Ecology Progress Series* 352:39-52
- Bagøien E, Kaartvedt S, Aksnes DL, Eiane K (2001) Vertical distribution and mortality of overwintering *Calanus*. *Limnology and Oceanography* 46:1494-1510
- Bakken E (1965) Brislingegg og brislingyngel i Vest-Norge og sammenheng mellom yngeldrift og hydrografi. Avhandling. Universitetet i Bergen
- Bakken TH, Sundt H, Ruud A (2012) Mange og små eller store og få? : en sammenligning av miljøvirkningene ved ulike strategier for utvikling av vannkraft, Vol. SINTEF energi, Trondheim
- Bergslien M (2005) Effect of age and size on the depuration rate of diarrhetic shellfish toxins (DST) for the blue mussel, *Mytilus edulis*. Master thesis. University of Bergen
- Berntsen J, Aksnes D, Foldvik A (2002) Production enhancement by artificial upwelling: a simulation study. *Hydrobiologia* 484:177-190
- Bjerkan P (1930) Fluctuations in the stock of young sprat off the west coast of Norway and its relation to the sprat population as a whole. Rapport et Proces-verbaux des Reunions 65:173-181
- Bjørge A (2012) Sluttrapport til Forskningsrådet for programmet Ecological Processes and Responses and Impacts Governing the Resilience and Alterations in the Porsangerfjord and the Hardangerfjord (EPIGRAPH) Havforskningsinstituttet, Bergen
- Bjørn PA, Finstad B, Nilsen R, Uglem I, Asplin L, Skaala Ø, Hvidsten NA (2009) Nasjonal lakselusovervåkning 2009 på ville bestander av laks, sjørøtt og sjørøye langs Norskekysten samt i forbindelse med evaluering av nasjonale laksevasdrag og laksefjorder. NINA rapport 547
- Boe CA (1959) Is og islegging i fjorder med ferskvannstilførsel : En undersøkelse i Ranafjord 1957 - 1958 med supplerende opplysninger fra Namsenfjord, Vol. C.A. Boe, Oslo

- Brattegard T, Hoisaeter T, Sjøtun K, Fenchel T, Uiblein F (2011) Norwegian fjords: From natural history to ecosystem ecology and beyond. *Marine Biology Research* 7:421-424
- Broch H (1913) Scyphomedusae from the "Michael Sars" North Atlantic deep-sea expedition 1910. In "Michael Sars" North Atlantic Deep-Sea Expedition 1910. *Rep Sci Res* 3: 1-23
- Brun PF (1992) Overvaking av fjordar og vassdrag i Møre og Romsdal 1989-91, Vol 9/92. Fylkesmannen, Molde
- Buhl-Mortensen P, Buhl-Mortensen L (2014) Diverse and vulnerable deep-water biotopes in the Hardangerfjord. *Marine Biology Research* 10:253-267
- Dupont N, Aksnes DL (2010) Simulation of optically conditioned retention and mass occurrences of *Periphylla periphylla*. *Journal of Plankton Research* 32:773-783
- Dupont N, Aksnes DL (2012) Effects of bottom depth and water clarity on the vertical distribution of *Calanus* spp. *Journal of Plankton Research* 34:263-266
- Dupont N, Aksnes DL (2013) Centennial changes in water clarity of the Baltic Sea and the North Sea. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 131:282-289
- Eggvin J (1939) Bunntemperatur langs Norges kyst og i den nordlige del av Nordsjøen. Fiskeridirektoratets skrifter, Serie Havundersøkelser 1939:41-58
- Eiane K, Aksnes DL, Bagoien E, Kaartvedt S (1999) Fish or jellies - a question of visibility? *Limnology and Oceanography* 44:1352-1357
- Eilertsen HC (1983) Planteplankton før og etter vassdragsreguleringen i Skjomen. 1970-1972 og 1977-1979. Rådgivende utvalg for fjordundersøkelser Skjomenprosjektet Rapport nr 4, Oslo 1983 55 s
- Ellingsen IH, Slagstad D, Tangen K, Reitan KI (2006) Modellering av neddykket utslipp på det lokale fysiske og biologiske miljø i Gaupnefjorden og Lustrafjorden. SINTEF rapport STF80 Fo62625:21
- Erga SR (1989) Ecological studies on the phytoplankton of Boknafjorden, western Norway. II. Environmental control of photosynthesis. *Journal of Plankton Research* 11:785-812
- Erga SR, Aursland K, Frette Ø, Hamre B, Lotsberg JK, Stamnes JJ, Aure J, Rey F, Stamnes K (2005) UV transmission in Norwegian marine waters: controlling factors and possible effects on primary production and vertical distribution of phytoplankton. *Marine Ecology Progress Series* 305:79-100
- Falkenhaug T, Dalpadado P (2014) Diet composition and food selectivity of sprat (*Sprattus sprattus*) in Hardangerfjord, Norway. *Marine Biology Research* 10:203-215
- Frigstad H, Andersen T, Hessen DO, Jeansson E, Skogen M, Naustvoll L-J, Miles MW, Johannessen T, Bellerby RGJ (2013) Long-term trends in carbon, nutrients and stoichiometry in Norwegian coastal waters: Evidence of a regime shift. *Progress in Oceanography* 111:113-124
- Gentien P, Donohay P, Yamazaki H, Raine R, Reguera B, Osborne T (2005) Harmful algal blooms in stratified environments. *Oceanography* 18:11
- Giske J, Aksnes DL, Balino BM, Kaartvedt S, Lie U, Nordeide JT, Salvanes AGV, Wakili SM, Aadnesen A (1990) Vertical-distribution and trophic interactions of zooplankton and fish in masfjorden, Norway. *Sarsia* 75:65-81
- Gjerp SA, Tryggstad S (1981) En vurdering av strøm og hydrografi i Gaupne- og Lusterfjorden før og etter den planlagte reguleringen av Jostedøla. NHL-rapport, STF60 A81022:1-156
- Gjessing Y, Hammer TM (1983) Isens innvirkning på lufttemperaturen langs Lustrafjorden : en foreløpig rapport for Det kongelige landbruksdepart[e]ment, Vol 1983. University of Bergen, Geofysisk institutt, Avdeling for meteorologi., Bergen
- Gjessing Y, Nordli PØ (1993) Lustrafjorden - klimaskjønn, Del II, klimaendringar ved regulering av Jostedøla og Leirdøla, Vol Nr 2-1993. The Institute, Bergen
- Glover KA, Skaala Ø, Limborg M, Kvamme C, Torstensen E (2011) Microsatellite DNA reveals population genetic differentiation among sprat (*Sprattus sprattus*) sampled throughout the Northeast Atlantic, including Norwegian fjords. *Ices Journal of Marine Science* 68:2145-2151
- Grigg NS (1996) Water resources management : principles, regulations, and cases, Vol. McGraw-Hill, New York
- Gundersen KR (1954) Brislingens gyting. Undersøkelser i Hordaland og Sogn. Fiskeridirektoratets skrifter, Serie Havundersøkelser 1910:221-223

- Haraldsson M, Tönnesson K, Tiselius P, Thingstad TF, Aksnes DL (2012) Relationship between fish and jellyfish as a function of eutrophication and water clarity Marine Ecology Progress Series 471:73-85
- Heggøy E, Johannesen P (2006a) Marinbiologisk miljøundersøkelse i Lærdalsfjorden i 2006. VestBio 2006:1
- Heggøy E, Johannesen P (2006b) Marinbiologisk undersøkelse av oppdrettslokalitet ved Hjartholm i Sognefjorden, Gulen kommune i 2005. VestBio 2006:2
- Heino M, Svasand T, Nordeide JT, Ottera H (2012) Seasonal dynamics of growth and mortality suggest contrasting population structure and ecology for cod, pollack, and saithe in a Norwegian fjord. *Ices Journal of Marine Science* 69:537-546
- Helland-Hansen B, Nansen F (1909) The Norwegian Sea. Its physical oceanography based upon the Norwegian researches 1900-1904. Report on Norwegian Fishery and Marine Investigations 2:390 pp
- Helland-Hansen E, Holtedahl T, Lye KA (1995) Environmental effects, Vol. Norwegian Institute of Technology. Department of Hydraulic Engineering, Trondheim
- Hjølman S, Lein TE (1996) Damage estimation of the soiled shores of sognefjorden 1996. Follow-up of the oil spill from "mercantil marica" in 1989. IFM Rapport 1996
- Hjort J, Gran HH (1899) Currents and pelagic life in the Northern ocean: Report on Norwegian Fishery and Marine Investigations 1895-1897. Bergens Museums Skrifter: 6-22
- Hovgaard P, Dale T (2007) Døende Sogndalsfjord. "Naturfaglig spalte" i Sogn Avis 27 juni
- Husa V, Kutti T, Ervik A, Sjøtun K, Hansen PK, Aure J (2014a) Regional impact from fin-fish farming in an intensive production area (Hardangerfjord, Norway). *Marine Biology Research* 10:241-252
- Husa V, Steen H, Sjøtun K (2014b) Historical changes in macroalgal communities in Hardangerfjord (Norway). *Marine Biology Research* 10:226-240
- Ingvaldsen R (1996) Ferskvannsdrevet sirkulasjon i en arktisk fjord, Vol. [R. Ingvaldsen], Bergen
- Johansen PO, Heggøy E, Johannesen P (2007a) Marinbiologisk miljøundersøkelse av Sogndalsfjorden i 2006. VestBio 2007:3
- Johansen PO, Heggøy E, Johannesen P (2007b) Marinbiologisk miljøundersøkelse av Sognefjorden i 2006. SAM-Unifob 2007:7
- Johansen PO, Heggøy E, Johannesen P (2007c) Marinbiologisk miljøundersøkelse ved Solund verft i 2006. SAM-Unifob 2007:1
- Johansen PO, Heggøy E, Johannesen P (2007d) Marinbiologisk miljøundersøkelse ved Festingdalen avfallsdeponi i 2006. SAM-Unifob rapport 2007:5
- Johansen PO, Hjølman S, Myrseth EW, Botnen H, Johannesen P (2000) Undersøkelse av miljøforholdene ved Festingdalen avfallsdeponi i 1999. IFM rapport 2000:5
- Johnsen TM, Molvær J (2001) Pollen kraftverk - konsekvensvurdering av endringer i det marine miljø i Nordalsfjorden som følge av planlagt vassdragsregulering. NIVA rapport Prosjektnr. 20184
- Kaartvedt S (1984) Vassdragsregulerings virkning på fjorder. *Fisken og Havet* 1984:3
- Kaartvedt S, Aksnes DL (1992) Does fresh-water discharge cause mortality of fjord-living zooplankton. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 34:305-313
- Kaartvedt S, Johnsen TM, Aksnes DL, Lie U, Svendsen H (1991) Occurrence of the toxic phytoflagellate *Prymnesium-parvum* and associated fish mortality in a Norwegian fjord system. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 48:2316-2323
- Kaartvedt S, Nordby E (1992) Impact of a controlled fresh-water discharge on zooplankton distribution in a Norwegian fjord. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 162:279-293
- Kaartvedt S, Staby A, Aksnes DL (2012) Efficient trawl avoidance by mesopelagic fishes causes large underestimation of their biomass. *Marine Ecology-Progress Series* 456:1-6
- Kaartvedt S, Svendsen H (1990a) Advection of euphausiids in a Norwegian fjord system subject to altered freshwater input by hydro electric power production. *Journal of Plankton Research* 12:1263-1277
- Kaartvedt S, Svendsen H (1990b) Impact of fresh-water runoff on physical oceanography and plankton distribution in a western Norwegian fjord - an experiment with a controlled discharge from a hydroelectric power-plant. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 31:381-395

- Kaartvedt S, Svendsen H (1995) Effect of fresh-water discharge, intrusions of coastal water, and bathymetry on zooplankton distribution in a Norwegian fjord system. *Journal of Plankton Research* 17:493-511
- Larsen S, Andersen T, Hessen DO (2011) Climate change predicted to cause severe increase of organic carbon in lakes. *Glob Change Biol* 17:1186-1192
- Lie U, Svendsen H, Kaartvedt S, Mikki S, Johnsen TM, Aksnes DL, Asvall RP, Golmen LG (1992) Vannkraft og fjorder. Fysiske og biologiske konsekvenser av Ulla-Førre utbyggingen, Universitetet i Bergen
- Manzetti S, Stenersen JHV (2010) A critical view of the environmental condition of the Sognefjord. *Marine Pollution Bulletin* 60:2167-2174
- McClimans TA, Steen J, Gjerp SA (1979) Tidsavhengig tvungen blanding av ferskvannsutslipp for å motvirke isdannelse i fjorder, Vol. SINTEF, Trondheim
- Mikalsen G (1999) Recent benthic foraminifera, stable isotope composition of fjord and river water, and Late Holocene variability in basin water characteristics. PhD thesis. Universitetet i Bergen
- Molvær J, Gade HG (1971) Vannutveksling og vannfornying i Sognefjorden : en vurdering av fortykning og transport av utlutningsprodukter fra ovnsbunner : rapport for A/S Årdal & Sunndal verk, mars 1971, Vol. University of Bergen, Geophysical Institute, Bergen
- Monteith DT, et al. (2007) Dissolved organic carbon trends resulting from changes in atmospheric deposition chemistry. *Nature* 450:537-U539
- Moy F, et al. (2008) Sukkertareprosjektet.Sluttrapport. NIVA-rapport:131
- Murray J, Hjort J (1912) The depths of the ocean. *Historiae naturalis classica*; 37:821 pp.
- Myksvoll MS, Sandvik AD, Asplin L, Sundby S (2013) Effects of river regulations on fjord dynamics and retention of coastal cod eggs. *ICES Journal ogf Marine Science*
- Myrseth EW, Hjørman S, Johansen PO, Botnen H, Johannesen P (2000) Marinbiologisk undersøkelse i Barsnesfjorden, Sogndalsfjorden og Amlabukten, Sogndal Kommune. IFM rapport 2000:4
- Ødven B (2009) Mulige endringer i forekomst av ulike arter i og langs Sognefjorden de siste 65 år. Høgskulen i Sogn og Fjordane
- Purcell JE (2012) Jellyfish and Ctenophore Blooms Coincide with Human Proliferations and Environmental Perturbations. *Annual Review of Marine Science* 4:209-235
- Ramstad H, Shen J, Hovgaard P, Aune T (1997) Evaluation of different locations for mussel farming, based on screening for DSP toxins with mouse bioassay and several analytical methods. VIII International conference on Harmful algae
- Røttingen J, Torstensen E (2007) Sild- og brislingundersøkelser i fjordene høsten 2006. Havforskningsinstituttet toktrapport 2007
- Rustad D (1978) Hydrographical observations from Sognefjorden. *Gunneria* 30:1-59
- Rustad D (1980) A survey of the intertidal zone of Sognefjorden with special reference to *Balanus balanoides*. *Gunneria* 36:1-68
- Ruus A, Kvassnes AJS, Skei J, Green N, Schøyen M (2012) Monitoring of environmental quality in the Sør fjord 2011. Metals in the water masses, contaminants in organisms. NIVA rapport:95 pp
- Ruzzante DE, et al. (2006) Biocomplexity in a highly migratory pelagic marine fish, Atlantic herring. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 273:1459-1464
- Rye H, Smith B, Sægrov S (1979) Generell vurdering av større ferskvannsutslipp til fjorder / H. Rye, B. Smith, S. Sægrov, Vol A79077. VHL., Trondheim
- Sætre R (2007) The Norwegian Coastal Current - Oceanography and Climate, Vol. tapir academic press, Trondheim
- Sætre R, Aure J, Danielssen DS (2003) Long-term hydrographic variability off the Norwegian coast and on Skagerrak. *ICES Marine Science Symposia* 219:150-159
- Schwach V (2000) Havet, fisken og vitenskapen. Fra fiskeriundersøkelser til havforskningsinstitutt 1860-2000, Vol. Havforskningsinstituttet, Bergen
- Sinclair M, Budgen GL, Tang CL, Therriault JC, Yeats PA (1986) Assessment of effects of freshwater runoff variability on fisheries production in coastal waters. In *The Role of Freshwater Outflow in Coastal Marine Ecosystem*. In: Skreslet S (ed) NATO ASI Series G, Vol 7. Springer-Verlag, Berlin, p 59-94

- Sinclair M, Tremblay MJ (1984) Timing of spawning of Atlantic herring (*Clupea harengus harengus*) populations and the match-mismatch theory. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 41:1055-1065
- Skaala Ø, Johnsen GH, Lo H, Borgstrøm R, Wennevik V, Hansen MM, Merz JE, Glover KA, Barlaup BT (2014a) A conservation plan for Atlantic salmon (*Salmo salar*) and anadromous brown trout (*Salmo trutta*) in a region with intensive industrial use of aquatic habitats, the Hardangerfjord, western Norway. *Marine Biology Research* 10:308-322
- Skaala Ø, Kålås S, Borgstrøm R (2014b) Evidence of salmon lice-induced mortality of anadromous brown trout (*Salmo trutta*) in the Hardangerfjord, Norway. *Marine Biology Research* 10:279-288
- Skaala Ø, Sjøtun K, Dahl E, Husa V, Bjørge A, Uiblein F (2014c) Interactions between salmon farming and the ecosystem: Lessons from the Hardangerfjord, western Norway. *Marine Biology Research* 10:199-202
- Skjoldal HR (2004) The Norwegian Sea Ecosystem. Tapir academic press 559 pp.
- Skoftefjord E (1970) Hydrografiske undersøkelser i indre del av Sognefjorden. NVE rapport 1970:3
- Skreslet S (1980) Fjordene og kyststrømmen : et integrert økosystem basert på ferskvannstilførsel fra land, Vol 1980:3. Nordland distriktshøgskole, Bodø
- Skreslet S (ed) (1986) The role of freshwater outflow in coastal marine ecosystems, Vol 7. Springer-Verlag, Berlin
- Skreslet S, Leinebø R, Matthews JBL, Sakshaug E (eds) (1976) Freshwater on the sea. Proceedings from a Symposium on the Influence of Fresh-water Outflow on Biological Processes in Fjords and Coastal Waters 22-25 April, 1974 Vol. The association of Norwegian oceanographers, Geilo, Norway
- Solbakken R, et al. (2012) Innsamling og sammenstilling av relevant kunnskap om Sognefjorden, SINTEF Fiskeri og Havbruk, Trondheim
- Sørland JH, Dale T (2003) Steinkobben i Nærøfjorden og Lustrafjorden i indre Sognefjord: Næringsøkologi og bestandsestimat. *Fauna* 56:56-71
- Sørnes TA, Aksnes DL (2006) Concurrent temporal patterns in light absorbance and fish abundance. *Marine Ecology-Progress Series* 325:181-186
- Sørnes TA, Aksnes DL, Bamstedt U, Youngbluth MJ (2007) Causes for mass occurrences of the jellyfish *Periphylla periphylla*: a hypothesis that involves optically conditioned retention. *Journal of Plankton Research* 29:157-167
- Strohmeier T, Duinker A, Strand Ø, Aure J (2008) Temporal and spatial variation in food availability and meat ratio in a longline mussel farm (*Mytilus edulis*). *Aquaculture* 276:83-90
- Strömberg T (1974) Zooplankton investigations in Skjomen 1969-1973. *Astarte* 7:1-15
- Strömberg T (1976) Relationship between freshwater supply and standing crop of *Calanus finmarchicus* in a Norwegian fjord. In: Skreslet S, Leinebø R, et al. (eds) Freshwater on the sea. The association of Norwegian oceanographers, Oslo
- Sund O (1911) Undersøkelser over brisling i norske farvand. Aarsberetning vedkommende Norges fiskerier 1910:357-474
- Svendsen H (1983a) Hydrofysiske forhold i Skjomen etter vassdragsreguleringene. Rådgivende utvalg for fjordundersøkelser Skjomenprosjektet Rapport nr 4, Oslo 1983 55 s
- Svendsen H (1983b) Hydrofysiske forhold i Skjomen etter vassdragsreguleringene, Rådgivende utvalg for fjordundersøkelser Skjomenprosjektet, Oslo
- Svendsen SW (2006) Stratification and circulation in Sognefjorden. Master thesis. University of Bergen
- Teigland J, Vorkinn M (1987) Effekten av vannkraftutbygging i Aurlandsdalen for friluftsliv og reiseliv, Vol. NTNFs utvalg for miljøvirkninger av vassdragsutbygging., Oslo
- Vassenden G, Johansen PO, Heggøy E, Johannessen P (2007) Marinbiologisk miljøundersøkelse i Aurlandsfjorden og Nærøfjorden i 2006. SAM Unifob 2007:4
- Vollset KW, Skoglund H, Barlaup BT, Pulg U, Gabrielsen S-E, Wiers T, Skår B, Lehmann GB (2014) Can the river location within a fjord explain the density of Atlantic salmon and sea trout? *Marine Biology Research* 10:268-278
- Wiig Ø, Øritsland T (1987) The Grey seal *Halichoerus grypus* (Fabricus) and the Common seal *Phoca vitulina* L. in Sogn og Fjordane, western Norway. *Fauna norvegica Serie A* 8:21-24